

Luc Della Patrona  
Pierre Brun

*Litopenaeus stylirostris*  
Bases biologiques et zootechnie

**L'élevage de la crevette bleue**

# L'élevage de la **crevette bleue** en Nouvelle-Calédonie

*Litopenaeus stylirostris*  
Bases biologiques  
et zootechnie

Luc Della Patrona  
Pierre Brun

Département LEAD (Lagons Ecosystèmes et Aquaculture Durable) en Nouvelle-Calédonie

An aerial photograph showing a large coastal area. In the upper portion, a network of lagoons and sandbars is visible, leading to a turquoise sea. The lower portion shows a dry, brown landscape with several large, rectangular, water-filled ponds. These ponds are interconnected by a network of dirt roads and small streams. A red arrow points from the text 'Piste d'eau' to one of the ponds.

Elevage de la crevette bleue  
en Nouvelle-Calédonie  
*Litopenaeus stylirostris*

Bases biologiques et zootechnie

**Luc DELLA PATRONA et Pierre BRUN**



## Préface

C'est au Professeur François Doumenge que revient le mérite d'avoir initié l'élevage des crevettes pénéides en Nouvelle-Calédonie, au début des années 70. Il était alors directeur de l'Agence pour le Développement des Pêches dans les Iles du Pacifique Sud (ADPIPS), structure financée conjointement par la Commission du Pacifique Sud (CPS : devenue Communauté du Pacifique Sud) et par deux organismes relevant des activités des Nations-Unis (FAO : Organisation mondiale pour l'Alimentation et l'Agriculture et PNUD : Programme des Nations Unis pour le Développement). Il avait compris que le Territoire possédait un réel potentiel du fait de la présence, en arrière mangrove, de vastes zones peu profondes et bien protégées aisément aménageables en bassins.

La première implantation fut réalisée dans le fond de la baie de Saint-Vincent. Elle a perduré et grandi pour devenir une structure territoriale et provinciale. Les actuels visiteurs du site peuvent-ils imaginer quels furent les premiers pas vers l'aventure aquacole ? Sont-ils conscients de toutes les hésitations qu'il fallut surmonter lors des choix du site, des techniques et des espèces ? Appréhendent-ils bien les difficultés rencontrées lors du creusement du tout premier bassin, de sa mise en eau et de son ensemencement ? Connaissent-ils les angoisses éprouvées en ce qui concerne l'alimentation, le suivi du grossissement et l'obtention de la première récolte ! Que le visiteur imagine les conditions initiales de vie sur ce qui fut alors appelé la « Station de Saint-Vincent » : une modeste caravane servant autant de laboratoire que de logis, l'absence d'eau et d'ombrage lors d'une saison sèche longue et torride, le froid humide durant l'hiver, les innombrables moustiques et les querelles de voisinage !

Depuis cette phase pionnière, l'activité aquacole a pris un tel essor que les exportations de la crevette *Litopenaeus stylirostris* représentaient, en 2006, le second poste des exportations du Territoire après le nickel et avant le tourisme avec 2 400 tonnes produites sur 17 fermes totalisant 635 ha de bassins. L'analyse de simulations et d'images SPOT avait montré que les superficies potentiellement utilisables pour l'aquaculture de crevettes pénéides étaient considérables. Depuis, cette activité ayant fortement progressé, il apparut essentiel de synthétiser les connaissances acquises dans un document de vulgarisation utile aux éleveurs mais aussi aux décideurs, aux scientifiques, aux gestionnaires, aux enseignants, aux étudiants, aux écoliers et enfin au grand public. Gageure ? Défi ? Les deux auteurs ont su le relever avec un extrême bonheur ! Leur grande expérience de terrain et de laboratoire, leur volonté de transmettre un savoir et leur étonnant dynamisme ont conduit à la réalisation de cet ouvrage.

Dans un premier temps, celui-ci décrit les nombreux éléments à prendre en compte pour la création d'une ferme, qu'il s'agisse de la façon de constituer le dossier, des réalités socio-économiques, des caractéristiques du milieu et des coûts. D'emblée, le futur éleveur saura que seule une approche systémique permettra de positionner le projet dans son contexte environnemental. Les auteurs étudient ensuite l'impact des principaux paramètres physico-chimiques et biologiques du milieu sur la santé et la croissance des crevettes en introduisant la notion dynamique de « fonctionnement écologique » d'un bassin, la troisième partie traitant des causes de l'instabilité de l'écosystème que chacun d'eux constitue. Enfin, sont décrites les méthodes à mettre en œuvre dans la conduite des élevages, depuis l'introduction des post-larves jusqu'à la récolte et enfin le conditionnement.

L'ouvrage est beaucoup plus qu'un manuel ! C'est presque une encyclopédie ! D'une grande richesse, sa réalisation a impliqué un investissement considérable en temps des deux auteurs que traduit bien la longue liste des références bibliographiques qui l'enrichissent. Il s'agit là d'un document de base que tous les éleveurs aquacoles seront amenés à consulter presque chaque jour. Que les auteurs soient vivement remerciés et chaleureusement félicités pour cette belle réalisation !

René Grandperrin (un des anciens présidents d'AQUACAL  
et directeur de recherche IRD à la retraite)

## Préface

Cet ouvrage était attendu depuis de nombreuses années par les professionnels calédoniens. Ils ne peuvent que se féliciter de son édition.

Cet ouvrage a plusieurs mérites : (1) il représente une synthèse, en un seul document, de multiples connaissances locales et internationales dans notre domaine spécialisé, la crevetticulture ; (2) il est totalement rédigé en français, qualité rare dans une mondialisation où les livres sur l'aquaculture tropicale sont plutôt rédigés en anglais, en espagnol, voire en thaï ou en chinois ; (3) il permet un « retour aux fondamentaux », notion d'actualité en France, et pas seulement dans l'éducation des enfants ; il a en effet le mérite de rappeler, de façon précise et étayée, les conditions de base pour éllever nos crevettes dans les conditions les plus favorables, laissant le moins de place possible aux pathologies opportunistes. Bref, il devra être LE livre à lire pour tout candidat à la crevetticulture en Nouvelle-Calédonie, mais aussi un livre à garder à portée de main pour consulter, même pour des aquaculteurs d'expérience.

Attention, cet ouvrage ne doit pas être un argument à l'immobilisme technologique. Dans les années 80, le savoir-faire français résumé dans ce livre était l'une des références mondialement reconnues. Mais il a été copié, malheureusement sans retombées financières car aucun brevet n'avait été déposé à l'époque, et il a ensuite été enrichi par l'expérience recueillie sur les 5 continents par de multiples équipes de scientifiques et de producteurs de plus d'une cinquantaine de nations. Aujourd'hui, un grand savoir-faire international existe et le français est beaucoup moins cité. Cet ouvrage ne doit donc pas être considéré simplement comme un aboutissement de 30 ans de recherche et développement, encore moins comme une plaque commémorative en marbre autour de laquelle on ne se regroupe qu'une fois par an, mais plutôt comme une étape pour rebondir vers de nouvelles orientations, vers un approfondissement de certains sujets encore incompris, vers une modernisation de certaines composantes. Ces orientations devront respecter certains fondamentaux auxquels les Calédoniens sont attachés, comme le respect de l'homme (l'aquaculture en Nouvelle-Calédonie ne peut pas se faire sans les hommes, ce ne sera jamais une industrie presse-boutons), le respect de l'environnement (rappelons que nous élevons nos crevettes au bord d'un lagon inscrit au patrimoine mondial) et le respect du consommateur (garantie de la qualité des ingrédients, traçabilité, bioéthique, ...).

Bon courage aux aquaculteurs dans la lecture de cet ouvrage, et bon courage aux chercheurs dans leurs nouvelles orientations de recherche et développement au profit de la crevetticulture calédonienne.

Régis BADOR

Président du Comité Technique IFREMER/Pouvoirs Publics/Producteurs Calédoniens

Ancien chercheur à l'IFREMER (1983-1991)

Eleveur de crevettes en Nouvelle-Calédonie depuis 1998

## Avant propos

L'ouvrage « Elevage de la Crevette Bleue en Nouvelle-Calédonie - Bases biologiques et zootechnie » est sans aucun doute le document de référence dont la crevetticulture de Nouvelle-Calédonie avait besoin.

L'élaboration de cette synthèse des connaissances a été initiée lors du déroulement du projet de recherche Ifremer DESANS (DEfi SANTé Stylirostris) construit sur la période 2003-2006 et a été finalisée sous le projet DEDUCTION (DEveloppement DUrable de la Crevetticulture, Traitement de l'Information et Observatoire de la filière en Nouvelle-calédonie) en cours sur la période 2007-2010. Il sera également une source privilégiée d'informations pour la réalisation d'un « Guide des Bonnes Pratiques d'Elevage », à destination de la profession calédonienne.

Ce document est une production exemplaire issue du partenariat étroit et très original établi entre la profession crevetticole, les collectivités territoriales gestionnaires : Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie et les Provinces, l'Etat, et la Recherche, dans le cadre d'accords quadriennaux en phase avec la durée des projets sus-nommés.

Cet ouvrage témoigne donc des liens forts qui se sont tissés entre :

la recherche conduite par Ifremer depuis plus de 30 ans sous la forme d'un support scientifique, d'une veille technique, et l'apport continu d'innovations ;

une filière qui bénéficie d'une dynamique forte d'entreprises locales (écloseries, fermes, provende, usines de conditionnement...) ;

des collectivités territoriales soucieuses du développement économique durable de la Nouvelle-Calédonie, de l'aménagement de son territoire et de la valorisation de milieux naturels côtiers exceptionnels.

L'ouvrage que vous allez parcourir est le fruit d'un travail considérable de compilation de travaux de recherche mais également de la très solide expérience de terrain des deux auteurs principaux de l'ouvrage : Luc Della Patrona et Pierre Brun.

Je vous en souhaite une excellente lecture.

Lionel Loubersac

Délégué de l'IFREMER en Nouvelle-Calédonie

Directeur du département Lagons, Ecosystèmes

et Aquaculture Durable (LEAD)

## **Remerciements**

*En premier lieu, nous exprimons notre sincère reconnaissance à Jacques Patrois (Coordinateur production écrite et équipe Zootechnie-Bassins au Département Lagons, Ecosystèmes et Aquaculture Durable en Nouvelle-Calédonie-LÉAD) pour le très important et fastidieux travail de relecture et d'édition ainsi que pour la pertinence de l'ensemble de ses remarques et corrections. Nous sommes également très reconnaissant à Jean-Marie Peignon (LÉAD) pour son importante contribution au document, son considérable travail de relecture finale et ses remarques constructives.*

*Nous tenons à remercier Yves Harache (2004-2007) et Lionel Loubersac (à partir de 2007), Délégués de l'Ifremer pour nous avoir donné tous les moyens nécessaires à la réalisation de ce document.*

*Nous exprimons toute notre gratitude à Jean Barret (Ifremer, Sète), Benoît Beliaeff (LÉAD), Emmanuel Goyard (LÉAD), Michel Autrand (Consultant indépendant en aquaculture), Matthias Huber et Thomas Requillart (Resp. du département de l'aquaculture et de la pêche, DDR, Province Sud) pour leurs précieuses critiques et conseils.*

*Nous adressons également nos remerciements à Eugénie Akaro (Secrétariat, LÉAD), Nicolas Barré (Président Société Calédonienne Ornithologie), Olivier Bouissou (LÉAD), Liet Chim (LÉAD), Christian Galinié (Animateur GFA), Michel Marchand (Ifremer Nantes), Jean-Louis Martin (CRELA), Dominique Pham (LÉAD), Emilie Walling (LÉAD).*

*Nos sommes reconnaissants à Cyrille Goarant (Institut Pasteur), Jonathan Fournier (GFA), José Herlin (LÉAD), Alexandre Letuc (GFA), Elisabeth Nezan (Ifremer Concarneau), Andrew Spurgeon (NZ Mollusca) pour nous avoir fourni leurs photographies.*

*Les auteurs sont très redevables à Alain Herblant (Coordinateur scientifique 2004-2007, LÉAD), initiateur du projet, infatigable prodigue de conseils avisés dont la rigueur scientifique a permis un « débroussaillage » particulièrement efficace de la toute première version. Merci à toi, « mpc », pour tout.*

*Enfin, nous remercions les aquaculteurs calédoniens pour avoir partagé leurs « petits secrets » avec nous pendant toutes ces années : Alain, Alexandre, Bruno, Christophe, Daniel, Denis, Edouard, Emmanuel, Frank, Hervé, Jean-Eric, Jean-Pierre, Jérôme, John, José, Josselin, Laurent, Maurice, Michel, Patrice, Patrick, Philippe, Pierrick, Quito, Raymond, Régis, Steven, Sylvio, Thierry, Thomas, Yannick et tous ceux qui ont contribué à faire de cette activité une vraie réussite pour le pays.*

# Sommaire

<b>Préface</b>	<b>3</b>
<b>Chapitre 1</b>	<b>5</b>
<b>Contexte général de l'implantation d'une ferme de grossissement de crevettes en Nouvelle-Calédonie</b>	<b>5</b>
<b>1. Introduction</b>	<b>6</b>
1.1. Historique	6
1.2. Intérêt et situation de la crevetticulture calédonienne	6
<b>2. Contexte général</b>	<b>6</b>
2.1. Espèce choisie	7
2.2. Techniques retenues	9
2.3. Sites	9
2.4. Climat	9
<b>3. Les conditions d'aménagement d'un site</b>	<b>10</b>
3.1. Les critères socio économiques	10
3.2. L'eau	12
3.3. Le sol	16
3.4. Ingénierie et construction	19
3.5. Typologie des fermes existantes	36
3.6. Coûts d'une ferme calédonienne	37
<b>Chapitre 2</b>	<b>43</b>
<b>Les principaux facteurs à prendre en compte pendant l'élevage</b>	<b>43</b>
<b>1. Introduction</b>	<b>44</b>
<b>2. Variables indispensables à mesurer en routine</b>	<b>45</b>
2.1. La température	45
2.2. La salinité	48
2.3. L'oxygène dissous	50
2.4. Le pH	54
2.5. La turbidité : disque de Secchi	55
2.6. Le phytoplancton / La chlorophylle a	56
2.7. Suivi de la mue	67
2.8. Black spots	75
<b>3. Paramètres secondaires à suivre en cours d'élevage</b>	<b>80</b>
3.1. Les concentrations en métabolites toxiques et autres sels nutritifs	80
3.2. L'alcalinité	82
3.3. Le zooplancton	83
3.4. Tableau récapitulatif des paramètres et de la fréquence des mesures	85
<b>4. Concentrations en sels nutritifs et matières en suspensions admissibles</b>	<b>86</b>

<b>Chapitre 3</b>	<b>89</b>
<b>Bases biologiques des principales pratiques zootechniques</b>	<b>89</b>
<b>1. Introduction</b>	<b>90</b>
<b>2. Processus biogéochimiques et travail des fonds de bassins à l'à sec</b>	<b>91</b>
2.1. Introduction	91
2.2. Génèse des boues d'un bassin aquacole	92
2.3. Activité bactérienne sédimentaire	93
2.4. Pool actif de la demande en oxygène des boues	94
2.5. Effets des accumulations sur la production de crevettes	100
2.6. Les boues bien gérées : un atout pour les élevages suivants	103
<b>3. Fertilisation</b>	<b>119</b>
3.1. Objectifs	119
3.2. Bases biologiques	120
3.3. Programmes de fertilisation	132
<b>4. Santé-nutrition</b>	<b>139</b>
4.1. Introduction	139
4.2. Généralités sur la nutrition et les aliments pour crevettes	139
4.3. Protéines	143
4.4. Acides aminés	146
4.5. Carbohydrates	147
4.6. Lipides	147
4.7. Vitamines, minéraux et facteurs de croissance inconnus	149
4.8. Nutrition et facteurs abiotiques	155
4.9. Importance de la production naturelle	156
<b>5. Mortalités et survies saisonnières</b>	<b>159</b>
5.1. Principales maladies pouvant affecter les élevages de crevettes dans le monde	159
5.2. Syndrome 93 et syndrome d'été	161
5.3. Saisonnalité des survies et notion de différentiel de survie	165
<b>6. Compétiteurs et prédateurs</b>	<b>168</b>
6.1. Recensement des principaux organismes	168
6.2. Toxicité	169
6.3. Prédation	171
6.4. Compétition	178
6.5. Nuisibles	179
<b>Chapitre 4</b>	<b>181</b>
<b>La conduite des élevages au quotidien</b>	<b>181</b>
<b>1. Introduction</b>	<b>183</b>
<b>2. Préparation des bassins</b>	<b>184</b>
2.1. Cas d'un bassin neuf	184
2.2. Préparation inter élevage de routine d'un bassin	188
2.3. Mise en eau	192
<b>3. Ensemencement des post-larves</b>	<b>192</b>
3.1. Cas particulier : innovation zootechnique concernant les phases nurserie et prégrossissement	192
3.2. Préparation	194

<b>4. Suivi de la phase zéro à un gramme</b>	<b>198</b>
4.1. Fertilisation	199
4.2. Effets de la densité et de la température sur la croissance	200
4.3. Nourrissage	201
4.4. Renouvellement	205
4.5. Echantillonnage	205
4.6. Survie à un gramme	206
<b>5. Suivi quotidien de l'élevage jusqu'à la première pêche</b>	<b>207</b>
5.1. Alimentation	208
5.2. Echantillonnage	229
5.3. Gestion de l'eau	241
5.4. Indicateurs de mortalités	254
5.5. Signes de dysfonctionnement	258
5.6. Tableau de bord de conduite d'élevage	261
<b>6. Pêches</b>	<b>261</b>
6.1. Généralités	261
6.2. Préparation des pêches	261
6.3. Mise en route de la pêche	267
6.4. Déroulement de la pêche	269
6.5. Transformation	274
6.6. Quelques records de production	275
<b>Chapitre 5</b>	<b>276</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>276</b>
<b>Annexes</b>	<b>301</b>
<b>Glossaire et sigles</b>	<b>315</b>



# Chapitre 1

---

Contexte général de l'implantation  
d'une ferme de grossissement de  
crevettes en Nouvelle-Calédonie

# 1. Introduction

## 1.1. Historique

L'aquaculture locale a vu le jour en Nouvelle-Calédonie en 1970, année au cours de laquelle, à l'initiative des gouvernements membres de la Commission du Pacifique Sud (CPS) et sous l'égide de l'Organisation Mondiale pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) fut lancée en baie de Saint Vincent (Boulouparis), une série d'expérimentations en aquaculture. En 1973, à l'expiration de ce programme, les installations furent remises au Territoire qui en confia la gestion à l'Association pour le développement de l'Aquaculture en Nouvelle-Calédonie (AQUACAL). En 1978 FRANCE AQUACULTURE, filiale d'Ifremer chargée des transferts de technologie et de la vente de services, prit la direction administrative de la station conjointement avec Ifremer chargé de la direction scientifique et technique. Depuis l'Institut contractualise régulièrement avec les Provinces, et depuis 2003 avec en outre le gouvernement, les programmes de recherche de cette station aquacole de Saint-Vincent (SASV), devenue DAC (Département Aquacole de Nouvelle-Calédonie) et à laquelle est venue s'ajouter l'implantation de Koné en 2006.

- en 1978 était créé le premier bassin privé : ferme Chevalier ;
- en 1988 naissait la première écloserie industrielle : ferme intégrée de Sodacal ;
- en 1998 le cap des 1500 t produites était passé.

## 1.2. Intérêt et situation de la crevetticulture calédonienne

La production mondiale de crevettes d'aquaculture, après une période de relative stabilité dans les années quatre-vingt-dix, a connu un accroissement très rapide depuis 1999, marqué par l'émergence de nouveaux pays producteurs. La crevetticulture a produit 1 600 000 tonnes en 2003 soit 25 % de la production mondiale totale (pêche+aquaculture). En 2007, près de 50 % de la production mondiale provenait de l'aquaculture.

Les trois marchés les plus importants sont les Etats-Unis (500 000 t), l'Europe : (France, Italie, Espagne, Royaume-Uni pour un global de 500 000 t) et le Japon (250 000 t). L'offre et la demande sur ces trois débouchés majeurs sont fortement influencées par les variations de niveaux de production et les fluctuations de taux de change avec néanmoins une tendance générale forte à la baisse des prix depuis 2001 liée à l'introduction de *P. vannamei* en Asie et au boom de production qui a suivi.

Dans ce contexte international difficile, la Nouvelle-Calédonie demeure un très petit pays producteur avec un volume annuel de 2 400 t représentant moins de 0,05 % de la production crevetticole mondiale.

Mais dans un pays qui s'y prête (géographie, climat et sites disponibles), avec une zootechnie toujours plus performante et soucieuse de l'environnement, avec des débouchés commerciaux basés sur l'excellence de la qualité et compatibles avec les coûts de production, un objectif de doublement de la production est escompté dans les 10 ans à venir.

# 2. Contexte général

La réalisation d'une ferme aquacole de crevettes est une entreprise complexe qui demande un certain nombre de démarches administratives, techniques et financières.

Il faut compter au minimum deux ans de préparation du dossier avant le démarrage effectif des travaux sur le terrain.

Le projet démarre par la sélection d'un site approprié qui découle de la capacité de financement du promoteur et des choix bio-techniques : la souche retenue et la technique d'élevage.

## 2.1. Espèce choisie

### 2.1.1. Point sur les différentes espèces testées en Nouvelle-Calédonie

Les premiers essais datant des années 70 ont été entrepris à partir des espèces locales de pénéides soit *Penaeus monodon*, *Fenneropenaeus merguiensis* et *Metapenaeus ensis*.

Dans les années 80 de très nombreuses espèces ont été introduites de façon anecdotique telles *Litopenaeus vannamei*, *Farfantepenaeus aztecus*, *Marsupenaeus japonicus*, *Litopenaeus orientalis* ou en plus grand nombre telles *Fenneropenaeus indicus*, *Litopenaeus stylirostris* ou encore diverses souches de *Penaeus monodon* variétés australienne, fidjienne et malaise.

Dans les années 90, *Penaeus latisulcatus*, *Melicertus longistylus* et *Penaeus semisulcatus*, toutes locales, ont fait l'objet de tests à faible densité à la SASV.

### 2.1.2. Choix : la zootechnie et le marché export

D'un point de vue zootechnique, les élevages de *L. stylirostris*, *L. vannamei*, *P. monodon* et *F. indicus* ont donné des résultats satisfaisants. Le choix s'est néanmoins focalisé sur *L. stylirostris* au début des années 80 en raison de la stratégie d'élevage adoptée à savoir 3 cycles d'élevage sur deux années pour viser un rendement moyen de 2,5 t/ha/an. Ces cycles successifs traversaient les saisons fraîche et intermédiaire (automne calédonien) pendant lesquelles, *L. stylirostris* demeurait la seule espèce à maintenir une croissance acceptable. Cette espèce se prêtait bien à la fourniture de grosses crevettes de calibre [30-40]. Sa relative rareté sur le marché mondial en tant qu'espèce produite accidentellement (espèce sauvage non cultivée rentrant naturellement dans les élevages de *L. vannamei*), permettait d'envisager de jouer cette carte à l'exportation. Par ailleurs, sa couleur et ses qualités gustatives (texture et goût) lui confèrent son originalité et satisfont les segments du marché les plus exigeants (Andrier, 2004).

### 2.1.3. La répartition naturelle de *L. stylirostris*



Figure 1 - Distribution naturelle de *L. stylirostris* (Source : FIGIS FAO)

*Litopenaeus stylirostris* est originaire de la côte pacifique du nord du Mexique jusqu'au sud du Pérou dans des zones où la température de l'eau de mer est normalement au-dessus de 20 C (Wyban et Sweeny, 1991) (figure 1). Elle possède la même distribution que *L. vannamei* mais est présente en plus grande abondance à l'exception du Nicaragua, zone d'abondance maximale de cette dernière (Rosenberry, 2002).

Il a été démontré récemment qu'il existait six populations morphologiques et génétiques distinctes dans le seul Golfe du Mexique (Aubert et Lightner, 2001),

renforçant ainsi la possibilité d'utiliser ces potentialités dans le domaine de la sélection génétique.

## 2.1.4. Introduction de variabilité génétique : souche hawaïenne

L'analyse historique des résultats d'élevages sur les vingt dernières années semblait indiquer une sensibilité accrue avec le temps des crevettes calédoniennes aux maladies à vibrioses. Parallèlement, il a été montré que la souche calédonienne ne possédait plus qu'une faible variabilité génétique résiduelle du fait du nombre restreint de géniteurs fondateurs lors de l'introduction de la souche en Calédonie (Goyard *et al.*, 2003). La même étude a montré que 2 souches de *L. stylirostris*, domestiquées à Hawaii dans des conditions sanitaires sécurisées, étaient indemnes des principaux virus répertoriés des crevettes d'élevages (Lotz *et al.*, 1995). Elles présentaient aussi une variabilité génétique faible, mais étaient génétiquement différencieres (absence d'allèles communs sur les 3 loci étudiés). Elles représentaient donc un moyen intéressant de réintroduire du sang neuf dans le cheptel calédonien, afin d'augmenter sa variabilité et par là même les possibilités de sélectionner des animaux plus résistants, ceci tout en limitant les risques zoosanitaires liés à des transferts d'animaux.

Le transfert des individus hawaïens avec le statut SPF (Specific Pathogen Free) dans un pays producteur tel que la Nouvelle-Calédonie indemne des grandes pathologies virales a été réalisé en 2005 en s'entourant des garanties zoosanitaires maximales (Patrois *et al.*, 2007).



Photo 1 - Différences morphologiques initiales entre les souches Hawaii (rostre en bas et telson à gauche) et calédonienne (rostre en haut et telson à droite). (© J. Patrois)

N.B : Les critères morphologiques ne sont malgré tout pas suffisamment marqués à l'échelle individuelle pour permettre une reconnaissance certaine (com. pers. E. Goyard).

Les résultats du testage des animaux métisses issus du croisement entre la souche calédonienne et la souche hawaïenne introduite sont extrêmement encourageants avec des effets de vigueur hybride (hétérosis) entraînant des gains de survie et de vitesse de croissance très significatifs. Ils pourraient conduire les éclosseries privées à intégrer de nouvelles contraintes dans leurs protocoles de production et de maintien de 2 lignées de géniteurs (calédonienne et hawaïenne), dans le but de produire des métisses de première génération pour l'ensemencement des fermes. La mise en place d'un tel schéma de production imposera aux éclosseries une gestion très stricte des lots de géniteurs qui ne devront surtout pas être mélangés afin de conserver ces souches pures ; les critères morphologiques n'étant pas suffisamment marqués à l'échelle individuelle pour permettre une reconnaissance certaine de l'appartenance de chaque géniteur à l'une ou l'autre souche, même si certaines tendances se dégagent à l'échelle des lots (Photo 1).

La présence au Vanuatu et à Fidji d'une souche introduite à partir du Brunei (souche Super Shrimp) avérée différente par génotypage de celles de Calédonie et d'Hawaii laisse entrevoir d'autres perspectives d'accroissement de la diversité allélique.

## 2.2. Techniques retenues

Le développement de la crevetticulture en Nouvelle-Calédonie s'est fait dans les années 80 sur les bases zootechniques de l'aquaculture extensive équatorienne à savoir, des bassins de grande superficie (10-30 ha) renouvelés de manière imprécise et ensemencés à de faibles densités (2-5 post-larves/m<sup>2</sup>). Ces pratiques ont été transposées aux fermes pionnières locales avec augmentation des densités d'élevage (> 15/m<sup>2</sup>) sur des enceintes d'environ 10 ha disposant d'une capacité de renouvellement journalière de l'ordre de 15 % du volume total du bassin.

Ces entreprises sont arrivées en limite de rentabilité dès que l'étroitesse du marché local les a contraintes à exporter tout ou partie de leur production.

De sorte qu'un deuxième type d'exploitation inspiré du modèle intensif thaïlandais caractérisé par de petits bassins (0,2-1 ha), des densités élevées (40-60/m<sup>2</sup>) et une très forte puissance d'aération (10-20 ch/ha) s'est imposé dans les années 90. Il s'est concrétisé par des bassins de plus grande surface (3-4 ha), ensemencés à des densités de 27-30/m<sup>2</sup>, mais disposant d'une capacité d'aération limitée (4 ch/ha). Dans la décennie qui a suivi, les deux modèles ont évolué en augmentant sensiblement les densités mais sans nécessairement réaliser les investissements complémentaires en terme d'aération de routine et/ou de secours.

On qualifie le modèle d'élevage calédonien de type semi-intensif intensifié avec ou sans aération. Il est à noter que des essais d'élevages hyper intensifs à des densités comprises entre 75 et 100 Pl/m<sup>2</sup> réalisés en saison chaude dans des bassins à fond artificiel ont donné des résultats concluants.

## 2.3. Sites

En Nouvelle-Calédonie de vastes étendues plates appelées tannes, sont très souvent situées en arrière de la mangrove, parfois dans des cuvettes ou d'anciens golfes marins, à la périphérie des grandes zones deltaïques. La genèse de ces milieux est souvent complexe. L'accumulation de sédiments s'est réalisée par épisodes, liés aux régressions et transgressions marines du quaternaire, et dans quelques cas, aux accumulations terrigènes ou sableuses provenant des crues fluviales périodiques. Les sédiments de surface ont un aspect argileux, de couleur variant du gris beige au brun verdâtre. On distingue très souvent une croûte de surface assez dure, de quelques centimètres d'épaisseur, posée sur des matériaux parfois vaseux, autrefois sableux. Le bed rock peut se situer à plusieurs dizaines de mètres de profondeur sous ces couches sédimentaires plus ou moins imperméables.

En se dirigeant de la mer vers la terre, on rencontre la succession suivante :

- marais actif soumis à une immersion régulière de la mer ;
- la forêt de palétuviers où prédomine *Rhizophora stylosa* ;
- une zone de mangrove arbustive à *Avicennia marina* ;
- marais ancien immergé en circonstances exceptionnelles :
- une zone herbeuse à *Sarcocornia spp.s* ;
- une zone recouverte d'un voile algare apparaissant sous forme de plaquettes desquamées (en présence de matériel argileux) ;
- une zone nue où le feutrage d'algues filamenteuses disparaît en raison de la granulométrie plus grossière.

Les bassins sont généralement édifiés sur les deux dernières zones avec, pour certains, l'utilisation de terrains décapés en amont du ressaut limitant les vases salées. L'inventaire des sites aquacoles réalisé par Aquadev (2000) conclut à un potentiel de développement selon les normes biotechniques retenues en Calédonie de 1 290 ha.

## 2.4. Climat

On distingue deux saisons marquées et deux saisons intermédiaires en Nouvelle-Calédonie (Anonyme, 1983). A partir du mois de décembre, les basses pressions

équatoriales atteignent la Nouvelle-Calédonie et amènent un temps instable chaud et humide. Pendant cette période, les cellules dépressionnaires peuvent évoluer en cyclone. La saison chaude s'étend jusqu'en mars. On distingue une saison intermédiaire en avril-mai marquée par un déclin rapide et de fortes variations des températures. Puis, c'est la saison fraîche qui dure de juin à août. Pendant cette période, de petites perturbations provoquent des averses. Une seconde saison intermédiaire, correspondant à une période de sécheresse et aux remontées des températures, s'étend de septembre à novembre.

Pendant une bonne partie de l'année, l'île est sous l'influence des alizés (figure 2). La température de l'eau de mer se situe entre 20 °C et 27 °C (figure 3). La salinité moyenne des sites de pompage oscille entre 35 et 38 ‰.

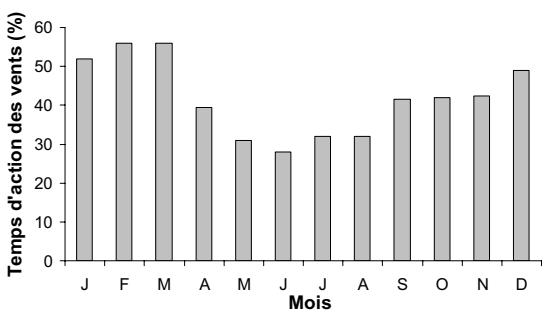


Figure 2 Pourcentage de temps d'action des vents de vitesse supérieure à 12 noeuds (Atlas NC ORSTOM, 1983).

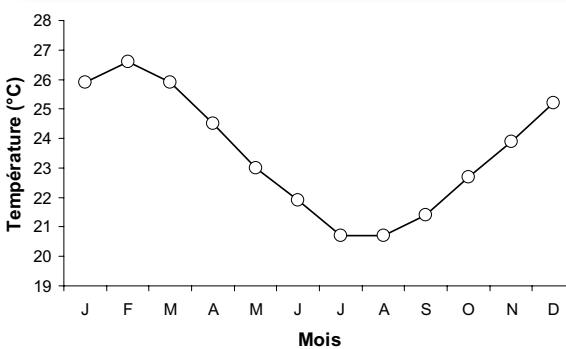


Figure 3 Moyennes saisonnières des températures de l'eau de mer (Atlas Nouvelle-Calédonie ORSTOM, 1983).

### 3. Les conditions d'aménagement d'un site

#### 3.1. Les critères socio économiques

##### 3.1.1. Prospection préliminaire

Le premier préalable auquel est soumis un nouvel opérateur est de vérifier si le site choisi a déjà été répertorié dans l'inventaire des sites de Nouvelle-Calédonie (Aquadev, 2000).

Il est fortement conseillé de s'enquérir ensuite de la situation foncière et de l'accessibilité au site en contactant les propriétaires riverains et en s'intéressant aux revendications claniques sur celui-ci.

Le laboratoire Ifremer de Koné peut donner, suite à une visite de terrain, un premier avis technique global sur l'adéquation du site avec la nature du projet envisagé.

Les animateurs du Groupement des Fermes Aquacoles (GFA) peuvent compléter l'information du promoteur :

- en déterminant en première approche l'adéquation entre sa capacité d'auto-financement et le coût approximatif du projet ;
- en indiquant la tendance du marché à l'export de la crevette à l'horizon trois ans (grille prix achat atelier de conditionnement) ;
- en examinant les disponibilités en post-larves des éclosseries en place ou à venir pour alimenter le projet aux périodes considérées.

### **3.1.2. Le lancement du projet**

Le promoteur saisit la Province concernée de son intention de réaliser une ferme aquacole sur des dépendances du domaine public maritime. Cette instruction domaniale doit être avalisée par le service technique provincial compétent en matière d'aquaculture.

Généralement, les éléments suivants sont à fournir :

- présentation générale du projet ;
- étude de faisabilité technico économique ;
- plan de situation et du projet (fichier numérique géoréférencé) ;
- copie des statuts de la société et Kbis récent.

Compte tenu du coût de l'électrification par dérivation HTA du réseau Enercal ( $\approx 16$  millions F CFP/km) et de l'éloignement des sites, il est recommandé de contacter la commune pour savoir si le projet peut rentrer dans le cadre d'un projet d'électrification plus global de l'ensemble des propriétés de la région financé par le FER (Fonds Electrification Rural).

Le dossier de faisabilité technico économique comprend les pièces suivantes :

- un relevé topographique (cabinet de géomètre agréé) ;
- un relevé bathymétrique (cabinet de géomètre agréé) ;
- une étude hydraulique et profils transversaux dans le cas de bassins versants importants (bureau d'Etudes en hydraulique) ;
- une analyse de l'eau de pompage (laboratoire d'analyse des eaux certifié) ;
- des mesures géotechniques des matériaux disponibles (laboratoire d'analyse BTP) ;
- une analyse des sols (laboratoire d'analyse des sols certifié) ;
- une étude d'impact sur l'environnement (bureau d'Etudes agréé) qui présente :
  - l'état initial du site avant la réalisation du projet ;
  - l'analyse des effets du projet sur l'environnement ;
  - la recherche des mesures compensatoires afin d'atténuer les effets prévisibles.
- une analyse technique qui comprend au minimum :
  - la surface exploitable ;
  - les réseaux d'électricité et d'adduction en eau douce ;
  - les matériaux disponibles pour l'édification des digues ;
  - les canaux de distribution de l'eau de mer ;
  - les ouvrages hydrauliques (station de pompage, moines d'adduction et d'évacuation, franchissement canaux) ;
  - les ouvrages d'évacuation des eaux de ruissellement ;
  - le personnel (nombre et compétence) ;
  - la définition et le dimensionnement des équipements et bâtiments d'exploitation ;
  - le calendrier probable de réalisation des travaux ;

- le montant des investissements.
- une analyse financière où sont définis :
  - les principales hypothèses technico économiques de l'entreprise ;
  - la performance économique du système d'exploitation choisi ;
  - les comptes d'exploitation prévisionnel et de référence ;
  - le plan de financement (besoins en fonds de roulement, bilans prévisionnels), le financement des investissements se faisant en général en double défiscalisation (cabinet d'ingénierie financière et fiscale).

## 3.2. L'eau

La plupart des pratiques agricoles nécessitent de l'eau mais elle est particulièrement importante pour la crevetticulture car c'est le milieu de vie du cheptel.

Le type d'élevage pratiqué en Nouvelle-Calédonie est très consommateur d'eau de mer en relation avec l'absence de normes limitant les rejets comme dans d'autres pays (Australie, USA, par exemple). Il est nécessaire de remplir les vastes bassins (jusqu'à 120 000 m<sup>3</sup>) puis de les renouveler quotidiennement (jusqu'à 30 % par jour en pointe).

L'eau du lagon est reconnue comme étant de très bonne qualité mais certaines précautions élémentaires doivent être prises avant d'implanter et de dimensionner la station de pompage.

### 3.2.1. Qualité de l'eau de pompage

A notre connaissance, il n'existe pas de normes spécifiques à la qualité d'eau de pompage des élevages de crevettes.

Dans le système semi-intensif développé en Nouvelle-Calédonie, les renouvellements d'eau permettent d'évacuer les résidus métaboliques de la consommation d'aliment (dont certains composés toxiques) et les autres déchets organiques. Ils permettent aussi de réguler les paramètres physico-chimiques essentiels (oxygène surtout). La gestion de l'eau n'est cependant pas simple car quel que soit le pourcentage de renouvellement d'eau utilisé, l'éleveur reste tributaire de la qualité initiale de l'eau de pompage. Par ailleurs, avec l'augmentation de la biomasse en bassin et donc de la consommation d'aliment, les besoins en eau s'accroissent. Un manque de renouvellement d'eau peut induire des stress (principalement crises d'oxygène), mais trop d'apport d'eau peut déstabiliser la productivité naturelle, provoquer une turbidité insuffisante et d'autres problèmes ...

Les possibilités de renouvellement en eau de bonne qualité constituent un des aspects essentiels de la technique de production développée. Dans tous les cas, le renouvellement d'eau est à la fois un des seuls moyens pour l'éleveur d'agir sur le milieu d'élevage et donc d'améliorer le bien-être des crevettes mais s'il est mal géré, il peut constituer un facteur de déstabilisation du milieu pouvant entraîner des conditions de stress génératrice de mauvais résultats de production (faibles croissances, apparition de pathologies, mortalités.) et aussi de dépenses énergétiques coûteuses et donc inutiles.

Le choix d'un système de production basé sur le renouvellement d'eau n'est donc pas simple contrairement aux apparences. L'éleveur est fortement tributaire d'une qualité d'eau initiale (liée au choix du site de pompage, aux variations environnementales, aux impacts humains) et de la maîtrise quantitative du renouvellement d'eau basée sur des critères à la fois environnementaux et biotechniques (M. Autrand com.pers.).

Les normes de la qualité de l'eau de pompage pour les élevages aquacoles en général (Hajek et Boyd, 1994) sont indiquées dans le tableau ci-après ([Tableau 1](#)).

Tableau 1 - Normes de qualité de l'eau de pompage (aquaculture eau de mer) d'après Hajek et Boyd, 1994.

Paramètres	Classification			Apparitions de problèmes liés à
	Acceptable	Moyenne	Défavorable	
solides dissous totaux (TDS/mg/L)	15 000 à 25 000	5 000-15 000 25 000-35 000	<5 000 >35 000	osmorégulation
salinité (g/L)		25-35 5,0 - 6,5 8,5 - 10,0	>35 <5,0 >10,0	osmorégulation pH faible pH élevé
pH	6,5 - 8,5	20 - 50 200 - 500	<20 >500	alcalinité faible alcalinité forte
alcalinité totale (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	50 - 200	15 - 30 60 - 120	<15 >120	phyto.excessif phyto.insuffisant sédimentation
disparition disque de Secchi	30 - 60			manque de lumière développement d'algues benthiques
turbidité (NTU)	0 - 25	25 - 100 10 - 25	>100 <10	oxygène bas maladie Gas bubble
oxygène dissous (mg/L)	>5	2 - 5 10 - 15	<2 >15	ΔP forte
ΔP (mm Hg)	0	0 - 50	>50	précipitation du fer
Fe <sup>2+</sup> (mg/L)	0 - 0,5	0,5 - 5	>5	phyto. excessif
orthophosphate (μg/L)	10 - 20	20 - 200	>200	phyto. insuffisant
CO <sub>2</sub> (mg/L)	0 - 5	5 - 10	<5	toxicité du CO <sub>2</sub>
demande chimique en oxygène (mg/L)	0 - 50	50 - 200	>200	demande en oxygène
NH <sub>3</sub> - N (mg/L)	<0,1	0,1 - 1,0	>1,0	toxicité de l'ammoniac
NO <sub>2</sub> - N (mg/L)	0 - 0,5	0,5 - 2,0	>2,0	toxicité des nitrites
H <sub>2</sub> S (μg/L)	0	Trace	>5	toxicité des sulfures
chlore (mg/L)	0	Trace	>1,0	toxicité du chlore

Un projet (provisoire) de définition du bon état des eaux a été rédigé par le ministère de l'écologie dont nous reproduisons quelques éléments (DCE Version 1 – Juillet 2008 / com.pers. Michel Marchand DYNECO-Ifremer Nantes) ([Tableau 2](#)).

*En matière de définition et d'évaluation de l'état des eaux, la Directive Cadre sur l'Eau considère deux notions ::*

- l'état chimique, destiné à vérifier le respect de normes de qualité environnementales (NQE), qui ne prévoit que deux classes d'état (respect ou non-respect). Les paramètres concernés sont les substances dangereuses qui figurent à l'annexe IX et les substances prioritaires citées à l'article 16 § 7 de la DCE (annexe X) ;
- l'état écologique. L'évaluation se fait, principalement, sur la base d'éléments biologiques et par des paramètres physico-chimiques soutenant la biologie. Il se décline en cinq classes d'état (très bon à mauvais). La nature et les valeurs-seuils de ces paramètres ne sont pas précisément définies au niveau européen ; chaque Etat-membre a donc la possibilité de proposer des méthodologies et des outils dans la mesure où ils répondent aux exigences de la DCE.

*Les polluants spécifiques doivent aussi être pris en compte, s'ils sont déversés en quantité significative. Deux classes d'état s'y appliquent (respect ou non-respect de la NQE).*

Tableau 2 - Normes de qualité à prendre en compte pour l'état chimique

N°UE Conseil Europe 22 juin 1982	N°UE DCE Ann. X	N°UE Projet Directive é fille	Nom de la substance	N° Cas (Chemical Abstracts Service)	NQEp eau (µg/l) (¹)		NQEp Biote (poids frais) (²)
					Eaux de transition	Eaux côtières	
	1.		Alachlore	15 972 - 60 - 8	0,3	0,3	
3	2.		Anthracène	120 - 12 - 7	0,1	0,1	
131	3.		Atrazine	1 912 - 24 - 9	0,6	0,6	
7	4.		Benzène	71 - 43 - 2	8	8	
	5.		Pentabromo-diphényléther (³)	32 534 - 81 - 9	0,0002	0,0002	
12	6.		Cadmium et ses composés	7 440 - 43 - 9	5 (⁴)	2,5 (Erreur ! Signet non actualisé)	
	7.		C10-13-chloroalcanes	85 535 - 84 - 8	0,4	0,4	
	8.		Chlорфенвінфос	470 - 90 - 6	0,1	0,1	
	9.		Chlorpyrifos	2921 - 88 - 2	0,03	0,03	
59	10.		1,2-Dichloroéthane	107 - 06 - 2	10	10	
62	11.		Dichlorométhane	75 - 09 - 2	20	20	
	12.		Di(2-éthylhexyl)phtalate (DEHP)	117 - 81 - 7	1,3	1,3	
	13.		Diuron	330 - 54 - 1	0,2	0,2	
76	14.		Endosulfan	115 - 29 - 7	0,0005	0,0005	
	15.		Fluoranthène	206 - 44 - 0	0,1	0,1	
83	16.		Hexachloro-benzène	118 - 74 - 1	0,03	0,03	10 µg/kg
84	17.		Hexachloro-butadiène	87 - 68 - 3	0,1	0,1	55 µg/kg
85	18.		Hexachloro-cyclohexane	608 - 73 - 1	0,02	0,02	
	19.		Isoproturon	34123 - 59 - 6	0,3	0,3	
Métal	20.		Piomb et ses composés	7439 - 92 - 1	7,2	7,2	
92	21.		Mercure et ses composés	7439 - 97 - 6	0,5	0,3	20 µg/kg (⁵)
96	22.		Naphthalène	91 - 20 - 3	1,2	1,2	
Métal	23.		Nickel et ses composés	7440 - 02 - 0	20	20	
	24.		Nonylphénols	25154 - 52 - 3	0,3	0,3	
	25.		Octylphénols	1806 - 26 - 4	0,01	0,01	
	26.		Pentachloro-benzène	608 - 93 - 5	0,0007	0,0007	
102	27.		Pentachloro-phénol	87 - 86 - 5	2	2	
99	28.		HAP	Sans objet	Sans objet	Sans objet	
			Benzo(a)pyrène	50 - 32 - 8	0,05	0,05	
			Benzo(b)fluoranthène	205 - 99 - 2	Somme = 0,03		
			Benzo(k)fluoranthène	207 - 08 - 9	Somme = 0,03		
			Benzo(g,h,i)perylène	191 - 24 - 2	Somme = 0,002		
			Indeno(1,2,3-cd)-pyrène	193 - 39 - 5	Somme = 0,002		
106	29.		Simazine	122 - 34 - 9	1	1	
	30.		Composés du tributylétain	688 - 73 - 3	0,0002	0,0002	
117-118	31.		Trichlorobenzènes (tous les isomères)	12 002 - 48 - 1	0,4	0,4	
23	32.		Trichlorométhane	67 - 66 - 3	12	12	
124	33.		Trifluraline	1 582 - 09 - 8	0,03	0,03	
46	1.	DDT total	Sans objet	0,025	0,025		
		para-DDT	50 - 29 - 3	0,01	0,01		
1	2.	Aldrine	309 - 00 - 2	0,01	0,01		
71	3.	Dieldrine	60 - 57 - 1	0,01	0,01		
77	4.	Endrine	72 - 20 - 8	0,005	0,005		
130	5.	Isodrine	465 - 73 - 6	0,005	0,005		
13	6.	Tétrachlorure de carbone	56 - 23 - 5	12	12		
111	7.	Tétrachloroéthylène	127 - 18 - 4	10	10		
121	8.	Trichloroéthylène	79 - 01 - 6	10	10		

<sup>1</sup> Sauf mention contraire, il s'agit de la concentration totale dans les eaux.<sup>2</sup> Poissons, ou mollusques, ou crustacés, ou autres biotes.<sup>3</sup> Pour le groupe de substances prioritaires «diphényléthers bromés» (n 5) retenu dans la décision 2455/2001/CE, seul le pentabromodiphényléther fait l'objet d'une NQE.<sup>4</sup> Concentration dissoute (après une filtration à 0,45 µm).<sup>5</sup> Valeur pour le méthylmercure.

Les concentrations moyennes des principaux sels dissous dans l'eau de mer (Boyd, 2000b) sont également rappelées ([Tableau 3](#)).

Tableau 3 - Concentrations moyennes des principaux sels dissous dans l'eau de mer d'après Boyd, 2000b.

Paramètres	Concentration en mg/L
chlorures	19 000
sodium	10 500
sulfates	2 700
magnésium	1 350
calcium	400
potassium	380
carbonates	142
bromures	65
strontium	8
silicates	6
bore	4

### 3.2.2. Marées

La faible amplitude des marées en Nouvelle-Calédonie et les besoins en eau excluent de pouvoir utiliser le marnage pour renouveler les bassins. Par contre ce faible marnage nécessite de bien analyser l'aménagement du site afin d'éviter par exemple d'éventuelles reprises d'eau de rejet par le pompage.

### 3.2.3. Bathymétrie

Il convient de vérifier l'accessibilité à l'eau de mer au niveau du site retenu par un relevé bathymétrique.

Il est important de définir le nombre minimal d'heures de pompage journalier possible compte tenu de la puissance d'aspiration et du type des pompes et de la hauteur d'eau minimale à la prise d'eau (cas d'un site de pompage situé en amont de large platier). Il faut vérifier l'adéquation de cette capacité minimale de pompage journalière avec la simulation la plus réaliste des besoins maximaux des bassins pour la stratégie d'élevage retenue.

### 3.2.4. Courants

L'agitation de l'eau est entretenue par l'action conjuguée de la houle générée par le vent et la marée. Ces deux facteurs donnent naissance à des courants de surface et de fond. Il est impératif de réaliser des études de courantologie pour vérifier que le site choisi est exempt de tout risque de repompage par tous régimes de vents et de marée.

Dans le cas où il est nécessaire d'endiguer le platier sur plusieurs centaines de mètres pour pallier la contrainte des marées, il faut positionner et dimensionner les enrochements en fonction de la force et de la direction des courants afin d'éviter une érosion et/ou un comblement trop rapide du canal d'aménée.

### 3.2.5. Platier et rivières

En période de crues, les rivières calédoniennes peuvent charrier des quantités importantes de particules terrigènes qui décantent dans le canal de distribution et les bassins, ou renforcent le bouchon ou seuil de boue situé à l'embouchure des arroyos où sont souvent localisées les prises d'eau.

Elles véhiculent également des tonnes de lys d'eau et autres débris flottants (feuilles et racines de palétuviers). De même, en présence de platier à herbiers très denses de phanérogames dites herbes à tortue, des pompes à gros débit ( $\approx 5\ 000\text{--}6\ 000\text{ m}^3/\text{h}$ ) sont susceptibles d'aspirer de grandes quantités des débris de ces plantes herbacées.

Dans ces deux cas, il est nécessaire de réaliser un épi et/ou un écumeur dans le canal aval et de prévoir un dégrillage sur la station de pompage pour éviter d'endommager les pompes et/ou d'éventrer les filtres des moines d'entrée.

### 3.2.6. Creeks et données pluviométriques

Les sites sont souvent situés dans des zones dites d'évacuations des pluies cycloniques dominées par des bassins versants de vastes superficies.

On peut le vérifier aisément par la présence de creeks actifs ou non (direction, importance).

Il est donc indispensable de réaliser une étude hydraulique pour déterminer les cotes d'inondation et les vitesses de courant associées. Les calculs hydrologiques prennent notamment en compte les surfaces, les temps de concentration et les coefficients d'imperméabilisation des bassins versants et une simulation d'une pluie fictive dite pluie de projet vingtennale ou centennale.

Ces données sont indispensables à l'édition des émissaires (matériau, dimensionnement, positionnement) pour l'évacuation des eaux et à la réalisation des travaux de protection (type et hauteur des enrochements) des digues.

### 3.2.7. Sources diverses de pollution

Il convient d'éviter la proximité de rejets potentiels industriels toxiques de mines (Beg *et al.*, 2001), de stockage d'hydrocarbures (Calderon Aquilera et Nenninger, 2004) et/ou domestiques (détecteurs, Chien, 1992), agricoles (pesticides (Galindo Reyes *et al.*, 2002), herbicides (Chen et Lin, 2001)), insecticides (Lignot *et al.*, 1998).

Il faut prendre en compte les risques éventuels d'eutrophisation (marées rouges) par les effluents d'une ferme aquacole voisine et/ou le lessivage des engrangements utilisés pour les cultures (Boyd et Massaut, 1999).

Les résidus d'antibiotiques ou de cuivre et/ou de zinc issus des élevages de porcs et de volailles ne sont pas à négliger (Graslund et Bengtsson, 2001).

Il est également nécessaire de vérifier les normes microbiologiques de l'eau du canal qui pourrait être souillée par les eaux usées d'habitats près du site (Dalsgaard, 1995).

Les résidus de peinture anti salissures peuvent être toxiques pour les pénéides (Saroglia *et al.*, 1981).

## 3.3. Le sol

L'étude du sol revêt une double importance dans la crevetticulture :

- pour l'aménagement des bassins (aptitude à la construction des digues et des canaux, et à retenir l'eau) ;
- pour le bien-être de la crevette qui vit sur le fond (Ritvo *et al.*, 1998a ; Mendes *et al.*, 2001).

D'un point de vue topographique et pédologique, les tannes, zones salées et nues d'arrière mangrove, constituent des zones d'aménagement privilégiées. Ces étendues planes en légère pente vers la mer (< 0,05 %) présentent des sols généralement limono-argileux imperméables sur lesquels sont posées les digues réalisées à partir de matériau compacté extrait de carrières souvent très proches. Leurs caractéristiques bio géochimiques sont le plus souvent favorables à la vie benthique car ces zones à l'intérieur de la laisse des PHM (Plus Hautes Mer) sont baignées quasi quotidiennement par la marée. Néanmoins, il est important de réaliser certaines analyses pour une bonne connaissance de l'état de leur composition (pH, matière organique, bases échangeables, phosphore et éléments traces disponibles).

### 3.3.1. La matière organique

La matière organique (MO) est certainement le constituant le plus important du sol

du point de vue de l'élevage. Elle sert de nourriture et de milieu de vie à la flore et à la faune du sol. Sous l'action des micro-organismes, elle libère les éléments nutritifs essentiels aux végétaux.

On pense à tort que les sols de tannes et les bassins crevetticoles contiennent de grandes quantités de matière organique. Les analyses réalisées par Guyotte (2005) en Calédonie et celles de Boyd (1992a et b), Boyd *et al.*, (1994a et b), et Munsiri *et al.*, (1996) révèlent qu'il s'agit là de sols que l'on peut qualifier de type minéral avec seulement 1 à 2 % de MO.

La MO du sol contient de 48 à 58% de carbone (C). La gamme optimale de concentration en carbone organique se situe entre 1 et 2,5 % (Boyd, 1995a).

Les microorganismes assimilent l'azote (N) et le carbone suivant des rapports C/N qui leur sont propres. Plus ce rapport est bas, plus la valeur nutritionnelle est grande. Les valeurs moyennes du ratio C/N trouvées par Guyotte (2005) sont de 16,02 sur les tannes et de 10,18 et 10,01 sur les bassins semi-intensifs et intensifs respectivement.

En compilant les avis de plusieurs auteurs qui ont travaillé sur le rapport C/N, on peut considérer que la gamme 9-12 est la plus favorable à une décomposition bactérienne optimale des sédiments aquacoles (Boyd, 1995a ; Chamberlain et Hopkins, 1994 ; Schroeder, 1987 ; Stahl, 1979).

### **3.3.2. Le phosphore**

Le phosphore (P) est un élément nutritif essentiel de la nutrition minérale du phytoplancton (Boyd *et al.*, 1981 ; Knud-Hansen, 1992). Il est toutefois un élément nutritif critique à cause de sa faible concentration dans le sol en particulier en Nouvelle-Calédonie (sols lessivés des régions subtropicales) et de sa faible solubilité (moyenne de 0,05 mg P/L de solution du sol). Le phosphore existe dans le sol sous les formes inorganique et organique. Les formes inorganiques sont associées à des composés amorphes ou cristallins d'aluminium et de fer dans les sols acides et à des composés de calcium dans les sols alcalins. Les formes de P organique sont associées à la matière organique du sol.

Pour Guyotte (2005), il semble que des seuils de 50 et 100 mg/L de P assimilable dosé par la méthode Truog (1929) peuvent être utilisés pour délimiter les classes : faible, moyen et élevé.

### **3.3.3. L'acidité - pH**

L'acidité d'un sol conditionne fortement la capacité des microorganismes à dégrader la matière organique présente et donc sa productivité (Boyd, 1992a et b). Une revue récente des caractéristiques des tannes vierges et des fonds de bassins calédoniens opérée par Guyotte (2005) montre que le pH naturel se situe dans la gamme recommandée, entre 7,5 et 8,5 (Boyd et Pippopinyo, 1994 ; Boyd, 2003).

Toutefois, l'analyse préalable du pH du sol des sites sélectionnés est indispensable. Certains sols particuliers peuvent présenter des pH hors gamme, acides ≈ 5 (influence d'anciennes mines de gypses) ou basiques ≈ 9 (influence des massifs ultrabasiques particulièrement riches en nickel et en chrome mais pauvres en éléments nutritifs essentiels à la croissance du phytoplancton, tels que l'azote, le phosphore, le carbone). Il faut proscrire les sols de mangrove qui ont un pH acide pouvant atteindre 3 ou 4.

Il faut aussi éviter le décapage des couches supérieures qui mettent à jour des horizons sous jacents de plus en plus acides et des conditions de plus en plus réductrices au fur et à mesure que l'on descend dans le sol.

### **3.3.4. La texture**

Les tannes sont des formations alluviales résultant de l'accumulation de lits de

sédiments et on y trouve une grande hétérogénéité de texture (Guyotte, 2005).

On peut toutefois qualifier une tanne moyenne calédonienne comme étant limono-argilo-sableuse d'après le triangle de texture suivant (figure 4).

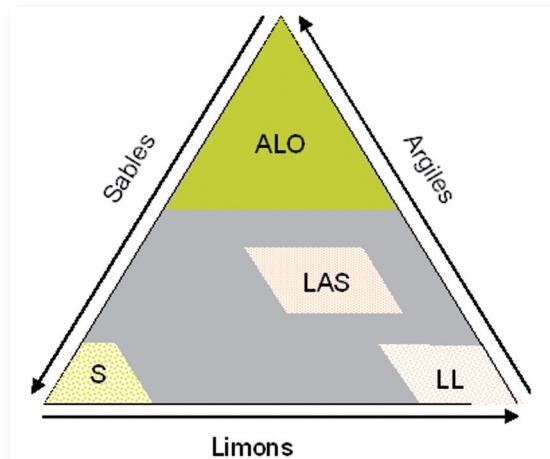


Figure 4 - Triangle de texture (LAS : limon argilo-sableux ; S : sable ; LL : limon léger ; ALO : argile lourde)

Cette nature leur confère une très bonne aptitude à constituer des fonds de bassins imperméables (Tableau 4).

Tableau 4 - Vitesse des pertes par infiltration en millimètres par jour (source encyclopédie Wikipedia).

Type de sol naturel	Pertes par infiltration (mm/jour)
sable	25,00 - 250
limon sableux	13,00 - 76
limon	8,00 - 20
limon argileux	2,50 - 15
argile limoneuse	0,25 - 5
argile	1,25 - 10

Par ailleurs, il convient de vérifier l'aptitude du marais à supporter le poids des engins destinés à l'édification des digues par des mesures géotechniques (Limites d'Atterberg, Indice de Proctor, Pénétromètre).

L'autre aspect de l'importance de la texture du sédiment est sa porosité, qui mesure les espaces entre les particules (Danovaro *et al.*, 1999). On recherchera ainsi une légère percolation du sol qui favorisera la vie interstitielle (Giere, 1993) par une meilleure circulation de l'oxygène dissous (Boyd, 1992a) qui servira de nourriture à la crevette (économie d'aliment) et aidera les bactéries à digérer la matière organique enfouie composée du granulé non consommé et des fèces de crevettes (Manini *et al.*, 2003).

### 3.3.5. Calcaire, carbonates et bases échangeables

Le calcaire est le seul constituant défini par sa nature chimique : le carbonate de calcium. Carbonates n'est pas synonyme de calcium puisqu'il peut y avoir toutes les combinaisons entre carbonates et cations magnésium (Mg), sodium (Na), potassium (K) pour les plus fréquents.

Le calcaire est un constituant important du sol, qui participe à sa bonne structure physico-chimique. Chimiquement parlant, il faut parler du cation  $\text{Ca}^{++}$ , qui est la forme sous laquelle le calcaire est absorbé par les plantes.

$\text{Ca}^{++}$  a pour propriété de se lier dans le sol à d'autres éléments, de nature négative, qui sont notamment l'argile et l'humus. La liaison entre ces éléments + et - forme des complexes chimiques stables. Le maintien de ces complexes dans les couches

superficielles du sol garantit la bonne composition physico-chimique du sol et améliore sa structure. Le calcaire, dans une certaine proportion, est donc un élément important qui participe à la fertilité du sol.

La teneur en calcium du sol aurait une influence positive sur la productivité des bassins de crevettes (Ritvo *et al.*, 1997a et b). Guyotte (2005) conseille néanmoins une proportion de 40 % Na, 25 % Ca, 25 % Mg et 10 % K.

A titre informatif, l'analyse de 750 bassins aquacoles réalisée par Boyd *et al.* (1994a et b) donne une concentration moyenne de 3,5 mg/L de calcium.

### 3.3.6. Bilan des métaux

La future fertilité d'un tanne passe également par la disponibilité d'autres éléments que ceux signalés précédemment. Dans son étude de caractérisation des tannes et sédiments aquacoles Guyotte (2005) recommande d'effectuer une analyse des bases totales ( $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $CoO$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $CuO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MnO_2$ ,  $NiO_2$ ,  $ZnO$ ,  $SO_3$ ) en complément de Ca, Mg, K et Na (en incluant P total). Certains métaux (titane et cobalt) ont ainsi été trouvés à des teneurs très fortes sur certains sites. Mais leur impact sur la crevette n'est pas connu.

Mendez *et al.*, (2001) ont cherché à établir un lien entre les teneurs totales et échangeables en Zn, Cu, Mn, Fe, Cd et P du sédiment et la survie et la croissance de *L. stylorstris*. Ils ont montré que les plus fortes survies étaient corrélées aux plus fortes concentrations en manganèse tandis que les plus faibles croissances étaient associées respectivement aux fortes valeurs de cuivre et basses valeurs de phosphore.

### 3.3.7. Toxicité

De nombreuses études ont montré la toxicité des métaux lourds sur les crevettes (Tableau 5). Suivant le polluant considéré, le phénomène de bio-transfert peut s'opérer directement du sédiment à l'animal ou par étapes, sédiment-eau-crevette (Senadheera et Pathiratne, 2003).

Il y a le plus souvent un effet de synergie de toxicité des métaux lourds sur la contamination des animaux (Vanega *et al.*, 1997).

Cette toxicité dépend fortement de la température et de la salinité (Hori *et al.*, 2002).

Tableau 5 - Toxicité de quelques métaux lourds sur les post-larves de crevettes d'élevage.

Espèce testée (âge)	Type de test	Toxicité	Auteurs
<i>L. vannamei</i> (P1)	LC 50 24 H	Hg (mercure) 0,415 mg/L Zn (zinc) 35 362 mg/L Cr (chrome) 40 892 mg/L	Wang <i>et al.</i> , (2005)
<i>P. monodon</i> (P1)	LC 50 96 H	Pb (plomb) 5,88 mg/L	Mokhtar <i>et al.</i> , (2002)
<i>P. penicillatus</i> (P1)	LC 50 24 H	Cd (cadmium) 3,40 mg/L	Lin et Tin (1993)
<i>P. monodon</i> (P1)	LC 50 24 H	Cu (cuivre) 4,56 mg/L	Chien (1992)

LC50= concentration létale à 50%

De fortes concentrations en carbonates de calcium ( $Ca^{2+}$ ) et de magnésium ( $Mg^{2+}$ ) et/ou un rapport inadéquat entre les deux peuvent avoir un effet délétère sur la survie et la croissance des péénéides (Wang *et al.*, 2000b). La gamme de tolérance, en eau de mer et pour *Penaeus chinensis*, sont des concentrations en calcium, magnésium et un ratio  $Ca^{2+}/Mg^{2+}$  de respectivement : 24,9/280,7 mg/L ; 34,5/344,9 mg/L et un ratio de 1/10.

## 3.4. Ingénierie et construction

Une ferme de grossissement calédonienne se compose en général de bassins (de 3 à 12 ha) disposés autour d'un canal principal (long parfois de plusieurs km) qui leur distribue l'eau de mer par gravité. Il est alimenté par une station de pompage qui

relève l'eau de 1,75 m à 3,50 m suivant la marée. L'eau du canal ( $\approx$  1 m de profondeur) s'écoule dans les bassins par l'intermédiaire d'ouvrages en béton. L'eau du bassin est évacuée par le moine de sortie ou d'évacuation muni de grilles de filtration adaptées à la taille des crevettes. Des drains d'évacuation collectent les rejets à l'opposé de la prise d'eau pour éviter une auto-pollution.

### **3.4.1. Les équipements et bâtiments**

Les exploitations intermédiaires calédoniennes selon la typologie du GFA (Fontfreyde *et al.*, 2004) présentent un ensemble d'équipements commun.

Les bâtiments du site consistent en :

- base vie ou maison de l'exploitant ;
- dock technique (bureau-laboratoire, magasin de stockage, atelier mécanique, zone technique abritant la machine à glace) ;
- local groupe électrogène-boîtier commandes des pompes ;
- réserve de carburants (essence et gas-oil) ;
- stockage d'aliment (intégré au dock ou silos de 2,5 t ou conteneur reconditionné au bord des bassins).

Les équipements d'exploitation comprennent :

- la station de pompage ;
- l'alimentation électrique de la ferme (généralement par groupe électrogène très rarement par raccordement au réseau) ;
- l'alimentation en eau douce (raccordement au réseau AEP municipal, cuve tampon alimentée par camion d'eau communal, forages) ;
- le matériel d'exploitation des bassins (bateaux distributeur d'aliment sur les bassins, batardeaux, filtres et grillages pour les moines, tracteur pour le labour à l'assèc, véhicules de liaison et de transport interne) ;
- les équipements de plongée, le matériel d'échantillonnage des crevettes (épervier, balance) et de contrôle de l'alimentation du cheptel (mangeoires).

Les opérations de pêches s'effectuent soit dans une zone de pré-traitement des récoltes intégrée au dock ou attenante au moine de pêche et regroupent :

- les pompes à crevettes ou les filets chaussettes pour les buses de sortie ;
- les bacs de refroidissement et de traitement des crevettes ;
- la(es) table(s) de tri ;
- les paniers pour la manutention des crevettes ;
- un système de recirculation d'eau.

Les équipements de mesures :

- réfractomètres ;
- thermomètres ;
- oxymètres ;
- pHmètres ;
- loupe binoculaire pour déterminer les stades de mue des crevettes ;
- microscope pour l'examen du phytoplancton.

### **3.4.2. Eléments techniques sur l'édification des digues**

En Nouvelle-Calédonie, les bassins ne sont pas creusés dans le sol mais constitués de digues posées et/ou ancrées sur les tannes.

Les profondeurs moyennes des bassins crevetticoles dépendent du type d'élevage considéré. Elles oscillent entre 1,0-1,3 m (Villalon, 1991) et 1,3-1,50 m (Chanratchakool *et al.*, 1993) respectivement pour les bassins de type semi-intensifs

et intensifs. Cette norme est généralement respectée en Nouvelle-Calédonie. On estime nécessaire une revanche d'au moins 70 cm au dessus du niveau maxi de l'eau de sorte que la hauteur minima des digues au point le plus profond dépasse largement les 2,0 m. La largeur moyenne d'édition initiale des digues varie suivant les fermes de 4 à 6 m.

Sur une ferme intermédiaire l'emprise des digues au sol et le canal représente 15% à 20 % de la surface totale du site.

Les sols limono-argileux caractéristiques des marais sont la plupart du temps homogènes et peuvent supporter les charges habituelles des matériaux de remblais des digues constitutives des bassins. Toutefois des poches de vases semi liquides sous-jacentes, profondes de plusieurs mètres, peuvent contraindre à la modification du tracé initial.

Les mesures géotechniques préalables visent à la recherche du ou des gisements de matériaux permettant de construire les digues dans des conditions de stabilité et de perméabilité acceptables. Elles sont réalisées à la pelle-rétro pour identification in situ et prélèvements pour essais au laboratoire :

- teneur en eau ;
- analyse granulométrique ;
- limites d'Attenberg ;
- Proctor normal pour essai de perméabilité au pot de Terzaghi.

Les deux types de matériaux recherchés pour l'édition des digues sont :

- les graveleux de schiste : matériaux perméables utilisables pour un corps de digue avec noyau d'argile et pour la bande de roulement des digues ;
- les argiles : matériaux utilisables pour réaliser si nécessaire l'étanchéité des digues par une clé d'ancrage.

N.B. : Les matériaux appelés schistes sont des roches éruptives de la formation des basaltes ou dolérites d'analyse chimique moyenne suivante : SiO<sub>2</sub> (50 %) ; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (15 %) ; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (4 %) ; MgO (7 %) ; CaO (9 %) ; Na<sub>2</sub>O (4 %) ; K<sub>2</sub>O (0,5 %) ; TiO<sub>2</sub> (1,5 %) ; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,1 %) ; MnO (0,3 %) ; H<sub>2</sub>O (2,8 %).

Généralement, la totalité des matériaux est disponible à proximité du site ce qui permet d'abaisser les coûts de construction en minimisant les distances de roulage. A défaut, on approche de l'équilibre déblais-remblais en surdimensionnant le canal d'aménée. Cette opération présente le double avantage de limiter l'érosion des digues intra canal (vitesse de courant ralentie) et de pouvoir constituer une réserve d'eau lorsque celui-ci n'est plus approvisionné en eau du lagon (marée basse).

Il existe plusieurs profils de digues caractérisés par différentes pentes et largeurs en tête, et calculés en relation avec la nature du matériau et les contraintes prévisibles (figures 5 et 6).

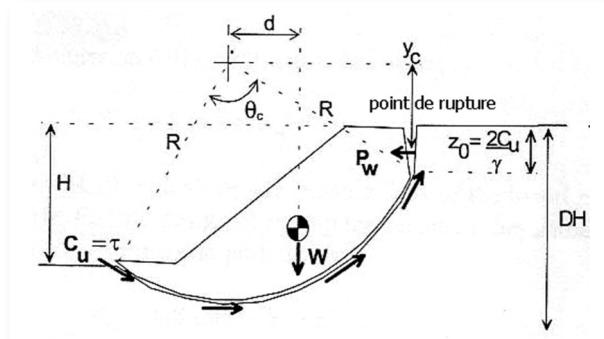


Figure 5 - Calcul de pente basé sur la cohésion apparente et le poids mobilisé par unité de longueur de digue

(d'après Peterson, 2000).

Après piquetage des bases de digues  $\approx$  10-12 m, les déblais de graveleux de schiste provenant du creusement du canal sont étalés en couches de 30-50 cm. Le matériau est poussé et sommairement étalé par un bull type D4G en une banquette de largeur minimale 6 m (permettant à deux camions de se croiser). Le compactage de ces bandes à l'aide d'un pied de mouton n'est pas recommandé car cet engin déstructure les sols de type marais. Il est assuré indirectement par les très nombreux passages de camions 10 roues chargés.

Ce premier travail s'achève lorsque la hauteur de la digue provisoire atteint 1,50-1,75 m (+ 50 cm de revanche au-dessus du niveau maximal en eau prévu pour le bassin).

Dans un second temps, une pelle rétro tranche le milieu de cette digue de la largeur d'un godet 1-1,50 m et creuse jusqu'à 0,75-1,00 m le marais pour l'ancre. Le matériau schisteux est évacué de part et d'autre de la digue et sera utilisé pour niveler les pentes de celle-ci. De l'argile, la plus imperméable disponible, est vidée par les camions dans la tranchée et compactée à l'aide du dos du godet de la pelle.

Finalement, l'ensemble est recouvert d'une couche de 50 cm de matériau type schiste pur présentant une forte résistance aux charges roulantes.

Un soin extrême doit être pris pour réaliser une excellente étanchéité des digues entre canal et bassin et entre bassins mitoyens. Elle conditionnera pour de nombreuses années la bonne mise en assec de la ferme nécessaire à la minéralisation de la matière organique (fertilité des élevages), l'élimination des compétiteurs (économie d'aliment) et l'assainissement (cas de pathogènes).

Sur des unités de surfaces aussi importantes (dizaine d'ha) et compte tenu de l'importance des alizés en Nouvelle-Calédonie, un courant de surface (*feth*) se crée qui arrache les fines de la digue sous le vent très exposée au vent et un contre-courant compensatoire de fond les dépose près de la digue au vent (figure 7, Griessinger, 1994).

L'ampleur du phénomène est proportionnelle à l'orientation, à la forme (rapport longueur/largeur), à la pente de la digue et à l'exposition du bassin à l'alizé. L'intensité des dégâts occasionnés est extrêmement forte au cours du premier élevage (matériaux insuffisamment compactés).

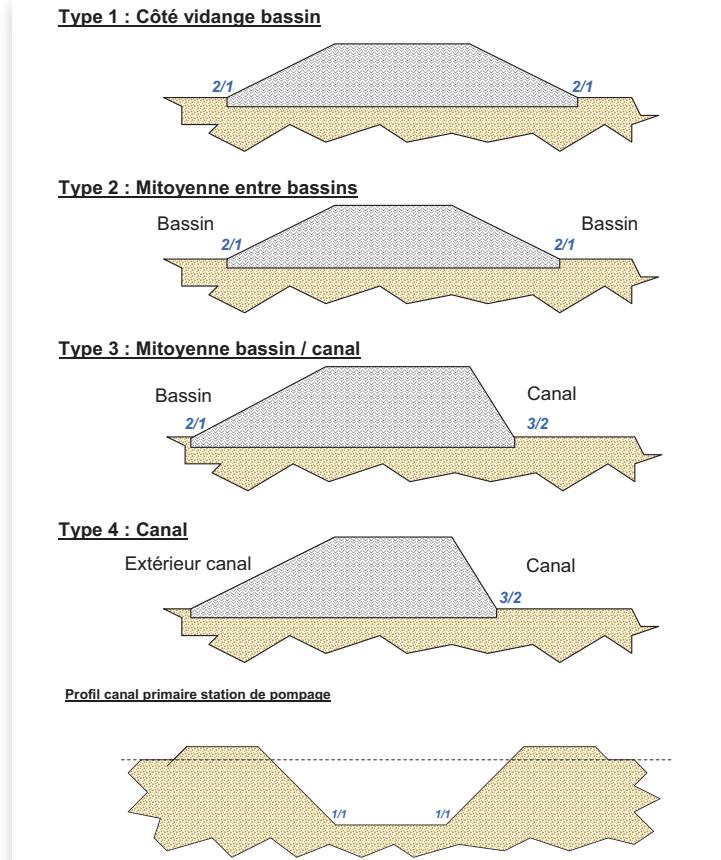


Figure 6 - Différents profils de digues en schiste à respecter suivant les emplacements sur la ferme.

La part la plus importante des fines minérales des horizons supérieurs des sédiments crevetticoles provient de l'érosion des digues au cours du premier élevage (Boyd, 1992a). Une proportion trop forte des particules fines ou pélites peut avoir des conséquences négatives sur l'élevage.

En effet, la teneur en particules fines joue un rôle très important dans l'écologie des espèces benthiques qui servent de nourriture à la crevette. Les sédiments fins sont fréquentés préférentiellement par les nématodes et les plus grossiers par les copépodes (Coull, 1985). Or ce sont ces derniers qui sont les plus consommés et les plus nutritifs pour la crevette *L. stylorostis*. Par ailleurs, la circulation des éléments dissous et de l'eau interstitielle est ralentie dans ce type de milieu sédimentaire (Frouin, 1996), de même que la pénétration de l'oxygène dissous y est plus difficile (Meijer et Avnimelech, 1999).

Les conséquences sont très sérieuses :

- réduction de 15-20 % de la largeur de la crête de digue exposée (bande de roulement réduite), création de renards en pied de digue au vent (percolation), décapage de la surface originelle du tanne (acidité, portance) ;
- accumulations de matières organiques créant des conditions défavorables au bien-être du cheptel, diminution de la profondeur du bassin côté abrité empêchant la distribution de granulés par bateau ; entrave à la préparation des bassins à l'à sec.

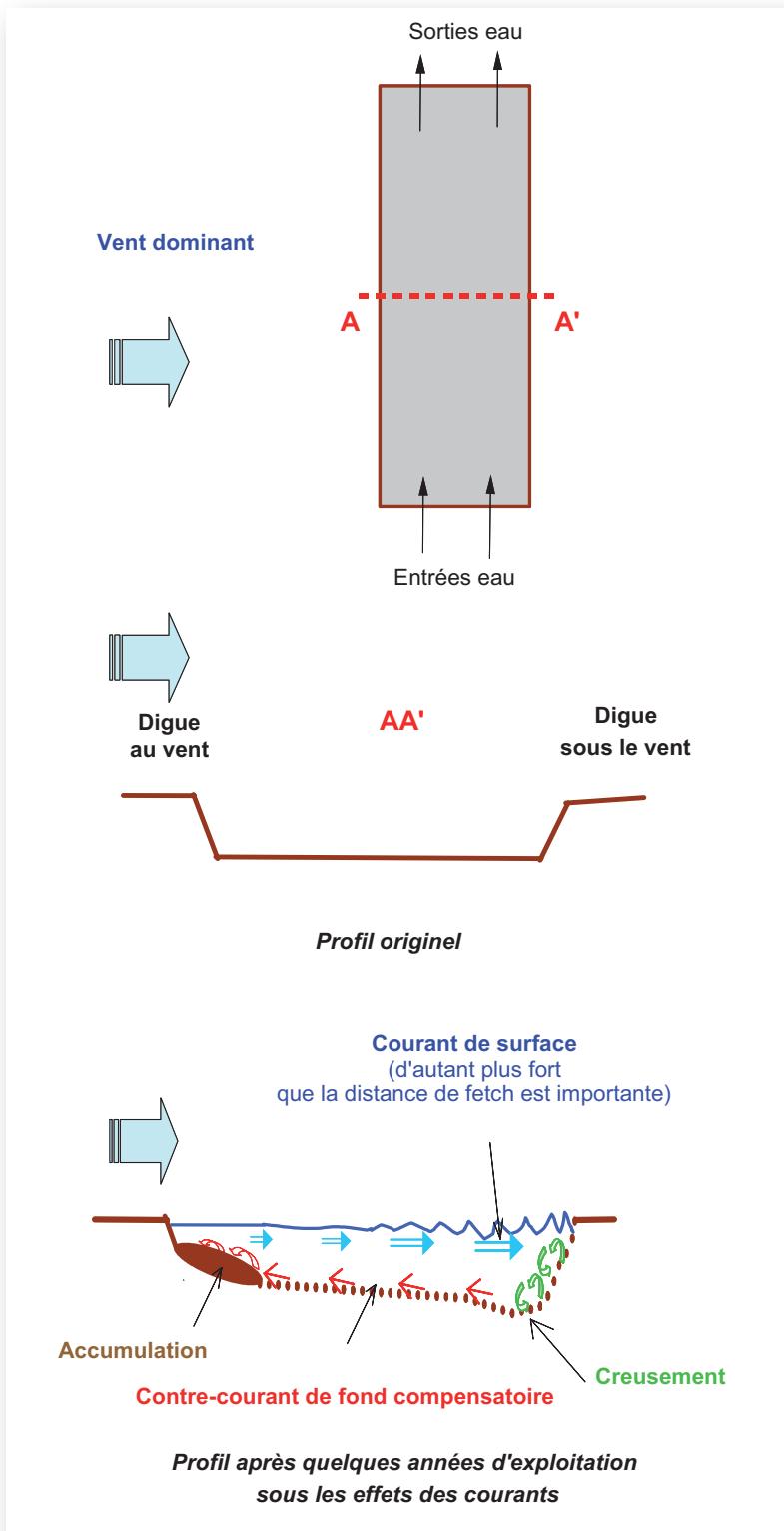


Figure 7 - Effet du vent sur les profils transversaux des bassins (Griessinger, 1994).

Bien que le coût soit relativement élevé, il est fortement recommandé de protéger les digues dès la construction de la ferme à fortiori si des dispositifs d'aération sont mis en place (Peterson *et al.*, 2003). L'érosion peut être évitée en disposant sur les pentes des couches de galets ou rock rip rap, des films en polyane ou du géotextile (Yuvanatemiya et Boyd, 2006). La meilleure efficacité est assurée par des gabions ou des enrochements mais en milieu marin les enveloppes de grillage ne résistent pas à la corrosion (Debo et Reese, 1995). Un moyen d'y parvenir est de fabriquer des sacks gabions en enveloppant les matériaux dans des sacs en fibres ou en bambou. L'avenir est peut-être dans la bioingénierie des sols où des processus mécaniques et biologiques sont combinés pour créer des structures vivantes pour la protection des digues (Yoo et Boyd, 1994). Le challenge en mariculture est de cultiver et de maintenir des plantes halophiles sur les pentes (Peterson, 2001). Hajek et Boyd (1994) considèrent qu'un des critères à respecter pour le matériel destiné à la réalisation des digues est qu'il ne produise pas de lixiviat (Cf. Chap. IV 2.1) et que des plantes puissent s'y développer.

A défaut, il est indispensable de mettre en place des enrochements sommaires aux endroits les plus exposés (partie de la digue au vent) et de creuser un caniveau qui jouera le rôle de piège à fines et qu'il faudra curer régulièrement (digue sous le vent) (Avnimelech et Ritvo, 2003).

Le volume des cubatures des remblais constitutifs des digues est de l'ordre de 2 000 m<sup>3</sup>/ha, le volume du m linéaire de digues variant de 15 à 20 m<sup>3</sup>.

Dans des conditions météorologiques favorables, le parc d'engins suivant permet de réaliser les terrassements de 5 bassins de 10 ha, un canal de 2 000 m à terre, une prise d'eau de 100 m sur le platier et de mettre en place 5 000 m<sup>3</sup> d'enrochement en 6 mois :

- 3 camions 10 roues 20 m<sup>3</sup> type benne carrière ;
- 1 camion 6 roues 16 m<sup>3</sup> ;
- 2 tracto pelles pour déblais-remblais ;
- 1 tracto pelle pour enrochements ;
- 1 bull de type D4G ;
- 1 bull de type D4G LGB (Low Ground Pressure) ;
- 1 compacteur tandem vibrant.

### **3.4.3. Les principaux ouvrages hydrauliques : station de pompage et moines**

#### **Dimensionnement de la capacité de pompage**

On relie empiriquement par un facteur de 100, les besoins en renouvellement exprimés en % du volume du bassin/jour et la biomasse de crevettes en kg/ha. Ainsi en début d'élevage pour une biomasse de 500 kg/ha on renouvellera 5 % de l'eau du bassin chaque jour. En pleine charge juste, avant la première pêche partielle et pour une biomasse d'environ 2 500 kg/ha, il faudra renouveler au taux de 25 %/jour.

Pour dimensionner précisément la capacité de pompage, il faut simuler les besoins maximaux en renouvellement des bassins compte tenu de la stratégie d'ensemencements annuelle la plus représentative : par exemple avec 5 bassins ensemencés en saison chaude (1 en septembre, 2 en octobre et synchrones, 2 en décembre et synchrones). Il faut également prendre en compte la baisse progressive de la biomasse des bassins du fait des récoltes partielles ([figure 8](#)).

On détermine ainsi les besoins maximaux de la ferme (92 000 m<sup>3</sup> par jour sur 24 h dans l'exemple choisi). La bathymétrie du site de pompage définit la durée minimale journalière de pompage. Il faut ensuite faire le choix du nombre et du type de pompes.

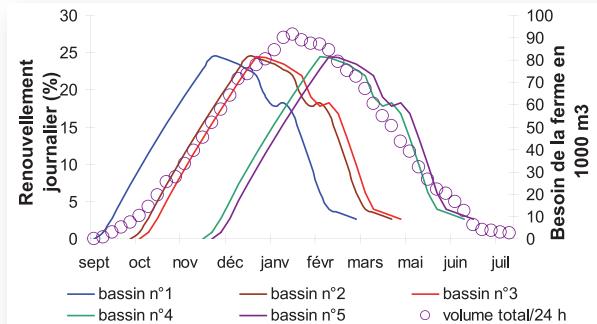


Figure 8 - Simulations des besoins de pompage.

Si l'on considère que les horaires de pompages seront limités à 13 h/jour aux marées les plus défavorables et que l'on fait le choix d'investir dans un jeu de 4 pompes, on obtient la capacité unitaire d'une pompe soit  $\approx 3\ 250\ m^3/h$ . Si l'on se fixe 16 h de pompage quotidien en moyenne sur la saison de production, on voit qu'en routine de une à trois pompes seront utilisées, la quatrième servant de secours la majorité du temps (figure 9).

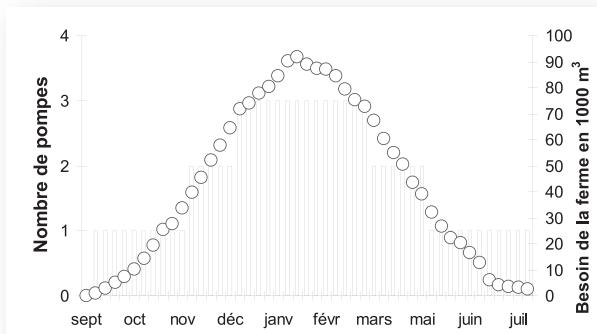


Figure 9 - Calcul du débit d'une pompe et simulation du fonctionnement de la station de pompage

## Station de pompage

### Type de pompe

Dans une station de pompage, les pompes constituent l'élément essentiel, sur lequel tout ou presque va se greffer. Le premier choix est donc celui de la pompe : pompes verticales, submersibles verticales ou inclinées et de surface. Parfois, des considérations extérieures au pompage interviennent. Par exemple, les appels de courant au démarrage peuvent inciter à fractionner la puissance totale en plusieurs unités (cas de l'alimentation par groupes électrogènes).

L'évolution de la conception d'une station se fait dans le but de réduire :

- le volume de génie civil par l'emploi de pompes verticales ou monoblocs, par une protection plus sommaire contre les intempéries ;
- le temps de montage sur site par l'emploi de tuyauteries préfabriquées, de pompes monoblocs, de sous-ensembles constituant l'essentiel de la station (stations de relevage préfabriquées, par exemple) ;
- les frais d'entretien et d'immobilisation par l'amélioration des isolants électriques, l'emploi de matériaux inoxydables, la standardisation des éléments, et les frais de personnel par l'automatisation.

Le prix des pompes ne représente qu'un faible pourcentage du prix total des équipements électromécaniques de la station. En revanche, puisque tous les autres éléments sont liés au choix de la pompe (hauteur manométrique totale HMT, débit), ce choix doit être fait non pas en fonction du prix d'achat de la pompe seule, mais en fonction du prix total de la station et de son coût d'exploitation.

## Implantation

Hormis la qualité d'eau sur laquelle on ne peut transiger, le choix de l'implantation d'une station de pompage est forcément un compromis entre des contraintes environnementales (cordon de mangrove, platier) et géotechniques (études de fondations, soutènement, curage). En Nouvelle-Calédonie, 83 % des fermes sont équipées d'une station de pompage avec prise d'eau sur un canal d'aménée et équipées de pompes submersibles à hélice axiale (de 600 m<sup>3</sup> à 6 000 m<sup>3</sup>/h).

## Hauteur manométrique

La hauteur manométrique correspond à la différence entre les niveaux de l'eau de la mer (côté lagon) et de la surface du canal de distribution (côté ferme). La hauteur de relevage n'est pas très importante sur les fermes de Nouvelle-Calédonie, elle est variable suivant les sites, comme indiqué sur le [tableau 6](#).

Tableau 6 - Exemples de hauteurs de relevage sur trois fermes.

Niveaux retenus	Ferme A	Ferme B	Ferme C
cote surface canal	+ 1,20 m	+ 1,40 m	+ 1,40 m
cote plus haute mer	+ 0,75 m	+ 0,90 m	+ 0,90 m
zéro NGNC	± 0,00 NGNC	± 0,00 NGNC	± 0,00 NGNC
cote plus basse mer	- 1,05 m	- 0,75 m	- 0,20 m
hauteur à relever			
Maximum	2,25 m	2,15 m	1,60 m
Minimum	0,45 m	0,50 m	0,50 m

Sachant que la dépense énergétique de la pompe est proportionnelle à la hauteur d'eau à relever et que la qualité de l'eau de mer est généralement meilleure à marée haute qu'à marée basse, on comprend l'intérêt de faire coïncider autant que possible les horaires de pompage avec ceux des marées hautes.

## Points de vigilance

Par le passé, certaines stations de pompage ont connu de graves problèmes d'électrolyse liés à des défauts de génie civil (enrobage insuffisant des armatures du béton armé) et à une mise à la terre défectiveuse (tresse sous dimensionnée, raccordement approximatif au ferraillage, soudure inadéquate).

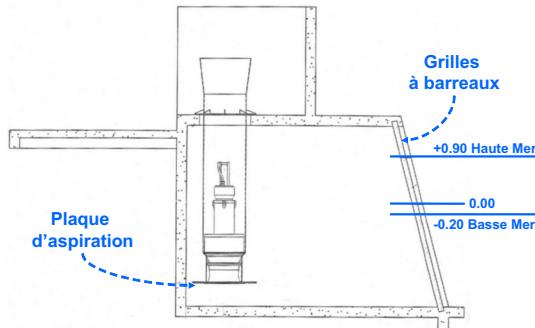
Un soin très particulier doit être apporté aux cotes du niveau d'eau minimum et de la chambre d'aspiration (précis au 1 cm), au sens d'écoulement 0-10° d'angle et à la vitesse maximum de l'eau pompée (1 m/s), aux dispositifs anti-vortex (nervure de radier, rugosité des parois) afin de limiter les phénomènes de cavitation et l'accélération résultante de la corrosion ([figure 10](#)).

La protection anti-corrosion d'origine des pompes (couche de fond : peinture en zinc en 2 composants sur base époxy-résine 35 µm + couche de finition : laque standard 100 µm) est souvent insuffisante. Les éleveurs précautionneux les repeignent à chaque fin de cycle.

Il est impératif de disposer d'une pompe de secours disposée à proximité immédiate de la station de pompage avec le matériel de levage adéquat ([Photo 2](#)) et son équipement électrique prêt à être connecté par du personnel non spécialisé.



Photo 2 – Station de pompage d'une ferme familiale avec son portique de levage

Figure 10 - Vue en plan d'une station de pompage avec une pompe verticale submersible de 6 500 m<sup>3</sup>/h (Della Patrona com. pers.). La profondeur de la fouille est de 3,90 m.

## Les moines

### Moines d'adduction, d'évacuation et de pêche

Ce sont les ouvrages qui permettent de gérer le renouvellement d'eau et de maintenir le cheptel dans un environnement propice à un rendement optimal.

L'apport en eau via les moines d'entrée permet de compenser les pertes par évaporation et percolation. Il est nécessaire pour maintenir la salinité dans une gamme adéquate.

Lorsque le taux d'oxygène dissous du bassin est faible, un apport massif d'eau d'entrée à teneur beaucoup plus forte est un moyen de relever par dilution la concentration moyenne en oxygène dissous du bassin (Boyd et Fast, 1992). L'effet est d'autant plus efficace que l'ouvrage d'adduction :

- sera dimensionné pour un passage rapide de l'eau de surface plus oxygénée du canal ;
- sera bien positionné pour irriguer en eau neuve la surface maximale du bassin.

Les ouvrages d'évacuation permettent d'éliminer les sels nutritifs en excès, les restes du plancton et les métabolites toxiques. Ils doivent être équipés d'un système d'évacuation d'eau de surface par le haut pour éliminer :

- les efflorescences phytoplanctoniques indésirables (eaux rouges) ;
- l'eau douce apportée par les pluies cycloniques qui, par effet de loupe, peut contribuer à un échauffement excessif du fond par stratification,

bloquer l'apport en oxygène des couches sus-jacentes à celles du fond (Losordo et Piedrahita, 1991).

Une chasse de la couche située à l'interface eau-sédiment, zone la plus consommatrice en oxygène du bassin, contribuera de manière complémentaire à relever la concentration en oxygène du bassin. Le nettoyage de fond sera d'autant plus efficace que le moine de sortie :

- sera équipé d'un système efficace d'évacuation par le bas ;
- sera positionné pour draîner les accumulations.

La tendance actuelle des fermes est d'effectuer toutes les opérations de pêches et de pré conditionnement sur une plateforme de pêche attenante à un moine d'évacuation modifié. De sorte qu'un unique contremaître peut surveiller l'ensemble des opérations de pêche qui ne sont plus éclatées sur de grandes distances, préjudiciables à la qualité du produit. Il pourra ainsi gérer en même temps le flux de sortie des crevettes, le rythme des traitements et du remplissage du camion frigorifique.

## Les batardeaux et cadres

Les cadres d'entrée sont munis de grillage type moustiquaire ou blutex de maille 1 mm ou de type polyéthylène de maille plus grande (5-10 mm) lorsque le flux d'eau entrant devient limitant. En fin d'élevage (débit journalier de 25-30%), la plupart des aquaculteurs enlèvent les cadres.

Les filtres de sortie sont munis de grillages adaptés à la taille des crevettes. Ces panneaux (sections 0,10 m \* 0,04 m \* L) sont réalisés en Houp, *Montrouziera caulinflora*, bois mi-lourd et mi-dur assez cher (140 000 F CFP/m<sup>3</sup>). Il est recommandé de confectionner des modèles renforcés de deux lattes horizontales (filtre de sortie) et verticales (filtre d'entrée).

Les batardeaux (sections 0,10 m et 0,20 m \* 0,04 m \* L) sont fabriqués en bois mi dur à lourd moins cher (90 000 F CFP/m<sup>3</sup>) tel le chêne rouge, *Cunonia austrocaledonica*, le tamanou, *Calophyllum caledonicum*, le goya jaune, *Piliocahyx spp.* et à un degré moindre le rouge, *Metrosideros spp.*

Un préfiltre (sections 0,08 m \* 0,04 m \* L) posé sur les batardeaux d'entrée est recommandé lorsque l'eau de pompage charrie souvent des débris flottants comme l'herbe à tortue.

## Implantation

Le nombre de moines par bassin dépend de la superficie de celui-ci. Les normes admises sont de un moine d'adduction et un moine d'évacuation/pêche pour un bassin de 2-5 ha et de deux moines d'entrée et de deux moines de sortie dont un de circulation et l'autre de vidange au-delà de 5 ha.

Compte tenu du coût relatif d'un tel ouvrage ( $\approx$  0,2% du montant de l'investissement total) et de l'importance du renouvellement d'eau a fortiori pour l'élevage type semi-intensif, certains aquaculteurs, à très juste titre, optent pour quatre moines d'entrée (bassins  $\approx$  9-12 ha).

Le schéma hydraulique global doit optimiser la distribution maximale de eau neuve à toute l'étendue d'un bassin d'une dizaine d'hectares en évitant de créer des zones mortes (Lawson et Wheaton, 1983) et favoriser le drainage efficace de la zone d'accumulation prévisible (effet du vent et/ou de l'aération) (Photo 3). Le choix des emplacements tiendra compte également de l'effet de dérive du vent sur les courants d'eau (Peterson, 2001).

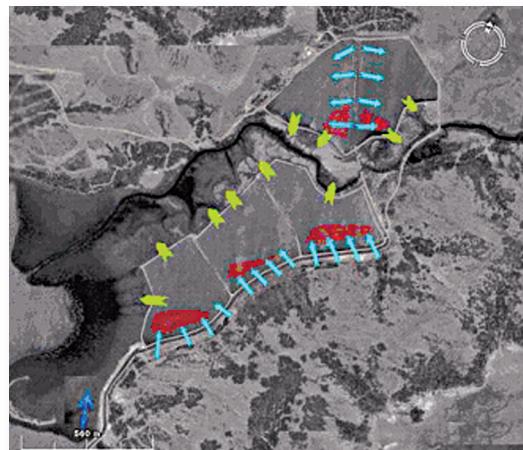


Photo 3 – Optimisation du positionnement des 4 moines d'entrée (bleu) et des 2 moines de sortie (vert) d'une ferme avec l'emplacement des accumulations (rouge) en fonction de la direction des vents dominants (alizés sud-sud-est).

Un soin très particulier doit être apporté au niveau de la cote altimétrique (système de nivellation NGNC) du moine d'évacuation qui permettra d'évacuer les dernières flaques résiduelles après la vidange finale. Il faut prévoir un décaissement du terrain naturel de 60 à 70 cm ([figure 11](#)).

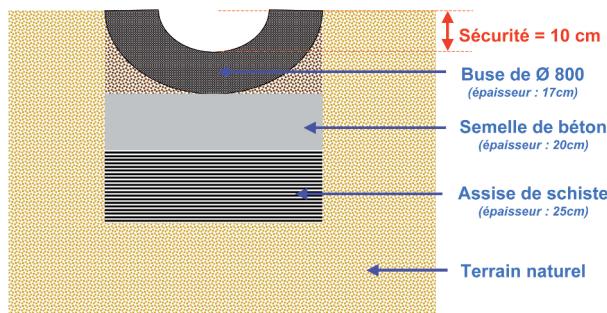


Figure 11 - Niveau d'implantation d'un moine de vidange.

### Points de vigilance

On positionne souvent l'ouvrage de vidange finale par rapport à l'écoulement de l'eau via les arroyos naturels qui sillonnent les tannes avant construction de la ferme. Il faut noter toutefois que l'édition des digues sur cette zone du marais très instable peut conduire à un relèvement très important du fond par la formation d'un bourrelet latéral en réaction à une pression (phénomène de panse de vache) qui peut dépasser la sécurité prévue de -10 cm sous le niveau du terrain naturel.

La vidange finale se fera plus rapidement par un moine qui dispose d'une section rectangulaire ou carrée car à cote altimétrique égale, la surface « mouillée » d'une section rectangulaire est plus importante qu'une arrondie.

La confection du béton armé de ces ouvrages qui sont en contact permanent avec l'eau de mer doit être surveillée notamment : l'enrobage des armatures (+ 5 cm), la nature des matériaux et des agrégats utilisés (pas de terre), l'ajout d'un adjuvant hydrofuge (1L/100 kg), le dosage du ciment CPA ( $\approx 400 \text{ kg/m}^3$ ), la mise en œuvre par pervibration à l'aide d'une aiguille, la réalisation des coffrages assurant le meilleur fini des feuillures destinées à recevoir les batardeaux et les filtres.

### 3.4.4. Les dispositifs d'aération

#### Principaux objectifs de l'aération

L'oxygénation complémentaire devient nécessaire lorsque la consommation en oxygène de l'écosystème bassin excède l'aération naturelle produite par le vent, la photosynthèse et le renouvellement (Boyd, 1998).

Le principe d'un aérateur est d'influencer positivement ou négativement le taux de transfert d'oxygène de l'air à l'eau en augmentant la turbulence et la surface de contact de l'eau avec l'air.

L'air contient 210 mg/L d'oxygène tandis que l'eau d'un bassin crevetticole seulement 2-12 mg/L en moyenne.

L'eau de mer du lagon à saturation contient typiquement 6-7 mg/L d'oxygène dissous, teneur qui dépend de la salinité et de la température ([Tableau 7](#)). De sorte que le renouvellement est un moyen peu efficace pour augmenter la concentration en oxygène dissous des bassins aquacoles.

L'effet positif de l'oxygénation par aérateur ne fonctionne que lorsque l'oxygène dissous du bassin se trouve en dessous de la saturation. Au-delà, il y aura un dégazage de l'oxygène du bassin vers l'air.

[Tableau 7](#) - Table de solubilité de l'oxygène dans l'eau (mg/L) en fonction de la température et de la salinité-chlorinité.

Temp. (°C)	Chlorinité (%) Salinité (‰)											
	0 (0)	2 (3,6)	4 (7,2)	6 (10,8)	8 (14,5)	10 (18,1)	12 (21,7)	14 (25,3)	16 (28,9)	18 (32,5)	20 (36,0)	22 (39,7)
20	9,11	8,92	8,73	8,54	8,37	8,20	8,03	7,86	7,69	7,53	7,37	7,22
21	8,93	8,74	8,56	8,39	8,20	8,03	7,87	7,70	7,54	7,39	7,23	7,09
22	8,74	8,57	8,39	8,22	8,05	7,89	7,71	7,55	7,40	7,24	7,10	6,94
23	8,59	8,40	8,23	8,05	7,89	7,73	7,57	7,42	7,26	7,11	6,96	6,81
24	8,42	8,25	8,07	7,90	7,75	7,59	7,43	7,27	7,13	6,98	6,83	6,70
25	8,26	8,09	7,91	7,76	7,60	7,44	7,29	7,14	7,00	6,86	6,71	6,57
26	8,10	7,93	7,77	7,62	7,45	7,30	7,16	7,02	6,87	6,73	6,59	6,45
27	7,95	7,79	7,63	7,47	7,33	7,17	7,03	6,89	6,74	6,60	6,47	6,34
28	7,80	7,65	7,49	7,34	7,19	7,04	6,90	6,76	6,63	6,49	6,36	6,23
29	7,66	7,52	7,36	7,22	7,06	6,92	6,77	6,64	6,50	6,37	6,24	6,12
30	7,53	7,37	7,23	7,09	6,94	6,80	6,66	6,53	6,39	6,26	6,14	6,02
31	7,40	7,24	7,10	6,96	6,82	6,67	6,54	6,42	6,29	6,16	6,03	5,92
32	7,27	7,12	6,97	6,83	6,70	6,56	6,43	6,30	6,17	6,04	5,99	5,81
33	7,14	7,00	6,86	6,72	6,59	6,45	6,32	6,19	6,07	5,94	5,83	5,71
34	7,02	6,89	6,74	6,60	6,47	6,34	6,22	6,09	5,97	5,84	5,73	5,62
35	6,90	6,76	6,63	6,50	6,36	6,23	6,12	5,99	5,86	5,74	5,63	5,52
36	6,78	6,64	6,52	6,37	6,24	6,13	6,00	5,87	5,76	5,64	5,53	5,42
37	6,65	6,53	6,39	6,26	6,14	6,01	5,89	5,77	5,66	5,54	5,43	5,33
38	6,54	6,40	6,27	6,16	6,03	5,90	5,79	5,67	5,56	5,44	5,34	5,24
39	6,42	6,29	6,17	6,04	5,92	5,80	5,69	5,57	5,45	5,35	5,26	5,14
40	6,30	6,19	6,06	5,93	5,82	5,70	5,59	5,47	5,37	5,27	5,16	5,06

La mise en place de dispositif d'aération vise plusieurs objectifs (dont l'oxygénation) (Avnimelech, 2005) :

- augmenter la concentration d'oxygène dissous dans les bassins ;
- dispenser l'oxygène à la surface et dans la colonne d'eau ;
- remettre en suspension le sédiment ;
- contrôler la formation des accumulations de boue.

En fonction des circonstances, on peut ajouter d'autres effets (Chien, 1992) :

- diminuer la concentration en dioxyde de carbone CO<sub>2</sub>, en

- ammoniaque NH<sub>3</sub> et en nitrates NO<sub>3</sub> de la colonne d'eau ;
- déstratifier la colonne d'eau ;
- éliminer les composés dissous organiques par dispersion-écumage (*foam fractionation*) ;
- réguler la température de l'eau (les *paddle wheel* refroidissent par évaporation des embruns dans l'air plus froid) ;
- réduire le renouvellement.

## Situation des fermes calédoniennes

Toutes choses étant égales par ailleurs, à la salinité habituelle de 36 ‰, il y près de 30% d'oxygène dissous en moins dans l'eau des bassins à la température de 32 °C en pleine saison chaude qu'en saison fraîche à 18 °C. A 25 °C, il y aura près de 10 % d'oxygène dissous en moins dans un bassin présentant une salinité de 46 ‰ (période de sécheresse, phase de démarrage d'élevage) que dans un élevage à 30 ‰. En période de basses pressions cycloniques ( $\approx$  930 hPa), il y aura près de 10 % d'oxygène dissous en moins que lorsque prévalent les conditions anticycloniques ( $\approx$  1030 hPa) dans une eau aux caractéristiques identiques (30 °C et 35 ‰).

De sorte que l'aération ne peut être figée au cours de l'élevage.

Dans les bassins à fond naturel de tanne, la consommation en oxygène des crevettes ne représente que de 3 à 4 % (Fast *et al.*, 1988 ; Madenjian, 1990) voire 20 % (Boyd, 1998). L'essentiel de l'oxygène (80 à 95 %) est consommé par la respiration du phytoplancton et du zooplancton, du phyto et du zoobenthos et les bactéries de la colonne d'eau et du sédiment.

La gestion de la part de l'aération destinée à la crevette ne peut être dissociée de celles du phytoplancton et de l'alimentation pendant l'élevage ainsi de celle de l'état du sédiment à l'assèc et d'un cycle à l'autre.

L'aération doit être adaptée aux caractéristiques propres des bassins de la ferme.

Sur les 18 fermes calédoniennes en activité, 60 % disposent d'un équipement d'aération. Il faut distinguer deux types d'élevage semi-intensif intensifié *sensu* GFA (2004) :

- le système avec aération permanente : fermes (2/11) disposant de bassins de 3-5 ha, avec aération de 4-10 ch/ha et densités initiales de 30-40/m<sup>2</sup> ;
- le système avec aération d'urgence : fermes (9/11) disposant de bassins de 7-12 ha, avec aération 3-4 ch/ha et densités initiales 22-27/m<sup>2</sup>.

Afin de préserver la mangrove et d'optimiser les sites, le périmètre des bassins calédoniens épouse au maximum la forme très irrégulière des marais. Au-delà de l'aspect des inévitables angles morts, de tels tracés ne sont pas adaptés pour assurer une efficacité maximale des aérateurs. Les formes circulaire ou rectangulaire à coins arrondis sont préférables (Peterson *et al.*, 2001).

L'efficacité des dispositifs d'aération est dépendante de la superficie (Szypner, 1996). Les bassins de surface importante (3-5 voire 7-12 ha) sont rarement utilisés en mode intensif avec aération dans les principaux pays producteurs de crevettes (Hirono, 1992). Lorsque c'est le cas, ils sont équipés de murs répartiteurs (Clifford, 1992 ; Boyd, 1998) et/ou de déflecteurs (Peterson et Pearson, 2000) indispensables pour optimiser la répartition des courants d'eau.

Les études de faisabilité technico-économiques des fermes calédoniennes ne prennent pas en compte un dimensionnement rationnel de l'aération des projets (voir ci-dessous). Elles sont basées sur un dimensionnement moyen de 4-5 ch/ha.

## Modèles, dimensionnement et positionnement des aérateurs

Bien que l'oxygénation soit le principal effet recherché d'un aérateur, la circulation de l'eau induite est également bénéfique dans un bassin. Le dispositif d'aération

devra tendre à favoriser le déplacement des masses d'eau plus oxygénées à travers le bassin et diminuer les stratifications thermique et chimique du bassin.

Il existe de nombreux types (et marques) d'aérateurs utilisés en aquaculture dont l'efficacité a été évaluée par des études techniques (Ahmad et Boyd, 1988 ; Szyper, 1996) et économiques (Engle, 1989). Selon Boyd et Ahmad (1987) le type *paddle wheel* serait le plus efficace dans le transfert d'oxygène de l'air à l'eau et pour la circulation du bassin. Mais l'efficacité théorique du modèle original, notamment du *paddle wheel*, est souvent à relativiser en fonction des contrefaçons.

Les deux principaux modèles d'aérateurs utilisés en Nouvelle-Calédonie sont le *propeller-aspirator-pump* type Aire02® et les *paddle wheel* de différentes marques.

Le type Aire02® permet un transfert d'oxygène plus rapide en eau de mer, car il produit des bulles plus fines que le *paddle wheel* et est plus efficace pour homogénéiser verticalement et horizontalement l'eau du bassin. Le système de transmission mécanique est direct et plus fiable que la boîte à pignons du *paddle wheel*. Il est environ 2 fois plus cher et ne peut être utilisé dans des bassins peu profonds (à un angle de 25°, la profondeur minimale d'un modèle 3 ch est de 1,2 m, AireO2® compars.).

Le *paddle wheel* (modèle original) permet un brassage de l'eau à la fois vertical et horizontal. Il conduit à une surface oxygénée du bassin plus importante. Bien positionnés, ces dispositifs concentrent les accumulations en une seule zone du bassin. Ces modèles sont mieux adaptés aux bassins calédoniens de faibles profondeurs. Ils ont un effet régulateur de la température de l'eau du bassin. Pour les aquaculteurs expérimentés, l'odeur, la couleur et le type de bulles ainsi que la longueur du panache produit par les *paddle wheel* constituent des indicateurs de qualité d'eau. La nuit, le bruit que font les éclaboussures et le reflet de celles-ci à la lumière d'un projecteur constituent des signaux d'alertes utiles du bon fonctionnement de ceux-ci.

## Dimensionnement

En préambule, il faut noter qu'il existe une controverse parmi les éleveurs calédoniens sur le taux minimum d'oxygène dissous à maintenir dans un bassin. Bien que tous les aquaculteurs calédoniens (y compris les auteurs) aient réussi des élevages avec des taux d'oxygène de 1,5 mg/L, cela ne signifie pas que ce taux est une limite acceptable. Boyd (1990) considère que des taux de 2 mg/L ou moins conduisent à des stress ou à des mortalités. Hopkins *et al.*, (1991) considèrent comme acceptable la teneur minimale de 3 mg/L à l'aube. Avnimelech (2005) porte cette valeur à 4 mg/L.

Il faut insister sur l'existence des travaux de McGraw *et al.*, (2001) qui ont obtenu de meilleurs rendements grâce à de meilleurs taux de survie dans les élevages de *L. stylirostris* dans lesquels les niveaux d'oxygène les plus bas étaient relevés par la mise en route automatique de la puissance d'aération adéquate en comparaison avec des bassins gérés normalement. Il faut rappeler également l'étude de Allan *et al.*, (1990) qui a montré clairement que les taux d'oxygène dissous bas augmentent la toxicité de l'ammoniac sur les crevettes pénées.

En plaçant la crevette dans des conditions d'oxygénation non stressantes ( $>3-4$  g/L), on permet à l'animal d'épargner davantage d'énergie pour sa croissance (meilleure croissance et/ou conversion de l'aliment) ou pour mieux résister aux pathogènes ou passer la mue.

On peut dimensionner l'aération selon la biomasse. Par expérience Boyd (1998) considère que jusqu'à une charge de 200 g/m<sup>2</sup>, il est inutile d'aérer. Il recommande de prévoir 1 kW d'aération complémentaire pour chaque 1/2 tonne de crevettes. Autrement dit, 5 tonnes de crevettes dans un bassin d'un hectare nécessiteront une aération de 6 kW.

Le dispositif d'aération peut aussi être défini en fonction de la quantité d'aliment

distribué (Hopkins *et al.*, 1991). Ces auteurs ont montré que le rapport entre la quantité d'aliment distribué (moyenne sur 5 jours) et l'aération dans un bassin d'élevage de crevettes renouvelé à 15% du volume total/j est corrélé à la concentration de l'oxygène dissous (COD) mesurée à l'aube :

$$\text{Aliment/Puissance aérateurs} = 28,83 - (4,31 * \text{COD})$$

Cette équation simplifiée permet aisément de dimensionner la puissance d'aération à l'hectare d'un bassin (nombre de ch/ha) par rapport à la ration d'aliment (nombre de kg/ha/jour). Par exemple en considérant le seuil de 3,5 mg/L d'oxygène dissous, on obtient

$$\text{Puissance aérateurs} = \text{Quantité d'aliment}/13,75$$

Ainsi, le dimensionnement optimisé de l'aération d'urgence d'un bassin de 10 ha où l'on distribue 1 200 kg d'aliment par jour en pointe nécessiterait le fonctionnement de 44 *paddle wheels* de 2 ch pour maintenir une teneur en oxygène dissous de 3,5 mg/L avec un renouvellement de 15 %/jour.

## Positionnement dans le bassin

Si un effort de rationalisation du positionnement des aérateurs existe sur les fermes intensives sensu stricto, l'aménagement du dispositif sur les autres fermes aérées est très loin d'être optimisé.

Idéalement, le but du dispositif d'aération est d'amener de l'eau plus oxygénée sur toute l'étendue du fond des bassins. Compte tenu de la superficie de ceux-ci en Nouvelle-Calédonie (inférieure à la dizaine d'hectares), l'opération est difficilement rentabilisable. Par ailleurs, il faut savoir que l'oxygénation éventuelle ne concernerait que les premiers mm du sol et que la boue située en dessous est généralement anoxique et néfaste pour les crevettes (Horowitz et Horowitz, 2000b). Une des stratégies de positionnement de l'aération est donc de concentrer les accumulations sur une zone unique et de surface la plus faible possible dans le bassin (Avnimelech et Ritvo, 2001). Cela permet d'étendre les conditions favorables de l'espace-vie de la crevette sur une superficie plus grande dans le bassin (Delgado *et al.*, 2003). De plus cette manière de procéder rend l'élimination ou la réhabilitation d'une telle lentille plus aisée à l'assèc.

La distance minimale à respecter par rapport à la digue pour ancrer un *paddle wheel* de 2-3 ch et éviter l'érosion est d'environ 25 m (Pioneer® com. pers.). En outre, dans un angle mort, il est recommandé de placer l'aérateur à plus de 20 m du bord et d'orienter le courant induit vers le coin opposé (Peterson et Pearson, 2000).

Dans des bassins de surface réduite, Peterson et Pearson (2000) recommandent d'ajouter des modèles aireO2® dirigés vers la lentille d'accumulation à partir de 500 g/m<sup>2</sup> de charge dans l'élevage. Afin d'éviter le cratère produit par ces engins, les auteurs conseillent de confectionner une butée en cailloux. Le couplage de deux modèles d'aérateurs est recommandé par Avnimelech (2005) et Mc Intosh (2000).

Des simulations réalisées par Peterson *et al.*, (2001) sur un modèle de bassin rectangulaire indiquent qu'il est préférable de coupler les aérateurs en diagonale et non pas en parallèle (figures 12 et 13).

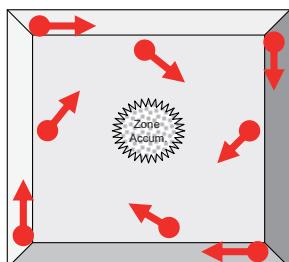


Figure 12 - Positionnement recommandé de 4 paddlewheel et de 4 aireO2® dans un bassin carré et la zone d'accumulation résultante (Peterson *et al.*, 2001)

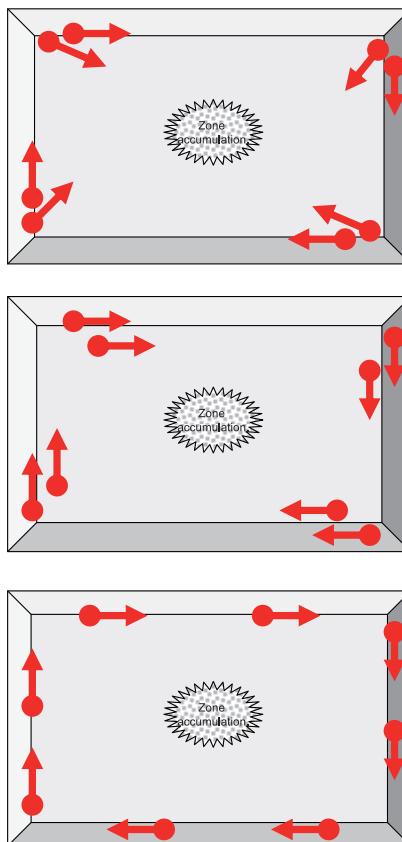


Figure 13 - Schéma d'aménagement d'aérateurs dans un bassin rectangulaire de faibles dimensions selon Peterson et Pearson (2000) (de haut en bas : du plus favorable au moins favorable).

Sur des unités de superficie importante et de formes irrégulières, il est préférable de répartir les aérateurs sur deux rangs et de les orienter légèrement vers l'intérieur afin d'éviter le cas n°3 (moins favorable). Chien (1992) invite à la prudence lors du déplacement des aérateurs en cours d'élevage car il pourrait modifier les processus de sédimentation et conduire à des relargages indésirables de substances toxiques pour le cheptel (figure 14).

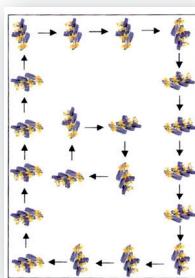


Figure 14 - Proposition d'aménagement de 20 unités sur un bassin de 10 ha en deux rangs (Pioneer® com.pers.).

### Epargne énergétique et de conversion alimentaire

Il a été montré par Peterson et Walker (2002) que la plupart des modèles de *paddle wheel* présentent le phénomène de *backsplashing* lorsqu'ils sont utilisés à plein régime ( $\approx 100\text{--}105 \text{ rpm}$ ). Ce phénomène est identifiable lorsque des embruns volent autour

de l'aérateur. Les gouttelettes ainsi produites sont aspirées par la prise d'air de la machine et conduisent à un court-circuit hydraulique. Ce phénomène limiterait la capacité de transfert de l'oxygène de l'air à l'eau et/ou augmenterait la consommation énergétique de l'appareil. Selon Peterson *et al.* (2003), il serait plus rentable :

- de faire fonctionner les *paddle wheel* à une vitesse moindre ( $\approx 75$  rpm vs. 105 rpm) ;
- d'adapter un réducteur de vitesse ;
- de modifier la boîte de transfert 14 : 1 à 18 : 1 ;
- de réduire le diamètre des roues à aubes de moitié (de 680 à 330 mm).

Il a été montré que la vitesse du courant influençait le taux de conversion de l'aliment chez plusieurs espèces de pénéides (Rod Mc Neil, Meridian technologies, com. pers., 2003). Le fonctionnement des aérateurs pendant le nourrissage est autorisé à condition que le courant créé ne dépasse pas les 4 m/s ce qui pourrait affecter la tenue à l'eau du granulé (Peterson et Pearson, 2000). A défaut d'avoir un courantomètre adéquat, la circulation de l'eau au fond peut être mesurée par la technique du taux de dissolution de blocs de gypse positionnés dans différents endroits du bassin (Howerton et Boyd, 1992).

### Points de vigilance

Les aquaculteurs prévoient laisser en permanence des aérateurs de secours sur les digues à des endroits stratégiques et les équipent de prises électriques ergonomiques. La plupart des problèmes de dysfonctionnement des équipements d'aérations qui entraînent des pertes importantes de plusieurs tonnes de crevettes par chute d'oxygène sont liés à des défauts d'installation électrique. Un soin très particulier doit être apporté à l'étanchéité par l'utilisation de câbles souterrains de puissance qualité « pétrochimiques multi conducteurs », de prises 3\*16 + T IP 68 étanches et de coffrets de commande force inox. On privilégiera le réseau type enterré sur digues et au fond des bassins, à l'aérien fragile en cas de cyclone et instable sur milieu vaseux.

## 3.5. Typologie des fermes existantes

On distingue les fermes familiales de 10 à 20 ha qui emploient une main d'œuvre familiale et nécessitent des frais d'investissements limités en intégrant fréquemment une pluri-activité sur le site ou la propriété. Les fermes intermédiaires couvrent jusqu'à 60 hectares. Les investissements sont plus importants et leur statut juridique est souvent de type S.A.R.L, avec un chef d'exploitation biologiste, différent de l'actionnaire principal. Les grandes fermes, de 80 à 130 ha, sont des sociétés anonymes S.A. intégrant une écloserie qui leur assure une fourniture à la demande de post-larves, voire un atelier de conditionnement (figure 15).

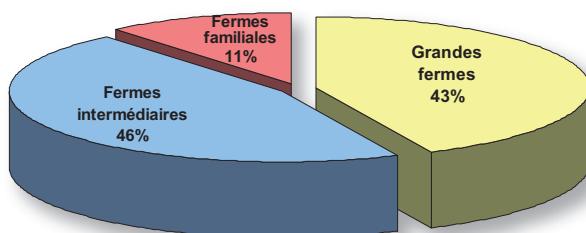


Figure 15 - Typologie des exploitations et part dans la production (Fontfreyde *et al.*, 2003).

La filière aquacole calédonienne a fait le choix technique d'unités de petite taille bien

intégrées à l'environnement naturel et social de la Nouvelle-Calédonie. Avec 704 ha pour 18 fermes en 2007, la taille moyenne d'une ferme est de 39 ha en Calédonie (Tableau 8). A titre de comparaison, une ferme malgache s'étend sur 500 ha (Andrier, 2004). Ce morcellement en petites exploitations a typiquement un effet sur les coûts de production.

Tableau 8 – Caractéristiques des fermes calédoniennes en 2007. Deux fermes n'ont pas été actives en 2007.

Ferme	Surface Totale (ha)	Nb bassins	Aire bassin (ha)	Type
AQUAMER	40,4	11	3,7	Aéré
B.L.F	75,8	21	3,6	Aéré
LA PENEIDE	30,1	9	3,3	Aéré
STYLIBLEUE	15,5	2	7,8	Aéré
APRIL	21,3	2	10,6	Non aéré + sec.
FAMB	18,4	2	9,2	Non aéré + sec.
FAO	18,0	2	9,0	Non aéré + sec.
WEBUIHOONE *	55,1	7	7,9	Non aéré + sec.
AIGUE MARINE	30,0	3	10,0	Non aéré
AQUAMON	42,4	5	8,5	Non aéré
AQUAWA	46,3	4	11,6	Non aéré
GWENGUY	8,4	1	8,4	Non aéré
KAPUIDEA	50,8	5	10,2	Non aéré
NESSA	56,6	5	11,3	Non aéré
PTE MONOT	15,8	2	7,9	Non aéré
SEA FARM	36,1	5	7,2	Non aéré
SODACAL	132,7	14	9,5	Non aéré
TOURNIER	10,8	1	10,8	Non aéré
POTENTIEL	704,4			
EN ACTIVITE	634,0			

## 3.6. Coûts d'une ferme calédonienne

### 3.6.1. Investissements

Les coûts d'investissements d'une ferme semi-intensive non aérée sont de l'ordre de 6 à 8 millions F CFP/ha (Données GFA, 2004). Le détail des investissements d'une ferme non aérée de 50 ha montre l'importance ( $\approx 70\%$  du montant global de la ferme) des postes terrassements et ouvrages hydrauliques (Tableau 9).

Tableau 9 - Détail des investissements d'une ferme non aérée de 50 ha par poste et importance pour les 5 postes les plus coûteux.

Désignation	Coût total (%)	Importance des postes
étude faisabilité	1,3	
ouvrages hydrauliques	15,2	2
terrassements	52,7	1
electrification + pompes	11,9	3
embarcations bassins	0,4	
propulseurs	0,4	
silos aliments	0,0	
paniers de pêches	0,0	
cuvé à eau+bac de traitement	0,1	
matériel de mesure	0,2	
grillage plastique	0,2	
matériel informatique	0,1	
pompes à crevettes	0,8	
machine à glace	1,4	
table tri	0,1	
filtres bassins	0,1	
cadres+planches	0,2	
réseau adduction eau	1,4	
tracteur 25cv + cultv. + remorque	0,7	
véhicule ferme (Quad)	0,3	
véhicule ferme + liaison	0,7	
bâtiments + abri groupes	6,4	4
maîtrise œuvre	2,9	5
containers aliments	0,2	
mangeoires	0,0	
douanes+transport	0,3	
impévis	1,9	
<b>Total</b>	<b>100,0</b>	

Le GFA (2004) indique que le surcoût d'investissement pour une ferme disposant d'aération représente de 0,5 à 1,5 million F CFP/ha selon le niveau d'aération (d'urgence ou vraie). L'étude de prix présentée dans le [tableau 10](#) et établie pour l'aération, selon les normes définies plus haut (surcoût 2,25 millions F CFP/ha) de deux bassins de 10 ha, confirme que les installations des fermes aérées en place ne sont pas optimales.

Tableau 10 – Etude de prix (2004) pour équiper deux bassins de 10 ha d'un système d'aération aux normes.

Désignation	Quantité	Prix total
<b>Électrification</b>		
groupes électrogènes 135 KVA	2	4 630 000
câble de liaison GE/TGBT	1	195 000
TGBT	1	665 000
câbles de puissance souterrain	1	3 350 000
câbles coffret/prises	1	9 050 000
prises étanches 3*16+T IP68	54	520 000
fouilles par tarrière	18	400 000
transport et levage poteaux	1	175 000
poteaux bois	18	410 000
coffrets commande force aérateurs	6	2 950 000
câbles pour aérateurs	1	1 620 000
tranchées sur digues	1	5 250 000
tranchées sur bassins	1	10 800 000
études et plans	1	590 000
essais et mises en service	1	1 750 000
<b>Sous total</b>		<b>42 355 000</b>
<b>Aérateurs</b>		
paddle wheels 2 ch	58	
pièces de secours	4	
<b>Sous total</b>		<b>2 770 000</b>
<b>Appareils mesures</b>		
megohmmètre isolement	1	
multimètre numérique	1	
pince ampèremétrique	1	
<b>Sous total</b>		<b>90 000</b>
<b>Grand total</b>		<b>45 215 000</b>

### 3.6.2. Coûts d'exploitation

Les principaux résultats présentés ci-dessous ont été repris partiellement d'une étude réalisée par le GFA (2004) sur la base des campagnes de pêches 2000/2001 ; 2001/2002 ; 2002/2003.

#### Hypothèses zootechniques

Elles sont basées sur la typologie des deux systèmes suivants : ferme aérée vraie possédant une capacité d'aération de 5-10 ch d'aération et ferme non aérée ([Tableau 11](#)).

Tableau 11 - Performances zootechniques des deux systèmes d'élevage.

Rdt moyen		Survie moyenne	Rdt biologique (Index GFA)	Taux de bas de gamme
bassins aérés	5,1 t/ha/an	55%	15,4 kg pêchés / million de PL	20%
bassins non aérés	2,9 t/ha/an	59%	15,6 kg pêchés / million de PL	12%

### Coûts de production opératoires

#### Les charges opératoires considérées comme variables

Les charges variables d'un élevage comprennent les coûts de l'aliment (y compris le transport sur site), des post-larves et des pêches (personnel occasionnel, glace,

transport par camion frigorifique, métabisulfite, etc.) (Tableau 12).

Tableau 12 - Comparaison des charges variables (en kF CFP/ha) des deux systèmes d'élevage calédoniens.

	Aliment	Post-larves	Pêches	Total
bassins aérés	1 267	444	234	1 946
bassins non aérés	670	247	141	1 058

Ces postes sont plus importants pour les bassins aérés du fait des densités plus élevées (impact sur le nombre de post-larves à l'ha et sur l'alimentation en cours d'élevage) et les rendements plus importants (plus de crevettes à pêcher par ha de bassin).

### **Les charges opératoires considérées comme fixes**

Les charges fixes regroupent les coûts de personnel, d'énergie, de maintenance et les frais divers (Tableau 13).

Tableau 13 - Comparaison des charges fixes (en kF CFP/ha) des deux systèmes d'élevage calédoniens.

	Personnel	Energie	Maintenance	Autre	Total
bassins aérés	913	246	217	267	1 642
bassins non aérés	526	143	140	170	979

Les fermes avec aération emploient des techniciens plus qualifiés en raison de la technicité plus grande que requiert le suivi de bassins intensifiés et affectent du personnel supplémentaire (0,31/ha) au gardiennage de nuit pour la surveillance des aérateurs et à l'entretien du dispositif d'aération en comparaison des fermes non aérées (0,21 ha).

Les fermes aérées sont plus consommatrices d'énergie en raison des dispositifs complémentaires (aérateurs) et des besoins en eau plus importants.

Le système avec aération nécessite également une maintenance particulière du réseau d'électrification, des aérateurs et du matériel d'exploitation en général (nombre de bassins plus important).

Il en résulte que les coûts de production opératoires sont plus élevés de près de 40 % pour les fermes disposant d'aération (Tableau 14). Les charges variables représentent 57 % du surcoût en raison de la densité et des rations d'aliment plus fortes à l'ha.

Tableau 14 - Comparaison des coûts de production opératoires (en kF CFP/ha) des deux systèmes d'élevage calédoniens.

	Variables	Fixes	Total
bassins aérés	1 946	1 642	3 588
bassins non aérés	1 058	979	2 037

### **3.6.3. Comptes d'exploitations**

#### **Résultat brut d'exploitation**

Il a été choisi de comparer les deux systèmes, aéré (25-35/m<sup>2</sup>; 5-10 ch/ha) et non aéré (18-22/m<sup>2</sup>), en prenant l'exemple de deux fermes fictives récoltant un tonnage identique de 150 tonnes/an, production moyenne représentative d'une ferme calédonienne.

La comparaison économique par le résultat brut d'exploitation (Tableau 15) ne tient pas compte des variables financières (amortissements et charges d'exploitation) liées au mode de financement des fermes (fonds propres, subventions, double défiscalisation). Elle a été réalisée d'après les données moyennes calculées sur les campagnes 2001, 2002 et 2003 avec notamment le prix moyen d'achat par un des deux ateliers de conditionnement (SOPAC) des crevettes produites par les deux systèmes.

Sur cet exemple, le système non aéré permet de dégager un résultat brut d'exploitation plus important (28,94 vs. 23,97 millions F CFP) essentiellement en raison d'une meilleure qualité des crevettes pêchées (prix achat SOPAC 895 F CFP/kg vs. 863 F CFP/kg).

A qualité de produit égale, les deux systèmes auraient présenté un résultat brut d'exploitation identique (28,77 vs. 28,94 millions F CFP).

Tableau 15 - Comparaison économique de deux fermes fictives appartenant aux deux systèmes aéré (25-35 /m<sup>2</sup>; 5-10 ch/ha) et non aéré (18-22/m<sup>2</sup>) produisant le même tonnage annuel de 150 t/an (selon les standards de l'observatoire économique de la filière d'après les données 2001-2003).

	Ferme aérée (rendement 5,1 t/ha/an)			Ferme non aérée (rendement 2,9 t/ha/an)		
	Millions F CFP	F CFP/kg	%	Millions F CFP	F CFP/kg	%
chiffre d'affaires brut	129,45	863		134,25	895	
total brut	129,45			134,25		
coûts des post larves	13,05	86	12	12,77	86	12
coût aliment	37,25	246	35	34,64	232	33
coût de pêche	6,88	46	7	7,29	49	7
coûts variables opératoires	57,18	378	54	54,7	367	52
coût personnel	26,84	177	25	27,19	182	26
coût énergie	7,23	48	7	7,39	50	7
coût maintenance	6,38	42	6	7,24	49	7
autres	7,85	52	7	8,79	59	8
coûts fixes opératoires	48,3	319	46	50,61	340	48
coût des charges opératoires	105,48	697		105,31	707	
résultat brut d'exploitation	23,97	166		28,94	188	

## Importance vitale des aides publiques

Le tableau des dotations estimées aux amortissements (Tableau 16, données GFA, 2004) propres aux deux systèmes, met en lumière l'importance primordiale des aides publiques à fournir pour équilibrer les comptes des projets aquacoles calédoniens.

Tableau 16 - Marge nette (sans charges financières) de deux fermes fictives appartenant aux deux systèmes aéré (25-35/m<sup>2</sup>; 5-10 ch/ha) et non aéré (18-22/m<sup>2</sup>) produisant le même tonnage annuel de 150 t/an (données GFA, 2004).

	Ferme aérée 29,4 ha	Ferme non aérée 51,7 ha
coût de l'investissement	279,30 millions F CFP	413,60 millions F CFP
charges opératoires	105,49 millions F CFP	105,31 millions F CFP
dotation aux amortissements	27,25 millions F CFP	38,46 millions F CFP
coût de production (sans charges financières)	132,71 millions F CFP	143,78 millions F CFP
chiffre d'affaire moyen	129,45 millions F CFP	134,25 millions F CFP
résultat (sans charges financières et sans correction des amortissements)	- 3,26 millions F CFP	- 9,53 millions F CFP

## Comparaison des coûts d'investissements et de production en zone tropicale

Les postes de dépenses les plus importants se répartissent de façon similaire en zone tropicale et en Nouvelle-Calédonie (Tableau 17, Anonyme, 2003).

Tableau 17 - Répartition moyenne des coûts par poste de dépense dans une ferme de crevette en zone tropicale.

Cout de production en zone tropicale	Répartition (%)
aliment	39
personnel	20
énergie	17
coût des post-larves	12
fonctionnement	7
produits chimiques	5

Cependant les prix de l'aliment, de 70 à 110 F CFP/kg (suivant le provendier et la teneur en protéines), et le coût de la post-larve, de 1,1 à 1,3 F CFP l'unité, sont légèrement inférieurs à ceux pratiqués en Calédonie (Anonyme, 2003), respectivement (110 F CFP/kg et 1,4-1,5 F CFP l'unité).

Le poste personnel est également moindre en raison d'un smic mensuel bien plus faible (12 000 F CFP/mois au Vanuatu, 3 600 F CFP à Madagascar vs. 100 000 F CFP en Calédonie).

En comparaison avec le contexte général en zone tropicale (Anonyme, 2003), la rentabilité des fermes calédoniennes est fortement pénalisée par des dotations aux amortissements trop élevées, en relation directe avec les coûts d'investissements très importants. En effet, Anonyme (2003) rapporte des coûts moyens de 4,2 (non aérée) et 4,8 (aérée) millions F CFP/ha en milieu tropical pour une ferme de 50 ha alors qu'ils sont de 8 (non aérée) et de 9,5 (aérée 5-10 ch/ha) millions F CFP/ha en Nouvelle-Calédonie (données GFA, 2004).

Les spécificités et le contexte socio-économique de l'aquaculture calédonienne induisent des coûts plus élevés que dans les autres pays producteurs. Cependant, elle joue un rôle primordial pour le développement socio-économique de l'intérieur du pays où l'élevage bovin extensif et les mines ne suffisent pas à créer le plein emploi. La sphère crevette mobilise environ 900 personnes, 300 permanents et 600 occasionnels pour environ 350 équivalents temps plein dont plus de la moitié en brousse.

De sorte que les projets locaux ont besoin d'être aidés, a fortiori dans un contexte de concurrence internationale féroce avec l'émergence des pays producteurs tels que la Chine et le Brésil. Les aides arrivaient par le passé sous formes de subventions publiques de l'ordre de 35-40 % du montant des investissements primables. Plus récemment des aides fiscales sollicitées dans le cadre de la loi de Pays et de la loi Girardin peuvent, suivant les cas, représenter un avantage brut égal à 75 % de la base éligible de l'opération.



## Chapitre 2

# Les principaux facteurs à prendre en compte pendant l'élevage

# 1. Introduction

Le fonctionnement écologique d'un bassin de terre de plusieurs hectares dans lequel on fait de l'élevage semi-intensif dans les conditions de Nouvelle-Calédonie s'apparente plus à celui d'un écosystème naturel, de type lagune eutrophisée peu profonde semi-fermée, que celui d'un élevage super-intensif de crevettes sur liner de quelques centaines de m<sup>2</sup> tel que celui de Belize décrit par Boyd et Clay (2002).

Dans le cas d'un bassin super-intensif, la gestion est simplifiée car l'éleveur se donne les moyens de maîtriser son milieu d'élevage. L'eau d'entrée est filtrée sur maille fine et la salinité est ajustée à l'optimum pour la crevette en pompant de l'eau douce à bon escient. La température est naturellement élevée et peu variable au Bélice. Le pH de l'eau est maintenu dans une gamme optimale par ajout de dolomie tout au long de l'élevage. Les différents compartiments de la production naturelle sont régulés. Le phytoplancton est délibérément écarté au profit de la mise en place d'un milieu bactérien. Celui-ci est contrôlé et nourri par un aliment spécifique représentant un tiers de la ration de granulé crevette. Le zooplancton est pratiquement éliminé par filtration initiale à 160 µm. La méiofaune est privilégiée en utilisant des structures verticales, type géotextile Aquamats™, qui augmentent considérablement la surface de colonisation disponible (soit l'équivalent du double de la surface du fond). Pratiquement aucun renouvellement d'eau n'est appliqué (2 m<sup>3</sup>/kg de crevettes). L'oxygène dissous est maintenu au-dessus de 4 voire 5 mg/L grâce à une capacité d'aération (60 ch/ha) fonctionnant 24h/24h. Les accumulations produites en cours d'élevage sont éliminées au fur et à mesure par un appareillage adapté qui les concentre et les aspire. Le floc bactérien en place contrôle naturellement les teneurs des métabolites toxiques que sont l'ammoniac NH<sub>3</sub>, les nitrites NO<sub>2</sub> et les sulfures H<sub>2</sub>S. Entre deux productions, les compteurs sont remis à zéro car le liner est nettoyé par des jets à haute pression, chloré, déchloré et séché. Pendant la mise en eau, la production naturelle est de nouveau très précisément orientée vers le compartiment bactérien à l'aide d'une fertilisation spécifique organique, minérale et l'ajout d'oligoéléments. Par ailleurs l'alcalinité est remontée au niveau adéquat par un amendement calcaire. Cet agrosystème bien maîtrisé produit 2,5 récoltes par an avec un rendement de 28 t/ha/an (Mac Intosh *et al.*, 1999).

Le système d'élevage développé dans les bassins de Nouvelle-Calédonie est beaucoup plus complexe à mettre en oeuvre. L'éleveur subit les aléas climatiques et pèse peu sur les paramètres environnementaux dont les instabilités, parfois cumulées, vont interférer avec la santé-nutrition de la crevette. Il est donc très important qu'il suive de près et même qu'il anticipe les fluctuations d'un certain nombre de variables. On peut les classer en :

- indispensables et/ou importantes qui ne nécessitent pas d'appareillages trop sophistiqués et dont l'interprétation peut conduire à des interventions zootechniques en retour. Boyd (1992b) recommande de mesurer la température, la salinité, l'oxygène dissous, le pH, les abondances du phyto- et zooplancton, la profondeur de disparition du disque de Secchi, les concentrations en ammoniac, en nitrites et les sulfures. Villalon (1991) insiste sur un suivi de l'état physiologique du cheptel (mue, *black spots*, etc.) ;
- mesures informatives complémentaires. Clifford (1994) suggère de prendre en compte l'alcalinité totale, les teneurs en phosphates, nitrates, silicates et chlorophylle, matières en suspension et potentiel Redox de l'eau.

Cet écosystème difficilement contrôlé produit 1,5 récoltes par an avec un rendement de 2,9 (non aéré) à 5,1 (aéré) t/ha/an (Observatoire aquacole, 2004).

## 2. Variables indispensables à mesurer en routine

### 2.1. La température

Les bassins de terre ne possèdent pas la même inertie thermique que le lagon où la couche d'eau est plus profonde et est en relation avec l'océan. Ils subissent des variations saisonnières et journalières très importantes qui auront des effets sur la santé des crevettes qui sont des animaux poikilothermes (à sang froid) et perturbent l'équilibre fragile de l'écosystème bassin.

Les paramètres tels que la profondeur du bassin, l'exposition au vent, la nature et la couleur du sédiment, les caractéristiques du canal d'aménée, l'effet serre produit par le phytoplancton, la stratification vont influer fortement sur les conditions thermiques de l'espace vie de la crevette (interface eau-sédiment).

#### 2.1.1. Effets des températures sur la survie

Comparée aux autres crevettes pénéides produites en aquaculture, l'espèce *L. stylostriatus* est relativement résistante aux basses températures.

#### Aire d'origine

Clifford (1997) rapporte que dans les bassins d'élevage d'Amérique centrale, des conditions thermiques de 12-15 °C ne conduisent pas à des mortalités notables de *L. stylostriatus*. Selon le même auteur, les post-larves seraient plus sensibles que les juvéniles et que les adultes aux basses températures : 17-18 °C constituerait la limite basse pour les ensements de post-larves. La survie de *L. stylostriatus* en bassin n'est pas affectée par des températures aussi élevées que 35-36 °C (Clifford, 1997). Le même auteur étend la limite létale de cette espèce au-delà de 40 °C.

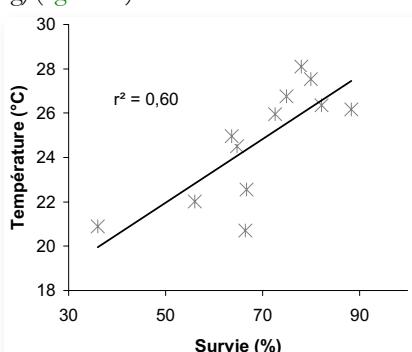
#### Contexte de la Nouvelle-Calédonie

Afin de préciser l'importance de la température sur la survie, une analyse historique des résultats de deux filières originales développées il y a quelques années par une grande ferme industrielle locale a été entreprise. L'intérêt du choix de ces données réside dans le fait qu'à cette époque les élevages étaient encore lancés à toutes les saisons, permettant d'avoir un panel de conditions de températures très contrastées alors qu'aujourd'hui, les aquaculteurs privilient les ensements de saison chaude :

- La filière pré-géniteurs se déroulait dans des bassins de 3 000 m<sup>2</sup> sur environ 4,5 mois (poids moyen final  $\pm$  30 g) à très faible densité 1-2 Pl/m<sup>2</sup> ([figure 16](#)).
- La filière pré-grossissement était conduite sur des surfaces de 10 000 m<sup>2</sup> à très haute densité (140 à 240 Pl/m<sup>2</sup>) pendant 2,5 mois (poids moyen final d'environ 2 g) ([figure 17](#)).
- 

[Figure 16](#) - Effet de la température matinale des trente premiers jours d'élevage sur la survie finale des élevages extensifs de *L. stylostriatus*.

(Sources : 46 élevages sur 3 000 m<sup>2</sup> à la densité de 2,1/m<sup>2</sup> ( $\pm$  0,7/m<sup>2</sup>), d'une durée moyenne de 137 jours ( $\pm$  22 jours) de mai 1988 à novembre 1994. Données agrégées par mois d'ensemencement).



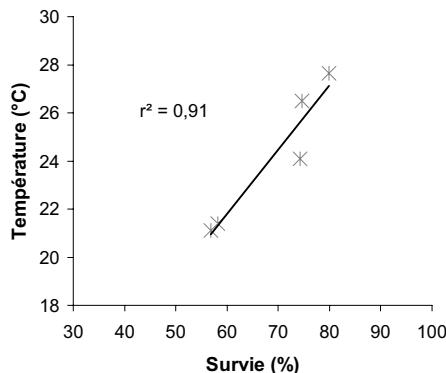


Figure 17 - Effet de la température matinale des trente premiers jours d'élevage sur la survie finale des élevages hyper intensifs de *L. stylostriatus*.

(Sources : 27 élevages consécutifs sur 10 000 m<sup>2</sup> à la densité de 185/m<sup>2</sup> ( $\pm$  24/m<sup>2</sup>), d'une durée moyenne de 81 jours ( $\pm$  13 jours) de juillet 1993 à février 1994. Données agrégées par production d'éclosseries).

Dans les bassins extensifs, les forçages zootechniques sont négligeables et ne peuvent conduire à des conditions environnementales délétères susceptibles

d'affecter la santé des crevettes même si la durée d'élevage est conséquente. De façon similaire dans les bassins hyper intensifs, la courte durée d'élevage (81 jours) et la biomasse finale peu importante (200-250 g/m<sup>2</sup>) induite par la croissance ralentie par l'effet densité, garantissent un milieu relativement favorable au cheptel. De sorte que la température constitue le facteur de risque principal de mortalité dans ces systèmes d'élevage particuliers. On peut ainsi clairement montrer que la survie finale est corrélée à la température enregistrée au cours du premier mois d'élevage.

## 2.1.2. Effets des températures sur la croissance

La gamme idéale de températures pour l'obtention de croissances optimales pour l'espèce *L. stylostriatus* se situe entre 24 et 30 °C. Entre 20 et 24 °C la vitesse de croissance diminue de 25 à 50 % et entre 18 et 20 °C de 50 à 75 % (Clifford, 1997). Les observations de terrain indiquent également un ralentissement de croissance lié à une baisse de la consommation d'aliment chez *L. stylostriatus* dès lors que les températures matinales dépassent 31-32 °C (figure 18).

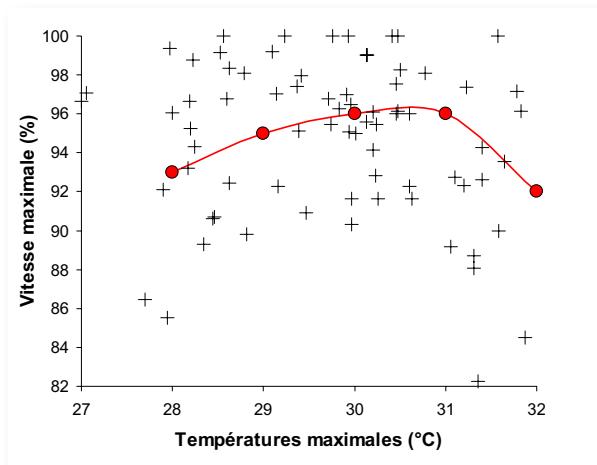


Figure 18 - Influence des fortes températures mesurées l'après-midi sur le ralentissement de la croissance exprimée par le % de la vitesse maximale observée sur la période 10-25 g (+ donnée individuelle ; ● moyenne par classe de température).

(Sources : 7 élevages à 20/m<sup>2</sup> ensemencés le même mois de saison chaude de deux fermes familiales, période : 1997 à 2002).

### 2.1.3. Effets des fortes variations thermiques sur la physiologie de *L. stylirostris* : mortalités à vibrioses

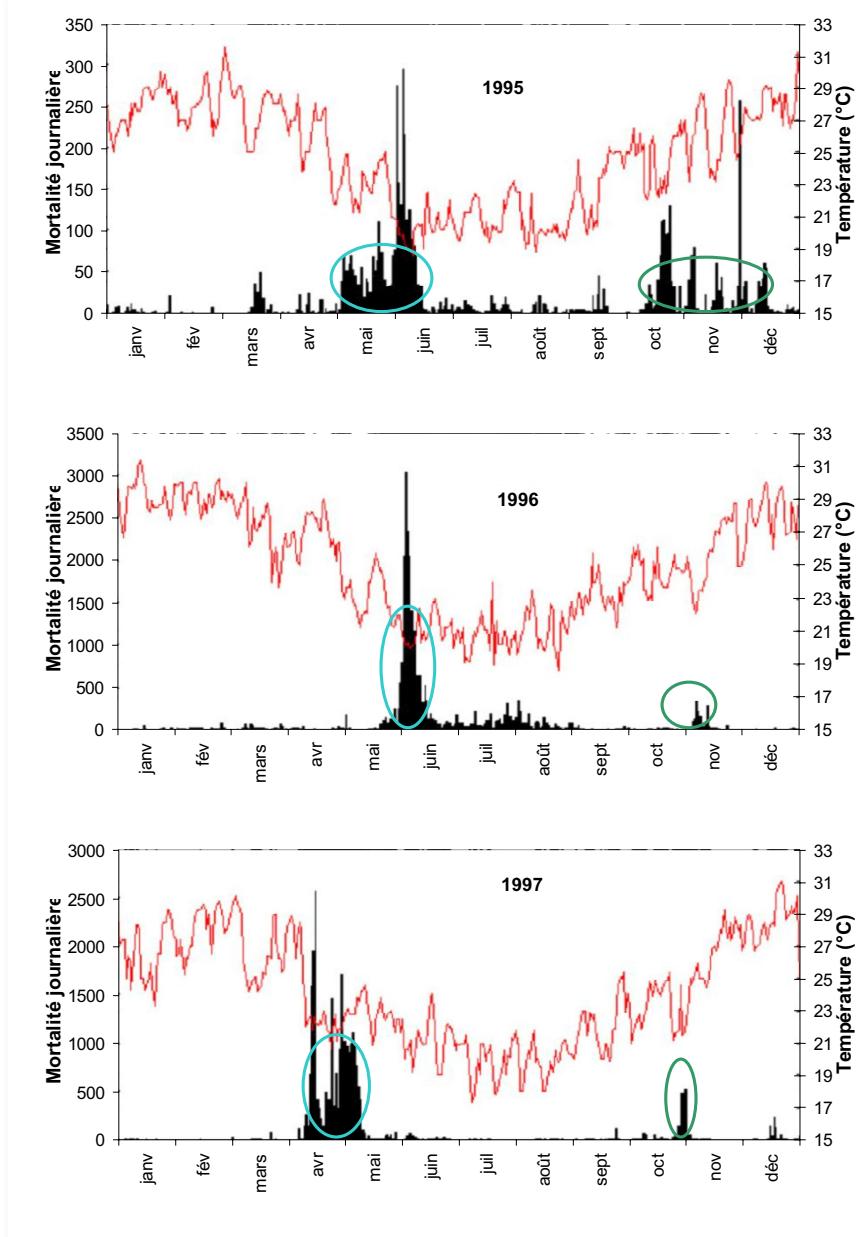


Figure 19 - Histogramme de mortalités saisonnières (cumuls des dénombrements journaliers des mortes observées sur les digues de 5 fermes) en relation avec les températures moyennes.

L'intensité des mortalités est variable suivant les saisons de l'année : extrêmement forte pendant la première saison de transition (automne, soit la période condensée sur un mois, de mi-avril à mi-mai), conséquente sur la seconde (printemps, soit la période resserrée sur deux mois de mi-septembre à mi-novembre), faible en saison fraîche (soit la période étendue de quatre mois mi-mai à mi-septembre) et quasi-inexistante en saison chaude (soit la période très étalée de cinq mois, de mi-

novembre à mi-avril).

On constate que les périodes de mortalités associées à des vibrioses coïncident avec les fortes variations thermiques enregistrées aux deux saisons compressées intermédiaires (O,O) (figure 19).

Il a été démontré par Wabete *et al.*, (2008) que des fluctuations thermiques répétées en Limite Inférieure de Préférendum Thermique (LIPT, en dessous de ~ 23 °C) déclenchent une succession de dérèglements et d'ajustements physiologiques dont la durée est thermo-dépendante. Ces stress thermiques induisent une baisse de la capacité osmorégulatrice qui a plusieurs répercussions sur la physiologie respiratoire de l'animal (fragilisation par hyperventilation compensatrice).

D'autres troubles physiologiques sont occasionnés par la baisse de température. La diminution de la consommation conduit à un épuisement des réserves et à des carences nutritionnelles en acides gras polyinsaturés, carences qui ont pour conséquences la baisse du seuil de tolérance au stress thermique et la réduction des défenses anti-radicalaires. L'animal en mue récupère difficilement des perturbations physiologiques consécutives à un stress et ce d'autant plus que la température est basse.

Goarant *et al.* (2006) ont montré que la virulence de *Vibrio penaeicida* impliqué dans le syndrome d'hiver s'exprime davantage à une température basse (~ 22 °C) qu'à élevée (~ 30 °C) ; le déséquilibre entre l'hôte et son pathogène s'en trouve donc accentué. Les fortes températures (26,5 - 28 °C) favorisent le développement et la virulence de *Vibrio nigripulchritudo* associé aux mortalités enregistrées notamment au printemps (syndrome d'été) (Anonyme, 2006c). Les températures élevées ont également un rôle dans l'accélération de tous les processus écologiques du bassin (production primaire, activités bactériennes aérobie et anaérobiose) et métaboliques de la crevette (alimentation, respiration, excréption). Les flux de gaz (O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub>), de sels nutritifs (ammonium, phosphates) et d'éventuels produits nocifs (sulfures) issus du fond de bassin vont être amplifiés si celui-ci est trop chargé en matières organiques.

## 2.1.4. Mesure concrète de la température

Du fait des caractéristiques propres de chaque bassin (exposition au vent, renouvellement, *etc.*), il est recommandé de mesurer la température en sortie de chaque bassin et non pas uniquement dans le canal d'amenée d'eau. En routine, il faut prendre la température une dizaine de centimètres sous la surface devant un des moines de sortie présentant un bon débit. Quelques mesures de température réalisées sur le fond, au milieu du bassin, permettent de confirmer ou d'infirmer une stratification du bassin (forte pluie).

La plupart des aquaculteurs utilisent la fonction température de leur oxymètre pour mesurer ce paramètre. Il convient toutefois de vérifier fréquemment sa justesse à l'aide de la mesure comparée d'un thermomètre classique à mercure ou à alcool.

Un thermomètre flottant, opérant sous les 5 premiers centimètres de la surface, fixé près du moine de sortie est également une méthode à poste fixe permettant d'éviter de casser trop souvent ces outils très fragiles en les transportant souvent sans ménagement.

On a pu noter une différence de deux degrés (22 °C vs. 24 °C) entre deux bassins de profondeurs respectives 80 cm et 120 cm en milieu très venté (Villalon, 1991). De sorte qu'en hiver, il est fortement recommandé de maintenir les bassins au maximum de leur hauteur d'eau.

## 2.2. La salinité

La gamme de salinité pour l'élevage de *L. stylirostris* se situe entre 15 et 45 ‰ selon Clifford (1997).

## Effets des basses salinités

Les juvéniles sont plus sensibles aux basses salinités que les adultes. Ils ne peuvent supporter des salinités voisines de 0 ‰ que pendant des durées assez courtes. Les élevages dans lesquels la salinité demeure en dessous des 5 - 7 ‰ sur une longue période conduisent à de mauvaises survies (Clifford, 1997).

En Nouvelle-Calédonie, la plupart des stations de pompage existantes sont approvisionnées par l'eau du lagon ouvert sur l'eau du large (35 - 36 ‰) par de nombreuses passes. Les problèmes liés aux basses salinités n'interviennent que pendant les périodes cycloniques.

En cas de pluies diluviales, la salinité de surface descend souvent et rapidement en dessous de 10‰ mais celle du fond, où vit la crevette, baisse plus lentement.

Il est recommandé d'empêcher que s'établisse une lentille d'eau dessalée de surface dans le bassin. Elle conduit à deux effets préjudiciables pour la santé du cheptel :

- Un effet loupe qui réchauffe le fond du bassin avec parfois des températures voisines de 40 °C ;
- Un effet couche qui isole le fond de la surface, entraînant une diminution de l'oxygène dissous et une augmentation de la toxicité des métabolites issus des processus de dégradation de la matière organique sédimentaire.

La mise en marche des aérateurs permet de déstratifier et/ou d'évacuer de l'eau de surface en disposant de manière adéquate les batardeaux des moines de sortie.

## Effets des fortes salinités

La survie de *L. stylimnaris* en élevage n'est pas affectée par des conditions durables de salinités supérieures à 40 ‰ ni lors de pics de 50-55 ‰ y compris les juvéniles. Cependant, le maintien des post-larves à des salinités de plus de 55 ‰ durant une longue période provoque de fortes mortalités. Par ailleurs des conditions hypersalines soutenues dans les bassins conduisent à un ralentissement de la croissance du cheptel (Clifford, 1997).

Sur la période qui s'étend de la fin du remplissage initial du bassin à une grande partie de la phase 0 à un gramme (plus d'un mois), le renouvellement est suspendu ou limité (compensation des percolations et autres fuites). De sorte que lorsque l'évaporation est intense comme en saison sèche (fin novembre), les salinités peuvent dépasser les 50 ‰ dans les bassins.

## Interaction fortes salinités et basses températures

Il existe en Nouvelle-Calédonie des cycles interannuels de salinités élevées associés au phénomène El Niño qui sont souvent associés à des températures plus basses de l'eau de mer. La conjonction de ces deux phénomènes exacerbés peut contribuer à diminuer les performances d'élevages de *L. stylimnaris* (Della Patrona, 2005) ([figure 20](#)).

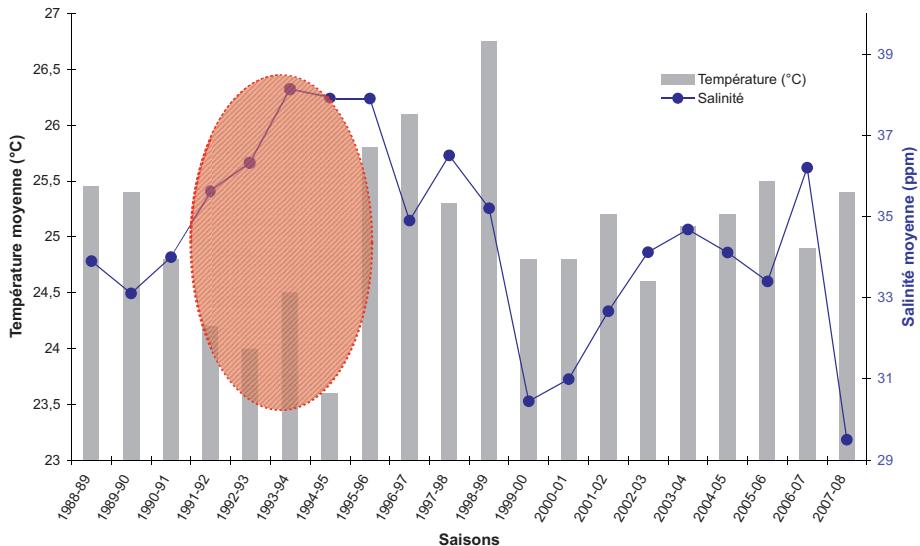


Figure 20 - Evolution des moyennes annuelles de température et de salinité enregistrées dans les bassins d'une ferme industrielle de 130 ha (en hachuré la période critique cumulant les plus fortes salinités et plus basses températures moyennes).

## Influence de la salinité sur la physiologie de la crevette : osmorégulation

L'osmorégulation qui correspond à la régulation de la concentration en sels dissous dans les fluides internes d'un être vivant (pression osmotique) exige une dépense d'énergie importante de la part de la crevette. Schématiquement, plus la salinité de l'eau d'élevage se rapproche de celle du milieu intérieur (point iso-osmotique) et se maintient à ce niveau, moins la crevette aura à fournir d'énergie pour maintenir son équilibre ionique. Dans ces conditions, l'épargne énergétique faite sur l'osmorégulation pourra profiter à la croissance. Selon les auteurs, chez *L. stylirostris*, le point iso-osmotique se situe à 26,2 % (Lemaire *et al.*, 2002), 24 % (Castille et Lawrence, 1981) ou 20-24 % (Rodriguez, 1981).

## Mesures de la salinité

La plupart des aquaculteurs néo-calédoniens utilisent un réfractomètre qu'il faut étalonner avec de l'eau douce à la température de l'eau du bassin de salinité inconnue. Il est recommandé de rincer la fenêtre de lecture sous l'eau du robinet après utilisation. Dès lors que celle-ci devient opaque ou est fêlée, les mesures ne sont plus fiables.

Un conductimètre, plus fiable, permettant de mesurer également la température, n'est disponible que sur certaines fermes industrielles en raison de son prix plus élevé.

## 2.3. L'oxygène dissous

### Quelques rappels

L'oxygène dissous est le principal paramètre limitant dans un élevage de crevette (Avnimelech, 2005). La solubilité de l'oxygène dans l'eau diminue avec l'élévation de la température et de la salinité et la diminution de la pression.

Les concentrations en oxygène dissous dans l'eau sont dynamiques. Elles montrent des fluctuations journalières variables dans la colonne d'eau. Les valeurs sont plus fortes l'après-midi, avec une production d'oxygène par la photosynthèse réalisée par le phytoplancton, que le matin du fait de la respiration nocturne de ces mêmes organismes. Dans la journée, les

concentrations sont plus élevées près de la surface en raison de la diminution de la lumière avec la profondeur et la stratification thermique.

Ce n'est pas la biomasse de crevette qui consomme le plus d'oxygène dans un bassin de terre (seulement 3 - 20 %) mais la respiration du phytoplancton, du zooplancton, des bactéries présents dans la colonne d'eau et surtout sur le fond. On considère qu'un kg de crevettes (taille adulte) consomme en moyenne 300 mg O<sub>2</sub>/h (Boyd, 1998).

Ce sont les quantités de granulé distribuées dans le bassin qui contribuent le plus directement ou indirectement à la demande en oxygène du bassin.

Quand les rations journalières dépassent 40 kg/ha/jour, on peut s'attendre à des risques d'hypoxie (faibles concentrations en oxygène) dans un bassin d'élevage de crevettes (Boyd, 1992b) ([figure 21](#)). De telles conditions se produisent sur environ la moitié de la durée d'un élevage semi-intensif classique de Nouvelle-Calédonie.

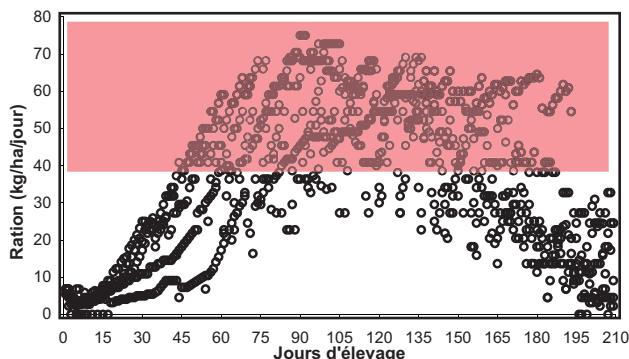


Figure 21 – Période d'élevage (en rouge) où des rations supérieures à 40 kg/ha/jour (nécessitant une aération complémentaire) sont distribuées.

(Sources : 1045 données journalières de cinq élevages consécutifs, semi-intensif de saison chaude, dépourvus d'aérateurs d'une ferme familiale)

## Effets des valeurs basses en oxygène dissous

*L. stylirostris* est une espèce assez sensible aux valeurs basses en oxygène (Clifford, 1997). La tolérance de l'espèce aux faibles concentrations dépend de son état de santé et ne peut être dissociée des autres paramètres environnementaux stressants ([Tableau 18](#)).

Tableau 18 - Limites de tolérance des juvéniles de *L. stylirostris* aux faibles concentrations en oxygène dissous (Clifford, 1997).

	Crevette en bonne santé	Crevette stressée
concentration optimale de O <sub>2</sub>	>3,0 mg/L	>4,0 mg/L
niveau d'alerte	2,5 - 3,0 mg/L	3,0 - 4,0 mg/L
mortalités potentielles	<2,5 mg/L	<3,0 mg/L

On observe le comportement de *surfacing response* (animaux qui viennent chercher l'air en surface) chez *L. stylirostris* dès lors que les concentrations en oxygène chutent en dessous de 0,7 - 1,0 mg/L. Dans un environnement favorable, *L. stylirostris* peut supporter des concentrations de l'ordre de 0,5 mg/L pendant quelques jours sans que la survie finale en soit notablement affectée (Clifford, 1997).

## Prédiction de l'évolution des teneurs en oxygène dissous

Dans les élevages de saison chaude et en absence d'aérateurs, des déficits en oxygène dissous que l'on attribue à la respiration nocturne du phytoplancton surviennent très souvent à l'aube. Ces situations sont souvent aggravées dans les fermes qui pratiquent un fractionnement de la ration journalière (1/3 le matin et 2/3 le soir) du fait de la dégradation bactérienne nocturne exacerbée des restes non contrôlés.

Bien que ce modèle prédictif ne soit pas des plus performants (Madenjian *et al.*, 1987 a et b), on peut schématiquement représenter l'évolution de la concentration en oxygène dissous dans un bassin par une régression linéaire (Boyd *et al.*, 1978 ; Griessinger *et al.*, 1991).

Chaque bassin ayant des caractéristiques propres et étant géré selon une zootechnie particulière, il est recommandé aux éleveurs d'élaborer leur propre table de prédiction de la valeur de l'oxygène à l'aube à partir des données de plusieurs élevages dans les périodes de scénarii à risque (ration >40 - 50 kg/ha/j ; T °C>26 - 28°C).

La relation linéaire (figure 22), construite à partir des données de 5 élevages consécutifs du même bassin ensemencé à des densités voisines ≈ 20/m<sup>2</sup> en saison chaude, permet à cet aquaculteur de prédire que si :

- L'oxygène mesuré la veille vers 17 h est de 10 mg/L, la valeur du lendemain à l'aube sera de ± 5,8 mg/L (entre 4,5 et 6,8 mg/L) ;
- L'oxygène mesuré la veille vers 17 h est de 4 mg/L, la valeur du lendemain à l'aube sera de ± 2,1 mg/L.

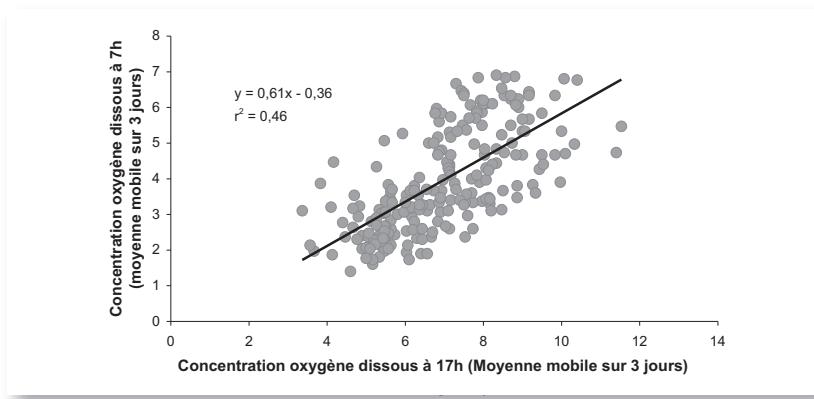


Figure 22 - Méthode graphique de prédiction de l'évolution des teneurs en O<sub>2</sub> dissous pour un bassin donné.  
Source : données de 5 élevages d'une ferme familiale, ensemencement d'octobre à 20/m<sup>2</sup> (T° matin > 26 °C et ration > 50 kg/ha/j)

## Mesures de l'oxygène dissous

Il est conseillé de mesurer l'oxygène plusieurs fois par jour voire la nuit notamment dans les bassins semi-intensifs intensifiés qui ne disposent que d'une aération d'urgence.

Les crevettes étant benthiques et les concentrations en oxygène étant généralement plus faibles près du sol, il faut effectuer les mesures à quelques centimètres du fond du bassin. Il est recommandé de le faire à plusieurs dizaines de centimètres devant un des moines de sortie qui correspond à une des zones les plus consommatrices du bassin en évitant toutefois de positionner la sonde dans la boue noire flocculante. En cas de doute, il ne faut pas hésiter à aller faire des mesures dans tout le bassin à l'aide d'une embarcation.

En Nouvelle-Calédonie, l'oxygène dissous est mesuré à l'aide d'une sonde polarographique dite sonde de Clarke. Elle est essentiellement constituée d'une cuve hermétique contenant un électrolyte et deux électrodes ; une anode d'argent et une cathode isolée par une gaine de verre. La surface terminale de la cathode est au contact d'une membrane perméable aux gaz, qui sépare les électrodes du milieu ambiant. En fonctionnement, la sonde débite un courant proportionnel à la quantité d'oxygène qui a traversé la membrane et correspondant à la concentration ambiante d'oxygène. Il est nécessaire d'agiter lentement la sonde lors de la mesure à la fois pour éviter que tout l'oxygène

autour de la sonde immobile soit consommé provoquant une sous-estimation, mais sans créer non plus d'agitation trop forte qui incorporerait plus d'oxygène dans l'eau et conduirait à une sur-estimation de la concentration. Il faut généralement afficher la salinité de l'eau et fixer le % de saturation.

#### Autres recommandations :

- La qualité de l'étalonnage et des mesures dépend beaucoup de l'état de la sonde et de l'appareil qui est extrêmement fragile.
- Il est recommandé de fixer un plomb attaché à quelques centimètres sous l'extrémité de la sonde et qui signalera le fond et évitera de la détériorer.
- Afin d'éviter qu'un film biologique nuisible à la qualité de la mesure et à la longévité de la membrane ne se développe sur la membrane, il faut la nettoyer souvent et délicatement avec des antiseptiques tels que le Mercryl®.
- Il est préférable de stocker la sonde dans un étui humide plutôt que de la laisser dans l'eau.
- Du fait de l'importance du paramètre oxygène, il est impératif de disposer d'au moins trois appareils et de deux sondes de rechange sur toute exploitation.

### Vérification du bon étalonnage d'un oxymètre

Les aquaculteurs sont souvent confrontés au problème de savoir si les valeurs affichées par l'oxymètre sont justes, notamment dans la gamme critique 1-3 mg/L. Ils disposent souvent de plusieurs modèles pour vérification. Mais ni un autre appareil de la même marque, même neuf, ni un oxymètre plus cher d'un modèle différent ou d'une autre marque n'offrent la moindre garantie d'une meilleure fiabilité. La procédure suivante permet de lever le doute sur les valeurs lues par l'appareil avec du matériel généralement présent sur la ferme.

#### Vérification à la ferme du bon étalonnage d'un oxymètre

##### Fabrication d'une solution à 0 ppm d'O<sub>2</sub>

Réaliser une solution sursaturée en dissolvant du métabisulfite de sodium jusqu'à ce qu'il reste des cristaux ou mieux en faisant une solution de Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> à 5 % (com. pers., J.C. Massabuau, Epoc, U. Bordeaux). La conserver au réfrigérateur et à l'abri de la lumière en l'enveloppant dans de l'aluminium.

##### Appareillage pour préparer des solutions sursaturées en oxygène

- Fabriquer le dispositif suivant : aérateur d'aquarium relié à trois diffuseurs à bulles très fines.
- Un gros flacon à col large pouvant contenir les trois sucres + un couvercle avec une encoche du diamètre de la sonde.

#### Procédure

##### Préparation des échantillons

Prendre deux litres d'eau de mer propre en tête du canal. Laisser un litre au réfrigérateur réglé au maximum. Prendre deux litres d'eau d'un robinet d'eau douce extérieur. Mettre également un litre au réfrigérateur.

##### Solution zéro

Vérifier le zéro de la sonde en la trempant suffisamment longtemps dans la solution à 0 ppm (métabisulfite). La température de la solution n'a pas d'importance. L'oxymètre doit indiquer 0-0,1 mg/L (repère n°1)

##### Solution d'eau du robinet

- Après avoir bien rincé la sonde à l'eau douce -le méta est très corrosif- la tremper dans le flacon où sont disposés les diffuseurs ;
- Faire buller 5 mn la solution d'eau du robinet la plus chaude (fines bulles/sursaturation). Prendre la température de l'échantillon (avec un thermomètre à mercure de préférence). Vérifier que la salinité soit 0. Mesurer l'oxygène dissous à l'aide de la sonde à étalonner introduite dans le flacon muni du couvercle. Vérifier la justesse de la valeur dans la table de la solubilité de l'oxygène dans l'eau (Chap.1 §3.4.4). Exemple : si la température de l'eau est de 28 °C, à la salinité 0, la valeur mesurée doit être 7,80 mg/L (repère n°2) ;

- Recommencer la même opération avec l'échantillon conservé au réfrigérateur. Si la température de l'eau est de 20 °C, à la salinité 0, la valeur mesurée doit être 9,11 mg/L (repère n°3).

#### Solution d'eau de mer du canal

- Après avoir rincé la sonde à l'eau douce, la tremper dans le flacon où sont disposés les diffuseurs ;
- Faire bouillir 5 mn une solution d'eau de mer la plus chaude. Prendre la température et la salinité de l'échantillon. Mesurer l'oxygène dissous à l'aide de la sonde à étalonner. Vérifier la justesse de la valeur dans la table. Exemple : si la température de l'eau est de 28 °C, à la salinité 36, la valeur mesurée doit être 6,36 mg/L (repère n°4) ;
- Recommencer la même opération avec l'échantillon conservé au réfrigérateur. Si la température de l'eau est de 20 °C, à la salinité 36, la valeur mesurée doit être 7,37 mg/L (repère n°5).

On peut également obtenir un 6<sup>ème</sup> point en faisant fondre de la glace (eau douce) dans l'eau de mer pour obtenir un mélange saumâtre plus froid.

En recoupant toutes ces valeurs, on a une idée assez précise de la justesse de l'appareil.

## 2.4. Le pH

### Conditions standard d'élevage

Il faut éviter de maintenir le cheptel dans des conditions extrêmes de pH qui peuvent avoir une influence négative sur la mue et la croissance (Vijayan et Diwan, 1995). Cependant le pH de l'eau de mer dans les élevages même très intensifs n'est généralement pas une source de problème pour les crevettes dans la mesure où l'eau de mer est normalement bien tamponnée ce qui évite les variations brutales de ce paramètre (Boyd, 1992b).

Dans les conditions d'élevage semi intensives intensifiées pratiquées en Calédonie, le développement d'importantes efflorescences phytoplanctoniques peut toutefois faire varier le pH de 7,5 à 9,5 sur une période de 24 h. Les valeurs les plus basses sont mesurées à l'aube et les plus fortes dans l'après-midi en raison de l'influence de la lumière sur la photosynthèse et des effets de la respiration des organismes : le phytoplancton prélève du dioxyde de carbone CO<sub>2</sub> ce qui conduit à une élévation de pH. La nuit, la respiration du phytoplancton et de tous les animaux libère du CO<sub>2</sub> et le pH baisse.

Dans les conditions normales d'élevage, le pH diminue au maximum de 0,7 à 1,3 unités du début à la fin de l'élevage (Chen *et al.*, 1988).

Le tableau 19 indique l'étendue des gammes de pH toléré par *L. stylirostris* sans le moindre problème dans les cas typiques d'élevages semi-intensifs pratiqués en Nouvelle-Calédonie, à savoir des ensements en saison chaude ou en saison fraîche avec fertilisation ou non.

Tableau 19 - Etendue de la gamme de pH de l'eau rencontrée typiquement dans les élevages semi-intensifs de Nouvelle-Calédonie.

(Sources : deux séries de quatre élevages de juillet et de février avec ou sans fertilisation N et P réalisés au DAC).

	Elevages de saison fraîche		Elevages de saison chaude	
	Non fertilisés	Fertilisés	Non fertilisés	Fertilisés
<u>pH à 8 h</u>				
mini.	8,13	8,39	7,35	<u>7,25</u>
maxi.	9,14	9,11	8,75	9,28
moy.	8,59	8,82	8,19	8,39
<u>pH à 15 h</u>				
mini.	8,19	8,50	7,56	7,42
maxi.	8,90	<u>9,95</u>	9,04	9,36
moy.	8,58	8,89	8,26	8,54

Clifford (1997) considère la gamme de valeurs de pH comprises entre 8,1 et 9,0 comme idéale pour l'espèce *L. stylirostris*.

### Conditions particulières d'élevage

#### Valeurs faibles de pH

Dans le cas de bassins construits sur des sols sulfato-acides, le pH de l'eau peut

atteindre des valeurs très basses, jusqu'à inférieures à 6 (Boyd, 1992a et b). De telles valeurs peuvent être préjudiciables pour les élevages dans la mesure où la proportion de la forme non-ionisée de l'hydrogène sulfuré H<sub>2</sub>S, toxique pour la crevette, augmente avec la diminution du pH (Tableau 20) et diminue avec la température.

Tableau 20 - Relation entre la proportion de la forme toxique de H<sub>2</sub>S à 30°C en relation avec le pH (Boyd, 1992a et b).

	Valeurs du pH					
	5	6	7	8	9	10
Forme non ionisée de H <sub>2</sub> S (%)	99	90	50	9	1	0

Des pH de l'eau inférieurs à 6,0 freinent la croissance des crevettes (Allan et Maguire, 1992) et provoquent la maladie de la carapace molle ou *soft shell* (Chien, 1992).

Ces conditions n'ont pas encore été rencontrées dans les fermes calédoniennes construites sur des tannes.

### Valeurs élevées de pH

L'ammoniac peut atteindre des concentrations extrêmement fortes et la proportion de la forme toxique NH<sub>3</sub> augmente avec l'élévation de pH (Tableau 21) dans les élevages hyper intensifs où les rations dépassent 200 kg/ha/j et où un renouvellement réduit est appliqué. De telles densités ne sont pas pratiquées en Calédonie.

Tableau 21 - Relation entre la proportion de la forme toxique de NH<sub>3</sub> à 30°C en relation avec le pH (Boyd, 1992a et b).

	Valeurs du pH					
	5	6	7	8	9	10
Forme non ionisée de NH <sub>3</sub> (%)	0	0,1	1	9	50	90

## 2.5. La turbidité : disque de Secchi

Le disque de Secchi est généralement fabriqué sur la ferme. Il s'agit d'un disque d'un rayon d'environ 20 cm sur lequel sont peints des quartiers alternés blancs et noirs. Il est tenu par un manche d'au moins 1,50 m (profondeur maximum d'un bassin) sur lequel sont portées des graduations tous les cinq centimètres. Il est préférable d'utiliser un manche assez lourd et très solidement fixé au niveau du disque pour permettre l'enfoncement aisément.

La profondeur de disparition du disque de Secchi est généralement utilisée en aquaculture comme moyen d'observation et de contrôle du phytoplancton par le renouvellement d'eau (Chanratchakool *et al.*, 1994) et/ou la fertilisation (Cook et Clifford, 1998).

Il faut savoir que cet appareil ne sert pas à apprécier uniquement l'abondance des microalgues. La turbidité peut provenir de MES (Matières En Suspension) d'origine autre que végétale (Boyd et Daniels, 1993).

### Effet inhibiteur du développement des végétaux benthiques indésirables

Une turbidité importante limite la pénétration de la lumière au fond du bassin et empêche le développement des algues benthiques composées en majorité de cyanobactéries, d'algues filamenteuses voire de macrophytes (Laws et Malecha, 1981).

Le développement d'un tapis algal à dominante de cyanobactéries peut se produire très tôt dans l'élevage et bloquer celui du phytoplancton. Plus tard dans l'élevage,

lorsque le bloom de la colonne d'eau a démarré, les algues benthiques privées de lumière meurent. Leur décomposition provoque des chutes d'oxygène. Des bulles de gaz emprisonnées dans ces amas les font décoller du fond (Photo 4). De grandes quantités se retrouvent flottant à la surface et s'accumulent au gré des courants, du vent et des marées de sortie.



Photo 4 - Décollement du tapis benthique sur une ferme de Calédonie (© Al. Leturc).

Il faut également rappeler que l'ingestion des ces algues peut conduire à des entérites hémocytaires (Lightner, 1988) avec des lésions du tube digestif pouvant affaiblir considérablement les crevettes. Elles ont été observées sur plusieurs fermes de Calédonie.

### **Opacification du milieu**

La forte densité du phytoplancton opacifie la colonne d'eau et conduit à une très forte obscurité au fond. Ces conditions correspondent au préférendum de lumière des crevettes dont le biotope naturel est constitué par les eaux chargées des estuaires (Wyban et Sweeney, 1991).

Dans de telles conditions, les crevettes adoptent un comportement plus calme (d'où une épargne énergétique en faveur de la croissance) et le cannibalisme est réduit (Chien, 1992).

Elles offrent également une protection efficace contre la prédation aviaire (Della Patrona, 1989).

### **Mesures et valeurs conseillées**

Si l'on cherche à éviter des biais dans la mesure du Secchi, il faut opérer tous les jours à la même heure de la journée, au même endroit avec la même personne en évitant d'avoir le soleil dans les yeux et à une station pas trop ventée.

Il semble qu'il y ait un consensus général sur la gamme optimale (30-50 cm) de valeurs du Secchi à préconiser dans les élevages semi-intensifs de pénéides :

- 30 - 50 cm *L. stylirostris* (Clifford, 1997) ;
- 30 - 40 cm *L. vannamei* (Villalon, 1991) ;
- 35 - 55 cm *L. setiferus* (Hirono, 1992) ;
- 30 - 40 cm *P. monodon* (Rajagopal *et al.*, 1995).

## **2.6. Le phytoplancton / La chlorophylle a**

### **Définition**

Le phytoplancton comprend des microalgues (que l'on ne voit pas à l'œil nu) qui sont transportées au gré des courants. Ces microalgues, qui possèdent des chloroplastes, croissent grâce à la lumière et produisent de l'oxygène entre autres, des sels minéraux et des vitamines. Ce sont les producteurs primaires des eaux marines, comme les plantes sont les producteurs primaires sur la terre.

## 2.6.1. Rappel de l'importance du phytoplancton dans un bassin d'élevage de crevette

Le développement du phytoplancton dans un bassin de terre est la conséquence des mécanismes complexes de transformation (chaîne alimentaire), d'accumulation et d'échange (air-eau-sédiment) et de transfert (bilan entrée-sortie) des matières minérales et organiques apportées naturellement (bassin versant, lagon) ou artificiellement (aliment, fertilisants).

### Rôle stabilisateur du milieu

Le phytoplancton, s'il est bien géré, joue un rôle primordial en stabilisant l'écosystème bassin et en minimisant les fluctuations de la qualité de l'eau (Burford, 1997).

Les populations phytoplanctoniques enrichissent le milieu en oxygène via la photosynthèse dans la journée et limitent les concentrations en dioxyde de carbone CO<sub>2</sub>, ammoniac NH<sub>3</sub>, nitrites NO<sub>2</sub><sup>-</sup> et en sulfures H<sub>2</sub>S (Chien, 1992).

La couverture algale limite les pertes de chaleur hivernales et stabilise la température de l'eau en général (Stahl, 1979).

### Source alimentaire directe

Les crevettes se nourrissent des microalgues qui adhèrent aux détritus en suspension (Chamberlain, 1988). Les flocs de phytoplancton qui se développent dans les élevages hyper-intensifs sont activement consommés par *L. vannamei* et contribuent à sa bonne croissance (Burford *et al.*, 2004).

Bien que cette contribution à l'alimentation du cheptel puisse être considérée comme mineure, il faut rappeler que la maîtrise de l'élevage larvaire s'est faite grâce à la mise au point des systèmes en eau verte.

### Source alimentaire indirecte

Le phytoplancton est à la base de la production naturelle en servant de nourriture au zooplancton et à la méiofaune qui sont consommés par les crevettes (Della Patrona *et al.*, 2004b).

Parmi les taxons des algues marines rencontrées dans les bassins les *chrysophycées*, les *bacillariophycées* (*Diatomées*) et à un degré moindre les *chlorophycées* (algues vertes) présentent une valeur nutritionnelle satisfaisante (Jory, 1995) au contraire des *cyanophycées* et *euglenophycées* (Clifford, 1992) qui sont très peu consommées par le zooplancton herbivore (Pael et Tucker, 1995).

Les algues les plus intéressantes pour la croissance du cheptel sont les *Diatomées* qui possèdent de longues chaînes d'acides gras polyinsaturés (Yusoff et McNabb, 1989). Parmi celles-ci certaines espèces sont plus favorables que d'autres à la croissance des pénéides (Rothlisberg, 1998).

### Support physique

Les microalgues servent de substrats sur lesquels les bactéries favorables à l'élevage de la crevette peuvent se développer (Cook et Clifford, 1998).

### Interaction avec les pathogènes

Le phytoplancton entre en compétition pour les sels nutritifs avec les populations bactériennes et les pathogènes (Chien, 1992).

## 2.6.2. Examen du phytoplancton

### Couleur de l'eau

En l'absence de tout appareillage de mesure, la couleur de l'eau est malgré tout un bon indicateur du bon fonctionnement du bassin pour un aquaculteur expérimenté (Gomes, 1992). Après avoir établi des corrélations empiriques entre la couleur et

l'odeur de la masse d'eau, le Secchi et les observations des cellules algales au microscope, un biologiste acquiert au bout d'un certain nombre d'années de pratique une bonne capacité à évaluer la composition du phytoplancton. Cette expérience est toutefois difficilement extrapolable d'un bassin à un autre et d'une ferme à une autre notamment en raison de la couleur différente du fond.

## Comptages des cellules algales au microscope

Environ 50% des crevetticulteurs calédoniens effectuent des comptages périodiques sur cellules de Malassez. L'observation au microscope est fastidieuse mais permet d'obtenir un inventaire approximatif des principales classes de microalgues (Tableau 22).

Afin d'organiser leur archivage dans la base de données Stylog mise au point au DAC (Anonyme, 2006c) la nomenclature suivante a été établie à partir de la synthèse des observations réalisées à la SODACAL de 1988 à 1993 et au DAC de 1994 à 2004.

Le groupe 3 communément appelé petites chlorelles en Nouvelle-Calédonie serait une nébuleuse de plusieurs classes qui a été révélée par les récentes mesures de cytométrie en flux (Com. pers. C. Courties, Laboratoire Arago, Université Pierre et Marie Curie, CNRS).

Tableau 22 - Schéma d'identification du phytoplancton observé dans les bassins de Nouvelle-Calédonie.

Description	Appartenance supposée
<b>Groupe 1 :</b> cellules > 5µm actives et flagellées	Classe des micro-flagellées : familles des <i>Gymnodiaceae</i> , <i>Peridiniaceae</i> , <i>Ceratiaceae</i> , <i>Prorocentraeaceae</i> , <i>Cacioidinellaceae</i> , <i>Protoperidiniaceae</i>
<b>Groupe 2 :</b> cellules siliceuses aux formes adaptatives (spicules, etc.) dépourvues de flagelles	Classe des Diatomophycées : familles des <i>Naviculaceae</i> , <i>Nitzschiaceae</i> , <i>Cymbellaceae</i> , <i>Chaetoceraceae</i> , <i>Thalassiosiraceae</i> , <i>Leptocylindraceae</i> , <i>Coscinodiscaceae</i> , <i>Raphoneidaceae</i> , <i>Rhizoleniaceae</i> , <i>Lithodesmiaceae</i> , <i>Eupodiscaceae</i> , <i>Fragillariaceae</i> , <i>Hemialfaulaceae</i>
<b>Groupe 3 :</b> cellules très réfringentes et de petites tailles 1-5 µm	Classe des Chlorophycées : famille des <i>Oocystaceae</i> Classe des Cyanophycées : genres <i>Synechococcus</i> et <i>Prochlorococcus</i>
<b>Groupe 4 :</b> cellules bleu vert souvent en colonies soit ovoïdes soit allongées	Classe des Cyanophycées : famille des <i>Chroococcaceae</i>
<b>Groupe 5 :</b> longues cellules transparentes ou rayées en forme de bâtonnets	Classe des Cyanophycées : famille des <i>Oscillatoriaceae</i>

Une estimation de l'importance du développement des différents groupes de phytoplancton dans différentes conditions d'élevage caractéristiques de la filière semi-intensive calédonienne est illustrée par le tableau 23. On note que les efflorescences sont favorisées par la température (saison chaude) et la fertilisation.

Une densité (hors groupe 3) de 80 000 à 400 000 cellules/ml est considérée comme optimale dans les bassins (Clifford, 1994 ; Hirono, 1992 ; Boyd et Daniels, 1993).

Hirono (1992) recommande des concentrations de Diatomées de 25 000 à 60 000-120 000 cellules/ml pour obtenir une croissance optimale du cheptel.

Ces préconisations ne sont pas respectées dans les bassins non fertilisés de Nouvelle-Caledonie.

Tableau 23 - Densités (nombre de cellules/ml) des principaux groupes de phytoplancton rencontrés dans les élevages semi-intensifs de Nouvelle-Calédonie.

(Sources : deux séries de quatre élevages de juillet et de février avec ou sans fertilisation N et P réalisés au DAC).

	Elevages de saison fraîche		Elevages de saison chaude	
	non fertilisés	fertilisés	non fertilisés	fertilisés
<b>Dinos G1</b>				
mini.	1 000	1 000	1 000	2 000
maxi.	35 000	70 000	37 000	200 000
moy.	10 000	19 000	12 000	35 000
<b>Diatomées G2</b>				
mini.	0	0	4 000	1 000
maxi.	108 000	168 000	136 000	624 000
moy.	5 500	20 000	20 000	70 000
<b>Chlorelles G 3</b>				
mini.	100 000	100 000	400 000	500 000
maxi.	10 200 000	24 000 000	6 100 000	40 000 000
moy.	3 500 000	4 500 000	2 000 000	10 500 000
<b>Bâtonnets G5</b>				
mini.	0	0	4 000	4 000
maxi.	128 000	116 000	60 000	84 000
moy.	20 000	20 000	10 000	25 000

## Mesure de la chlorophylle a par fluorimétrie

La mesure de la chlorophylle a (Chl. a) est un bon indicateur de la biomasse phytoplanctonique totale dans l'eau des bassins. Elle représente le plus important pigment chez les organismes photosynthétiques aérobies. Le contenu cellulaire en chlorophylle a est de 1 à 2% en poids sec.

La méthode de dosage de la Chl. a par fluorimétrie est plus sensible et moins compliquée que celle par spectrophotométrie. De plus elle ne nécessite qu'un faible volume d'échantillon.

L'appareil utilisé par le DAC en routine est un turbidimètre/fluorimètre Aquafluor® de terrain étanche (Herblard, 2008).

L'appareil mesure la fluorescence *in vivo* et doit être calibré en équivalents µg/L Chl. a au préalable par un abaque ([figure 23](#)) établi à partir de mesures faites au laboratoire par extraction de la chlorophylle dans un solvant (méthanol ou acétone).

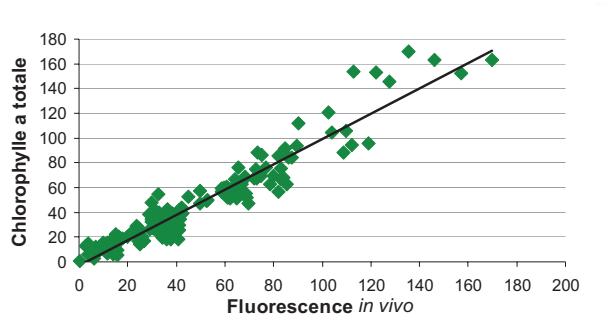


Figure 23 – Abaque de calibration du fluorimètre de terrain (A. Herblard DAC Ifremer com. pers.)

## Avantages et inconvénients

Les avantages de la mesure de la chlorophylle a par le turbidimètre/fluorimètre Aquafluor® sont :

- grande facilité d'emploi ;
- plus grande représentativité de la biomasse phytoplanctonique et de ses variations / comptages des microalgues, moins fiables notamment pour le groupe 3 ;
- relation entre l'oxygène attendu dans la journée et la mesure de la Chl. a ([figure 24](#)) ;

- sa fonction turbidimètre, en appui de la mesure du Secchi, permet de faire la part de la turbidité liée au phytoplancton de celle provoquée par la bioturbation du sol par le cheptel ;
- un gain de temps par rapport à l'examen au microscope ;
- un avantage de comparabilité entre fermes que l'interprétation du comptage de cellules phytoplanctoniques autorise moins.

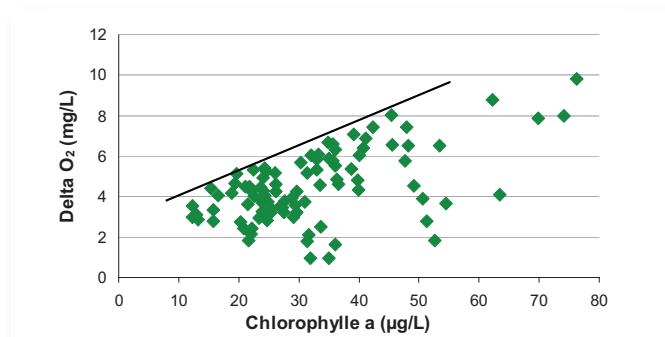


Figure 24 – Relation entre la teneur en Chl. a et l'oxygène dissous maxi attendu symbolisé par une « droite plafond » dans la journée (A. Herblant DAC Ifremer com. pers.)

Les inconvénients sont :

- il n'existe pas aujourd'hui le même recul sur les gammes optimales et les évolutions de la Chl. a que sur les comptages des microalgues sur cellule de Malassez ;
- son prix est abordable, de l'ordre du quart de l'achat d'un microscope ; cependant, en l'état actuel des connaissances, l'achat de cet appareil n'exonère pas de celui d'un microscope qui permet une détermination nécessaire des algues supposées toxiques (eaux rouges).

Néanmoins, sur la base des suivis réalisés en bassins semi-intensifs au DAC et dans une ferme présentant un dysfonctionnement des flux sédimentaires de sels nutritifs enrichissant la colonne d'eau, il semblerait que le scénario normal d'évolution de la biomasse phytoplanctonique dans un bassin semi-intensif dans les conditions de saison fraîche et de saison chaude de Nouvelle-Calédonie (figure 25) soit caractérisé par :

- une augmentation régulière et progressive (et non par à coups) de la concentration en Chl. a au cours de l'élevage ;
- des valeurs maximales inférieures à 60  $\mu\text{g/L}$  avant le centième jour d'élevage ;
- des valeurs environ deux fois supérieures en saison chaude.

Les normes préconisées par Clifford (1994) dans les élevages semi-intensifs de *L. vannamei* sont comprises entre 50 et 75  $\mu\text{g/L}$ .

Bien que l'utilisation de cet appareil soit encore limitée parmi les aquaculteurs, cet outil est l'objet de l'intérêt grandissant de la profession malgré son coût relativement élevé.

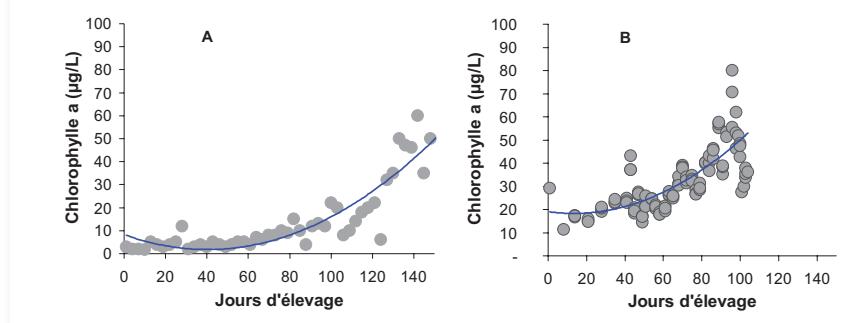


Figure 25 – Exemples d'évolution saisonnière des valeurs de la chlorophylle a dans un bassin en saison fraîche (A) et en saison chaude (B). Sources : densité  $21/\text{m}^2$  bassin 4 Dac juin à novembre 1992; densité  $21/\text{m}^2$  bassin H Dac février à avril 2004. L'augmentation de chl a se fait de manière progressive mais plus intense en saison chaude. Les deux bassins terminent au même niveau en raison des conditions de température similaires (avril et novembre).

### Mesure en cytométrie en flux

La cytométrie en flux est une technique d'analyse individuelle et multiparamétrique des cellules en suspension dans un liquide. Elle n'est pas qu'un simple outil de dénombrement de cellules, elle permet également l'analyse de leur contenu et propriétés (Courties et Bœuf, 2004). De sorte que le cytomètre en flux parvient à caractériser les cellules du phytoplancton (Li, 1990), les bactéries-vibrios (Gasol et del Giogio, 2000) et les virus libres (Marie *et al.*, 1999). La mesure par cytométrie en flux des cellules du phytoplancton des bassins n'est pas un outil encore utilisé en Nouvelle-Calédonie. Pourtant, il existe au niveau du Groupement des Fermes Aquacoles de Nouvelle-Calédonie (GFA), une forte demande pour identifier plus précisément et suivre les évolutions des peuplements phytoplanctoniques dont certains sont suspectés de toxicité et d'être associés à des mortalités atypiques du cheptel.

Cet intérêt est motivé par les quelques cytogrammes des échantillons provenant des suivis effectués par le DAC sur des fermes affectées par des vibrioses.

L'utilisation au quotidien de tels appareils s'est beaucoup simplifiée. Leurs coûts d'achat et de maintenance ont diminué fortement (Roberts, 2003). La présence d'un outil collectif sur les sites de production permettrait de préciser la nature et les rôles des petites chlorelles et de définir le point critique où l'eutrophisation devient préjudiciable au bon fonctionnement du bassin.

### 2.6.3. Evénements remarquables

#### Chutes de blooms

La rapide disparition du phytoplancton dans un bassin n'est pas obligatoirement le fruit d'un lessivage excessif. Elle intervient (Chien, 1992) lorsque :

- les populations de microalgues atteignent le pic de leur cycle de reproduction ;
- les concentrations en sels nutritifs ou l'équilibre entre certains d'entre eux ne sont plus appropriées ;
- les paramètres physico-chimiques deviennent défavorables (changement brusques de température et/ou de salinité ; fort déficit en lumière) ;
- un bloom de zooplancton l'éradique par broutage (cas le plus fréquent).

Les signes avant-coureurs d'une importante chute de bloom dans un bassin sont

les flocons d'écume blanche qui s'accumulent au bord des berges (Clifford, 1997). Ceci se produit à la suite de la rupture des parois des cellules entraînant la fuite du contenu cellulaire et des pigments juste après que le phytoplancton a perdu sa couleur (Chien, 1992). Les répercussions d'une chute de bloom peuvent être très préjudiciables aux paramètres physico-chimiques et biologiques de la colonne d'eau et du fond et donc pour la santé de la crevette (figure 26).

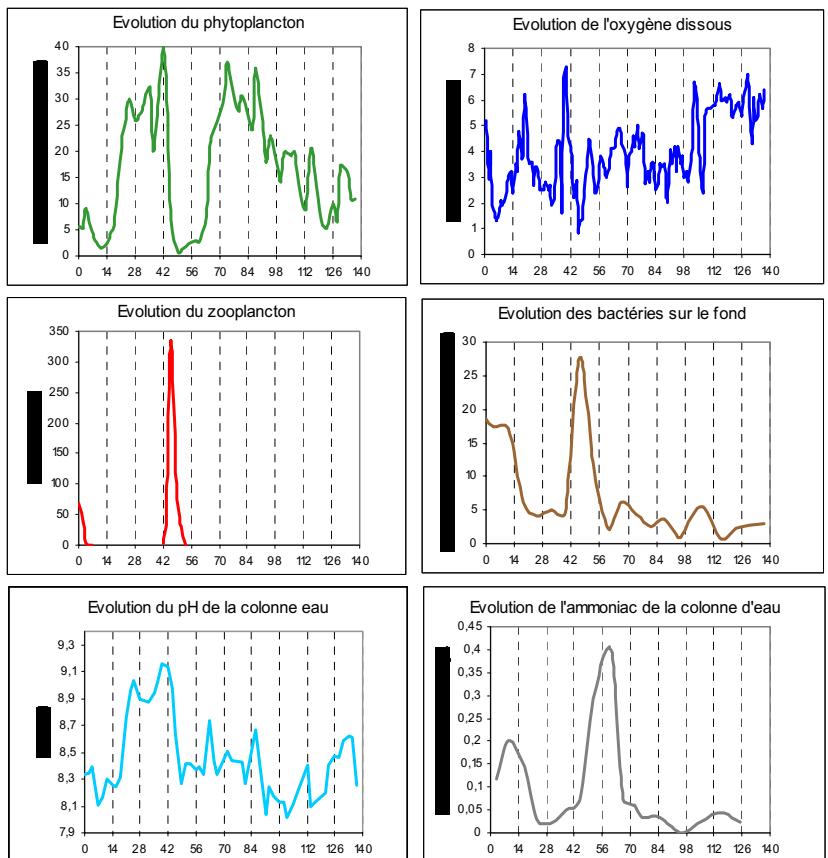


Figure 26 - Cas d'école d'une chute de bloom d'algues de type petites chlorelles, provoquée par l'apparition d'un bloom de rotifères et ses conséquences sur le bassin.

(Source : Suivi Dac bassin fertilisé 1800 m<sup>2</sup> densité 20/m<sup>2</sup> ensemencement de février 2000)

## Eaux rouges

Les phénomènes d'eaux colorées (couleurs rose, grenat, marron, orange, grise) sont très fréquemment observés dans les bassins de Nouvelle-Calédonie. Ils se produisent également dans la plupart des régions productrices de crevettes (Alonso-Rodriguez et Paez-Ozuna, 2003).

Les microalgues observées lors des épisodes de marées rouges n'ont jamais fait l'objet d'identification précise à l'exception de *Procentrum minimum* identifié en 2003 par l'Ifremer sur une ferme connaissant des problèmes de production. Toutefois les genres supposés les plus fréquemment trouvés en Nouvelle-Calédonie seraient ceux décrits dans la littérature (Sierra-Beltran *et al.*, 2005) :

- *Procentrum micans* et *P. minimum* appelés localement dino feuille (Photo 5), dino cœur (Photo 6) ;
- *Karenia mikimotoi* dino caillou (Photo 7) ;
- *Scriptpsilla trochoidea* dino pièce de monnaie (Photo 8) ;

- *Akashiwo sanguinea*, dino odeur de boue (Photo 9) ;
- *Gyrodinium istriatum* dino toupie (Photo 10) ;
- *Protoperidinium depressum* dino soupière (Photo 11) ;
- *Ceratium furca* dino fourche (Photo 12).



Photo 5 : *Prorocentrum micans*  
dino feuille.

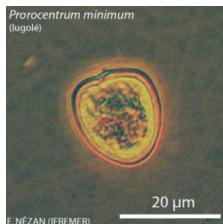


Photo 6 : *Prorocentrum minimum*  
(lugole) dino cœur.



Photo 7 : *Karenia mikimotoi*  
dino caillou.

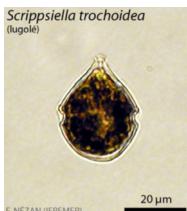


Photo 8 : *Scrippsiella*  
*trochoidea*.

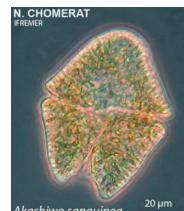


Photo 9 : *Akashiwo sanguinea*

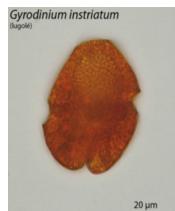


Photo 10 : *Gyrodinium*  
*istriatum* dino toupie.



Photo 11 : *Protoperidinium*  
*depressum* dino soupière.



Photo 12 : *Ceratium furca* dino  
fourche.

En Nouvelle-Calédonie, aucune mortalité massive de cheptel n'a été déclarée à ce jour lors d'épisodes d'eaux rouges, ce qui confirme certaines observations faites ailleurs (Delgado *et al.*, 1996).

Pourtant certains des genres rencontrés sont bien connus pour être associés à de tels épisodes. *Prorocentrum minimum* a provoqué des pertes importantes dans les élevages de *L. stylirostris* (Cortes-Altamirano et Agraz Hernandez, 1994) et des suspicions de diarrhées chez leurs consommateurs (Cortes-Altamirano et Licea Duran, 1999). *Alexandrium tamarensis* a eu des conséquences désastreuses dans les élevages de *P. monodon* (Huei-Meei *et al.*, 1993).

Ces périodes s'accompagnent très souvent de baisses de performances de croissance du cheptel et d'observation de restes sur les mangeoires. Une explication serait qu'à ces périodes de l'année l'aquaculteur est à la recherche d'une croissance maximale pour son cheptel ce qui le conduit au surnourrissage. De sorte que la dégradation bactérienne du granulé en excès enrichit le milieu en sels nutritifs qui favorisent en retour le développement des blooms de dinoflagellés. Ce phytoplancton secrète des toxines qui peuvent affaiblir la crevette et ralentir son développement (Cortes-Altamirano et Alonso-Rodriguez, 1997). Les blooms de *P. minimum* (25 000 à 300 000 cel/ml) sont ainsi connus pour provoquer des ralentissements de croissance chez *L. stylirostris* (Cortes-Altamirano et Agraz Hernandez, 1994).

Lors des blooms, les aquaculteurs sont confrontés à des teneurs en oxygène extrêmement élevées le soir et très basses le matin. L'explication de ce phénomène est que les blooms extrêmement denses de ces grosses algues produisent des quantités importantes d'oxygène dans la journée et en respirent une grande part durant la nuit. Par ailleurs, les fortes quantités d'aliment apportées lors de ces périodes et/ou le surnourrissement contribuent à exacerber la Demande Biologique en Oxygène (DBO) du sédiment. La cause la plus citée de décès massif de crevettes en présence de blooms d'eaux rouges est la chute d'oxygène ou l'anoxie (Jimenez, 1993 ; Jiasheng *et al.*, 1993 ; Mingyuan et Jiansheng, 1993).

En effet, les mécanismes de toxicité et de production de toxines associés aux épisodes de mortalités de crevettes n'ont pas été totalement élucidés et le rôle déterminant et unique des problèmes d'oxygène dans les bassins lors des épisodes d'eaux rouges serait l'hypothèse la plus vraisemblable (Sierra-Beltran *et al.*, 2005).

Les conditions associées aux blooms sont les suivantes :

- excès de matière organique dans l'eau ;
- excès de sels nutritifs dans l'eau;
- faibles salinités ;
- pH élevés ;
- fortes températures (non exclusif);
- exudats de blooms de Diatomées (non exclusif).

La plupart de ces conditions sont réunies en Nouvelle-Calédonie au moment de la période cyclonique.

En effet, suite à la saisonnalisation de la filière pour contourner les mauvais résultats de saison fraîche, la plupart des fermes ont la majorité de leurs bassins à pleine charge avec une alimentation maximale de janvier à mars, mois où la température de l'eau est la plus élevée de l'année. C'est la période des pluies cycloniques. Ces épisodes sont connus pour provoquer le charriage de quantités anormalement élevées de sels nutritifs d'origine minérale et organique par lessivage des cultures et/ou des élevages environnants.

Les baies peu profondes et faiblement renouvelées du lagon servent souvent d'incubateurs aux efflorescences massives d'eaux rouges (Sierra-Beltran *et al.*, 2005).

La genèse d'un tel scénario est parfaitement illustrée par la [figure 27](#) :

- les efflorescences démarrent de manière parfaitement synchrone sur les deux bassins mitoyens à partir d'un inoculum probablement d'origine extérieure (lagon) ;
- outre les quantités d'aliment en elles-mêmes, c'est le surnourrissement illustré par les restes sur mangeoires qui augmente la vitesse d'eutrophisation ;
- aucune mortalité ne se produit au moment du bloom pourtant extrêmement dense, atteignant plusieurs millions de cellules/ml, et composé de *Gymnodinium spp.*, *Gyrodinium spp.* et *Prorocentrum spp.* ;
- ces efflorescences produisent de très fortes concentrations d'oxygène le jour ;
- le phénomène de surfacing response avec plusieurs milliers de crevettes moribondes observées au bord des bassins intervient au moment de la chute d'oxygène synchrone d'une mue massive.

Les seuls moyens de lutte utilisés actuellement en Nouvelle-Calédonie pour lutter contre les hypoxies sont la mise en marche de motopompes et/ou l'attente d'une orientation favorable des courants d'eaux ou du vent pour éliminer les nappes isolées à la surface du bassin.

Les autres outils zootechniques simples que l'on peut préconiser sont de mieux ajuster les distributions de granulé (moins de matière organique en suspension), d'augmenter le rapport N/P  $\approx$  15-20 favorable aux autres espèces du

phytoplancton (vs. N/P  $\approx$  1-5 favorable aux dinoflagellés (Cook et Clifford, 1998) et de remonter rapidement la salinité (Sierra-Beltran *et al.*, 2005) du bassin à laquelle ces organismes sont assez sensibles.

Plusieurs méthodes lourdes de contrôle en milieu ouvert de ces marées rouges ont été testées allant de l'utilisation de surfactants (Kutt et Martin, 1974), de pulvérisation aérienne de sulfate de cuivre (Rounsefell et Evans, 1958) et de floculants, notamment les argiles (Anderson, 1997). D'autres moyens de contrôle biologique basés sur la compétition par les bactéries et les autres dinoflagellés pour les sels nutritifs (Steidinger et Joyce, 1973) et l'utilisation de pathogènes (Bratback *et al.*, 1993) ont été suggérés.

Dans la mesure où les marées rouges provoqueraient des pertes significatives de cheptel dans les bassins à crevettes de Nouvelle-Calédonie, la stratégie la plus prometteuse serait d'entreprendre des tests de suspensions de différents types d'argile (Yu *et al.*, 1994), à différentes doses (Na *et al.*, 1996) et de vérifier leur toxicité (Lewis *et al.*, 2003) et celle de leur anticoagulant sur l'espèce *L. stylrostris* (Sun *et al.*, 2000).

## Sursaturation en oxygène

Des concentrations trop importantes de microalgues dans les bassins fortement eutrophisés peuvent conduire à des productions d'oxygène dissous considérables en fin d'après-midi avec des concentrations parfois supérieures à 20 mg/L. Des conditions d'hyper sursaturation sont susceptibles de provoquer la maladie appelée *gaz bubble disease*: les crevettes dont les branchies sont congestionnées par des bulles, flottent à la surface du bassin (Chien, 1992).

A ce jour, ce phénomène n'a jamais été observé dans les fermes de Nouvelle-Calédonie.

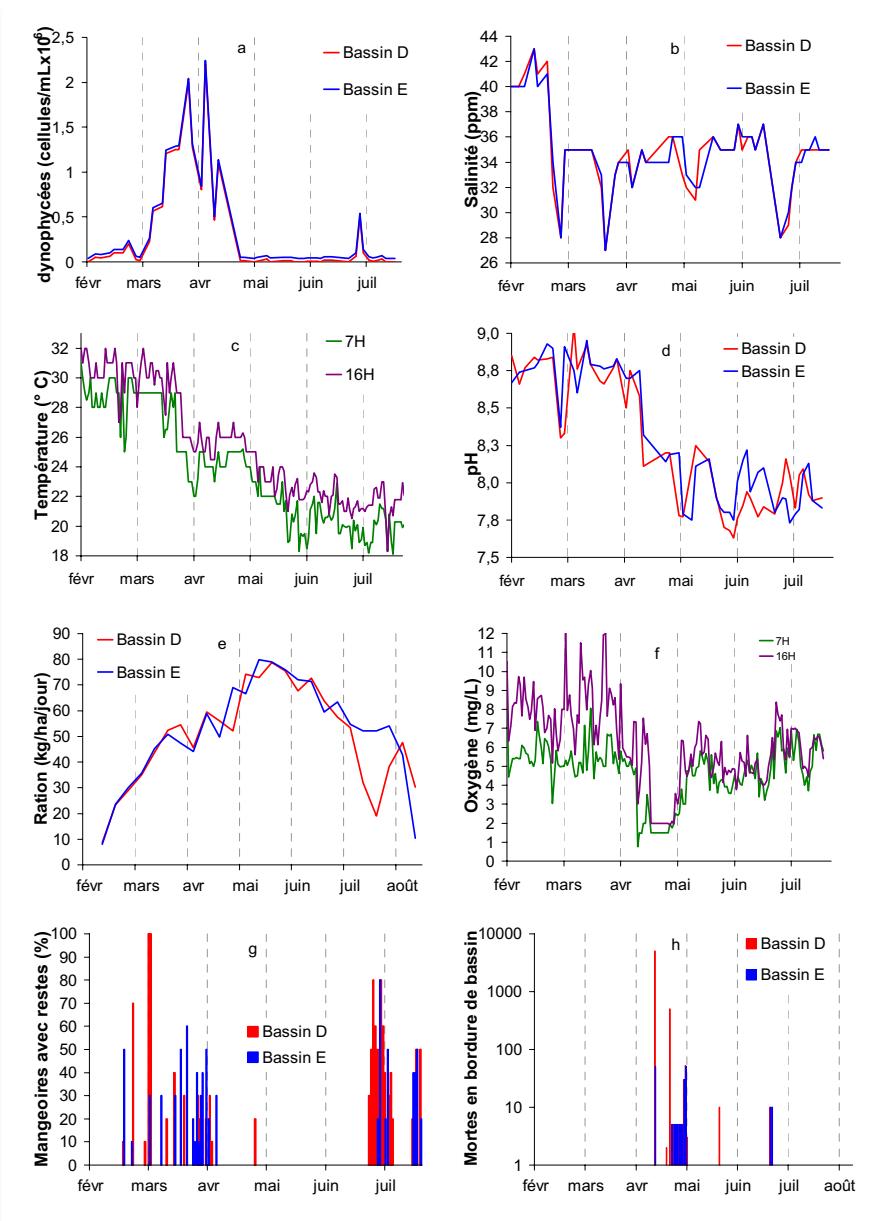


Figure 27 – Cas d'école de la genèse du développement de marées rouges dans des bassins d'élevage et conséquences sur le cheptel.

- a : évolution du bloom d'eaux rouges
- b : évolution de la salinité
- c : températures moyennes
- d : évolution du pH
- e : quantités d'aliment
- f : valeurs moyennes d'oxygène dissous
- g : sur nourrissage
- h : mortalités

(Source : suivi producteur, 2 bassins de 9 ha densité 22/m<sup>2</sup>, ensemencement de février 2004, survies finales 70 et 83 %)

## 2.7. Suivi de la mue

### 2.7.1. Rappel sur la définition de la mue

Le cycle de mue comprend toutes les étapes préparatoires au changement de carapace (ou cuticule), le rejet proprement dit (exuviation ou ecdisis) de l'ancienne carapace (l'exuvie) et les étapes post-exuviales. En fait, il n'y a pas d'interruption dans le cycle de la mue. Le changement de cuticule est un phénomène fugace de quelques minutes. Mais tout le corps de l'animal s'y prépare tout au long de l'intermue et ce dès la fin de la mue précédente. Une crevette subit le phénomène continuellement sauf à la fin de sa vie lorsqu'elle aura stoppé sa croissance.

Peu d'aspects de la physiologie de la crevette sont aussi importants que la mue. La mue est un phénomène qui conditionne et qui domine la croissance de ces animaux, conséquence de la présence d'un exo-squelette rigide. Le comportement, le métabolisme, la reproduction, la croissance, les défenses immunitaires de ce crustacé sont affectés directement ou indirectement par ce changement périodique de carapace.

### 2.7.2. Suivi et reconnaissance des stades de mue

#### Représentativité de l'échantillonnage

Bien que la mue soit synchrone sur l'ensemble d'un bassin, Perrier (1990) recommande d'échantillonner une centaine d'animaux répartis sur plusieurs zones d'un bassin (5 sur un 10 ha) en opérant à partir du bord car la capture à partir d'un bateau sans prendre de précautions particulières (voir plus loin la manière d'échantillonner un bassin) conduit à un nombre anormalement élevé de crevettes molles car moins actives. Il préconise deux échantillonnages par semaine en saison fraîche et trois en saison chaude.

#### Observation

Les stades de mues peuvent être observés au niveau des uropodes ou queue de la crevette (majorité des aquaculteurs de Nouvelle-Calédonie), de l'écailler antennaire située près de la tête (norme du DAC) ou des pattes nageuses ou pléopodes (Longmuir, 1983).

Lors de la genèse des soies, il existe un gradient de leur développement tout au long du bord des appendices choisis. Afin d'obtenir des résultats interprétables, il est nécessaire de toujours sélectionner un même endroit bien précis de l'appendice.

Pour les uropodes, la zone choisie se situe dans le tiers distal ([figure 28](#)). En cas d'appendice abîmé ou d'une lecture difficile, il ne faut pas hésiter à observer l'uropode opposé.

L'observation (20 à 30 secondes/animal) se fait à l'aide d'une loupe binoculaire (grossissement 500X) qu'il est fortement conseillé de parfaitement nettoyer après chaque utilisation à cause des éclaboussures d'eau de mer (*a fortiori* si les animaux sont vivants). La lecture se fait en plaquant fermement l'endopodite sur la platine et avec un réglage de lumière par-dessous.

En opérant rapidement, il est possible de maintenir les animaux en vie avant et après l'observation des stades et d'éviter de les sacrifier en les stockant dans une baie munie d'un diffuseur d'aquarium. Toutefois, l'observation d'animaux vivants est assez délicate.

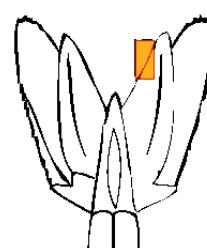


Figure 28 – Point de lecture des stades de mues.

Il n'est pas recommandé d'observer des animaux après congélation-décongélation car les stades sont moins reconnaissables.

L'appréciation de la dureté ou consistance de la crevette se fait au toucher par pression latérale au niveau du céphalothorax et apicale au niveau des deux premiers segments de l'abdomen. Ce critère, évalué selon les normes admises par la SOPAC (un des ateliers de traitement), ainsi que les stades sont répertoriés dans une fiche type (Tableau 24). On notera que le stade D est le plus détaillé en raison de son rôle majeur dans la programmation des pêches.

Tableau 24 - Fiche type de suivi des stades de mues et de la consistance de la carapace utilisée en Nouvelle-Calédonie.

	Date:	Bassin :			%
		"molles"	"carto"	"dures"	
stade a		2			2
stade b		2	12	18	28
stade c			3	15	16
stade d <sub>0-1</sub> : espace petit à moyen			1	32	29
stade d <sub>2-3</sub> : espace grand, rayons fantômes				27	24
stade d <sub>4-5</sub> : crénées ou rayons rouges				1	1
Totaux		4	16	93	113
%		4	14	82	100

Le tableau 25 récapitule la correspondance entre les stades, le test de pression, la dureté et l'aspect de la carapace.

Tableau 25 - Tableau descriptif des stades de mues chez *L. stylirostris* modifié d'après Perrier (1990) et CENAIM (2001) pour des animaux de 15-30 g élevés à 26-28 °C.

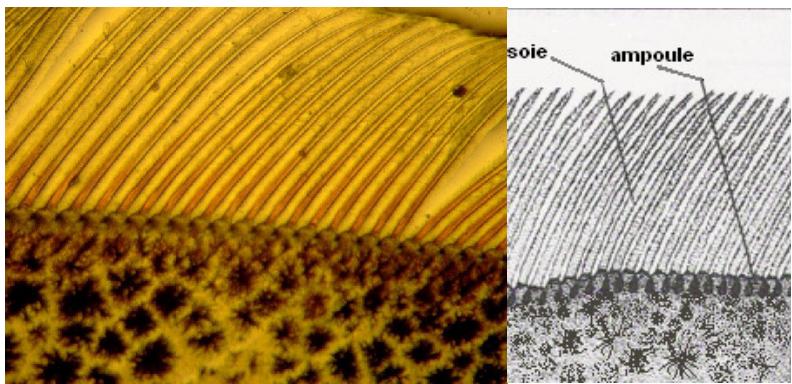
	Stade A	Stade B	Stade C	Stade D <sub>0-1</sub>	Stade D <sub>2-3</sub>	Stade D <sub>4-5</sub>	Stade E
	Postmues précoce	Postmues avancée	Intermue	Prémue précoce	Prémue avancée	Prémue terminale	Mue
Test pression carapace	Aucune résistance à l'enfoncement	Enfoncement assez facile avec « retour » souple	Enfoncement difficile	Enfoncement très difficile	Enfoncement très difficile	Enfoncement facile mais pas de « retour »	Aucune résistance à l'enfoncement
Dureté SOPAC	Molle	Carton/dure	Dure	Dure	Dure	Carton/molle	Molle
Aspect de la carapace	Lisse	Lisse et brillante	Lisse sans reflet	Lisse avec éventuellement début cicatrices	Défauts nombreux	Pattes orangées significatives, défauts max., dont algues filamenteuses	Lisse et gluante
Durée estimative (%)	4	15	22	55	4-8	Quelques minutes	

## Reconnaissance des principaux stades observés sur les uropodes

(Remerciements photos à A. Dupuy ferme FAO ; schémas redessinés d'après Roberston *et al.*, 1987)

### Stade A (Photo 13)

Stade immédiatement après la mue, les cellules pigmentées de la matrice remplissent complètement les nouvelles soies (de couleur rosée) du haut jusqu'à la base en forme d'ampoule.



### Stade B (Photo 14)

La matrice cellulaire s'est totalement rétractée des soies devenues transparentes. La majorité des chromatophores en étoiles noires de la matrice cellulaire a reculé pour atteindre la limite de la base des soies mais quelques extensions de ceux-ci se situent encore entre les ampoules.

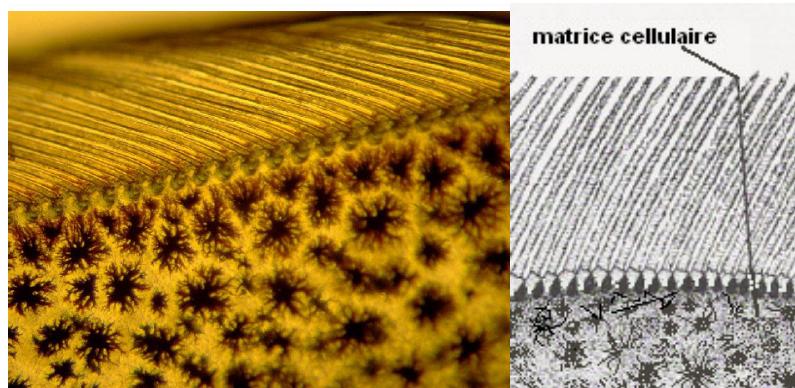


Photo 14 : stade B et schéma

### Stade C (Photo 15)

La pigmentation de la matrice définit une ligne blanche continue affleurant la base des soies.

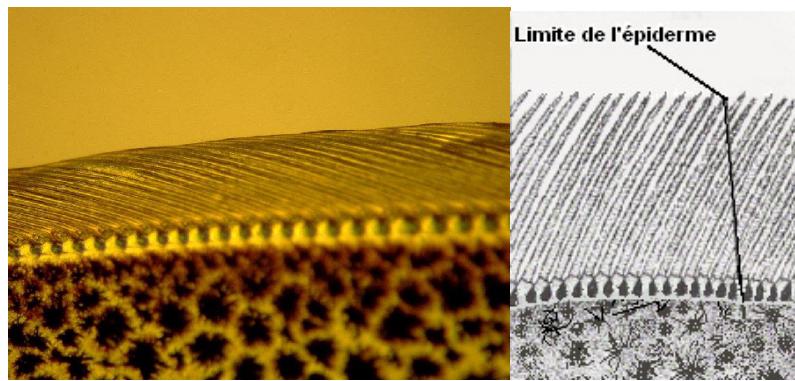
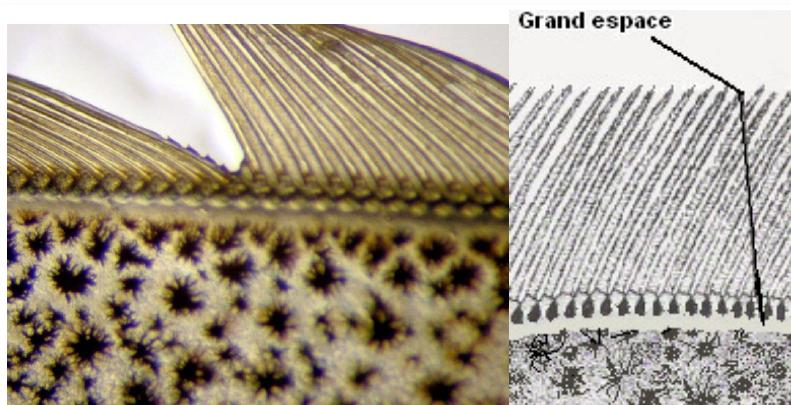


Photo 15 : stade C et schéma

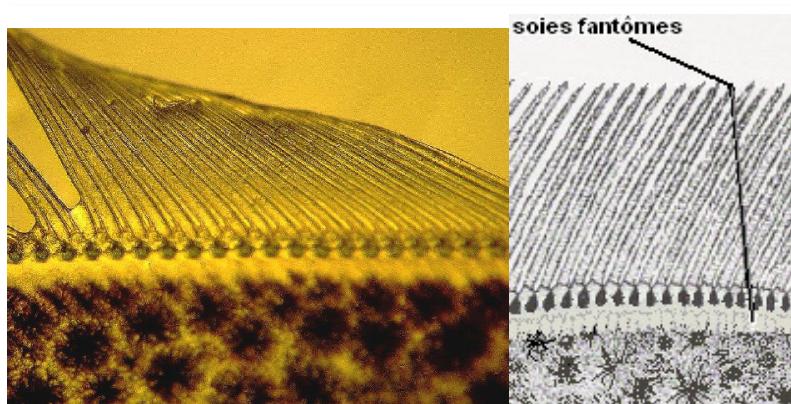
### Stade D 0 - 1 (Photo 16)

L'espace entre la base en ampoule des soies et la matrice à chromatophores s'agrandit progressivement mais reste vide.



### Stade D 2 - 3 (Photo 17)

L'espace commence à se réduire. On y distingue des fantômes des futures soies et/ou celles-ci forment des crénélures en bordure de la matrice.



### Stade D 4 - 5 (Photo 18)

Les nouvelles soies colorées en rouge se situent juste sous la base des anciennes ampoules.

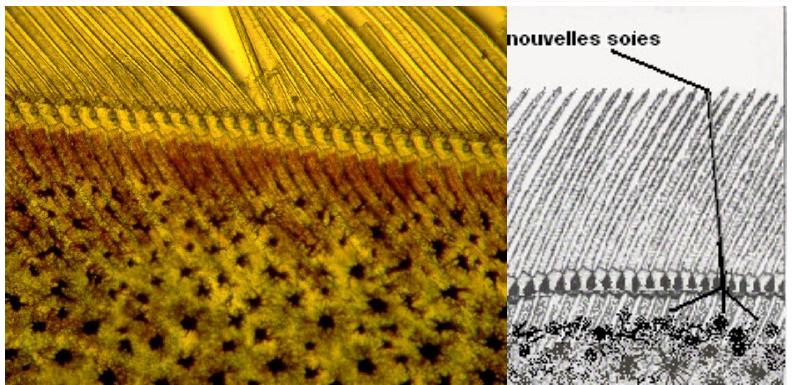


Photo 18 : stade D 4s et schéma

### 2.7.3. Intérêt zootechnique du suivi de la mue

L'acquaculteur doit savoir reconnaître les différents stades de mue de *L. stylomstris* et évaluer leur durée respective afin d'avoir une bonne idée du cycle de la mue en cours dans ses différents bassins. Les applications sont multiples.

#### **Diminution de la consommation de granulé**

L'animal cesse de s'alimenter un peu avant et au moment de la mue. Pouvoir anticiper ce phénomène permet à l'éleveur de redoubler d'attention sur l'observation des restes sur mangeoires à la période prévue et de réajuster à la baisse la ration. Outre l'économie importante d'aliment, en particulier lorsque les rations sont les plus importantes ( $\approx 1000$  kg/jour sur un bassin de 10 ha), ce comportement de vigilance permet d'épargner sur la qualité de l'espace-vie de la crevette démunie de carapace protectrice et se retrouvant confrontée aux relargages massifs de composés réduits toxiques provenant de la dégradation bactérienne des centaines de kg de granulés non consommés depuis plusieurs jours.

#### **Diminution de la concentration en oxygène dissous dans le bassin**

Il est établi depuis longtemps que la consommation d'oxygène des crevettes augmente juste avant que la mue ne se produise (Alcaraz et Sanda, 1981; Stern et Cohen, 1982).

Perrier (1990) a montré dans les élevages de Nouvelle-Calédonie que le phénomène de mue était synchrone dans un bassin. De sorte qu'à certaines périodes appelées *quiebras* dans les élevages de l'espèce voisine *L. vannamei* (Echeverria *et al.*, 2001) en Amérique latine, des mues massives peuvent se produire et conduire à des niveaux d'oxygène délétères de l'ordre de 0,5 - 0,7 mg/L. Pouvoir prédire la mue permet à l'éleveur de prendre toutes les précautions quant au renouvellement massif à effectuer (changement de maille des grillages des filtres par exemple) ou à la mise en marche des aérateurs.

#### **Cycles de la mue et mortalités à vibrioses**

Il a été noté très tôt dans l'histoire de la crevetticulture qu'un des premiers signes d'une détérioration de la qualité de l'eau du bassin était la mort des crevettes en mue (Wickins, 1976).

Les crustacés en général sont moins résistants et/ou plus sensibles aux pathogènes un peu avant et au moment de la mue. Avant, parce que l'animal qui se retrouve avec une double carapace, une vieille en surface et une deuxième

neuve en profondeur, ensemble devenu très hermétique à tous les échanges ioniques et d'oxygène, est affaibli. Au moment de la perte de la carapace, qui constitue la première barrière de défense aux microbes, le crustacé est totalement vulnérable.

La crevette *L. vannamei*, proche de l'espèce élevée en Nouvelle-Calédonie, est effectivement plus sensible aux infections par les pathogènes au stade précédent la mue que pendant la mue.

Cela a été montré pour les virus à la source du *White Spot Disease* (Echeverria *et al.*, 2001) et du *Taura syndrome* (Brock *et al.*, 1995). Cela est également vrai pour les vibrios, tel *V. alginolyticus* (Liu *et al.*, 2004).

Cette plus grande sensibilité au moment de la mue est largement confirmée dans les élevages de *L. stylostris* (Goarant com. pers.) où les pics de mortalités les plus sévères dans le cadre des syndromes 93 (mortalités exacerbées à vibrioses à l'entrée en saison fraîche) et d'été (mortalités exacerbées à vibrioses à l'entrée en saison chaude) se produisent à la mue.

Il est donc recommandé aux éleveurs de redoubler de prudence (niveau maximum d'excellence de tous les paramètres zootechniques) lorsque le moment de la mue se rapproche surtout dans les périodes à risque que sont les saisons intermédiaires (automne et printemps).

## Programmation des pêches

Savoir apprécier à quel stade de mue le cheptel se trouve est indispensable pour la programmation des pêches. En effet, le prix d'achat global de chaque récolte partielle ( $\approx 4\,000$  kg) par les ateliers de conditionnement dépend, outre le calibre, de la qualité du produit : consistance (molle, carton, dure), facilité de décorticage, intégrité des appendices (rostre et pattes) et défauts sur la carapace (*black spots*, cicatrices, présence d'algues filamenteuses sur les pattes, *etc.*).

### 2.7.4. Influence des paramètres environnementaux sur la mue

Les facteurs environnementaux tels que la température, la salinité, le pH et la photopériode influencent la croissance (Dall *et al.*, 1990). Mais, la fréquence à laquelle la crevette mue et l'augmentation de taille peuvent être influencées indépendamment par ces paramètres (Vijayan et Diwan, 1995).

Par ailleurs les conditions environnementales défavorables à travers les relargages de certaines substances toxiques telles que l'ammoniac NH<sub>3</sub> (Allan *et al.*, 1990) ou la synergie de facteurs déstabilisants (teneurs critiques en O<sub>2</sub>, et NH<sub>3</sub>; Mugnier et Justou, 2004a ; Mugnier et Soyez, 2005) en particulier au niveau de l'interface-eau-sédiment peuvent également affecter le cycle de mue et/ou la croissance.

## Zone et comportement de la crevette à la mue

Selon Villalon (1991), *L. vannamei* choisit les parties les plus profondes du bassin pour muer et s'y enterrer juste après la mue. Ces endroits correspondent souvent aux zones d'accumulation de matière organique en phase de décomposition anaérobique. De sorte que l'animal fragilisé par la mue peut être exposé à des métabolites hautement toxiques en particulier les sulfures H<sub>2</sub>S, voire du méthane CH<sub>4</sub>, comme le laissent supposer les niveaux de potentiel Redox mesurés dans ces milieux (-75 mv en valeur corrigée).

A certaines périodes (phases de quartiers de lune), l'ecdysis est signalée par un voile de filaments gluants marron emprisonnant des bulles d'air ainsi que des fragments de mue qui s'accumule dans un angle du bassin (Photo 19).



Photo 19 – Filaments marron caractéristiques de la mue (© J. Fournier).

### Effet des faibles teneurs en oxygène

Il a été montré qu'une crevette (*P. semisulcatus*) exposée pendant plus de deux semaines à de faibles taux d'oxygène ( $\approx 2 \text{ mg/L}$ ) ne muait plus (Clark, 1986). Cette réponse varie également en fonction de la combinaison température-oxygène dissous (Mugnier et Soyez, 2005).

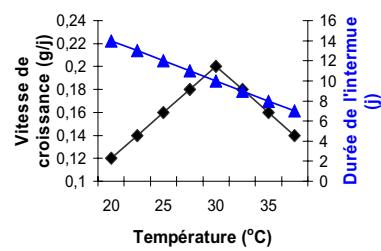
C'est ce que semblent confirmer les observations de crevettes bloquées en pré-mue rapportées dans les élevages de Nouvelle-Calédonie où les conditions environnementales sont extrêmes : oxygène  $<2 \text{ mg/L}$ , charges  $>300 \text{ g/m}^2$ , forte turbidité minérale, lessivage intense du bassin pour compenser l'absence d'aérateur.

### Effet de la température, de la salinité, du pH et de la photopériode sur la mue et la croissance

Les travaux de Vijayan et Diwan (1995) qui ont testé différents paramètres environnementaux et découpé le cycle de la mue de la croissance chez la crevette *P. indicus* sont révélateurs :

#### Température

La température est le facteur le plus important car elle contrôle directement la croissance et la mue.

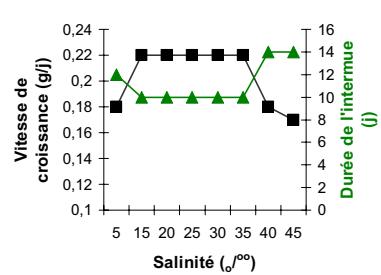


La fréquence de mue augmente linéairement (et la durée de l'intermue diminue) avec l'augmentation de la température, par exemple de 26 à 35 °C chez *P. indicus*. Mais la relation n'est plus linéaire pour la croissance.

Figure 29 – Graphique théorique sur l'effet différentiel de la température sur la durée de l'intermue et du taux de croissance résultant (données fictives).

La croissance maximale est obtenue vers 30 °C (figure 29).

#### Salinité



La relation cycle de mue-croissance varie avec la salinité. Bien que l'espèce tolère une large gamme de salinité, la meilleure croissance est obtenue pour une certaine plage de salinité optimale.

Figure 30 – Graphique théorique sur l'effet différentiel de la salinité sur la durée de l'intermue et du taux de croissance résultant (données fictives).

Chez *P. indicus*, la durée la plus courte de l'inter-mue et la plus forte croissance

résultante sont obtenues dans la même gamme de salinité jugée optimale de 15 – 25 %. La durée du cycle est prolongée et le gain de croissance plus faible à 5 % et entre 35 et 45 % (figure 30).

## pH

La corrélation cycle de mue-croissance est différente de celles observées pour la température et la salinité. Par ailleurs, dans la gamme testée (de 6 à 9), les animaux maintenus à pH 6 n'ont pas survécu.

La durée de l'inter-mue est minimale à pH 7 et augmente entre pH 8 et pH 9.

La croissance à pH 7 est moyenne, très forte à pH 8 et médiocre à pH 9.

## Photopériode

La photopériode (durée relative du jour et de la nuit) n'a aucun effet sur la croissance de *P. indicus* (Vijayan et Diwan, 1995), ni sur celle de *F. chinensis* (Wang et al., 2004).

La photopériode (par exemple nuit ou jour de 24 h vs. 12 h nuit/12 h jour) n'a aucune incidence sur le cycle de mue de *P. indicus* (Vijayan et Diwan, 1995). Par contre la durée de l'intermue est ralenti chez *F. chinensis* dans le cas de nuit ou jour de 24 h (Wang et al., 2004).

## Ammoniac

Les crevettes sont plus sensibles à l'ammoniac juste avant et juste après la mue (Waisbrot et al., 1990).

L'ammoniac accélère la fréquence de mue mais réduit la croissance résultante (Chen et Kou, 1991). Ainsi dans un bassin présentant d'importantes accumulations dont la dégradation anaérobie produit du NH<sub>3</sub>, le cheptel aura une croissance médiocre bien que présentant une période d'intermue anormalement courte (figure 31).

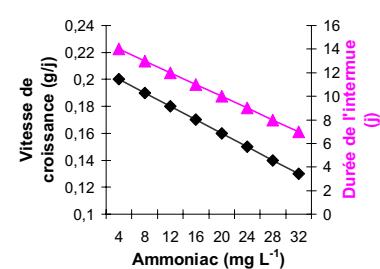


Figure 31 - Graphique théorique sur l'effet différentiel de l'ammoniac sur la durée de l'intermue et du taux de croissance résultant (données fictives).

## Facteur exogène : la lune ?

Dans une étude comparative de l'évolution des différents stades de mues observés au cours de plusieurs élevages synchrones sur différentes fermes de Nouvelle-Calédonie, Perrier (1990) conclut que quelle que soit la ferme, la surface des bassins et la taille des crevettes, la mue intervient à la même période (hormis dans les élevage géniteurs).

Par analogie avec le rôle joué par la phase lunaire (premier et dernier quartier) sur la mue du crabe de palétuviers *Scylla serrata*, il semblerait que certaines phases lunaires synchroniseraient la mue chez *L. stylirostris* dans les élevages de Nouvelle-Calédonie. Ce phénomène prend une telle ampleur qu'à certaines périodes tous les aquaculteurs qui disposent pourtant de crevettes de calibres variés (60-80 à 20-30) annulent leurs pêches obligeant l'atelier de traitement à réorganiser complètement son planning de traitement pour 3 à 4 jours (S. Daligault, STANC Koné ; com. pers.).

Le traitement des débarquements de crevettes de poids extrêmes allant de 18 à 42 g à l'atelier de conditionnement STANC de Koné (jusqu'à 4 livraisons quotidiennes de 4 tonnes), étayé des principales justifications des annulations, confirme que la mue de *L. stylirostris* dans les bassins d'élevage semi-intensifs et

intensifs de Nouvelle-Calédonie est concentrée autour des phases de quartiers de lune ([Tableau 26](#)).

Villalon (1991) et Molina *et al.*, (2000) associent également les phases lunaires à des périodes de mues massives chez *L. vannamei*.

Tableau 26 - Relation entre les phases lunaires et les annulations de pêches à la STANC (hors causes de pluies, pannes logistiques etc.) au cours de la principale campagne de pêche de l'année 2006.

(Sources : 310 livraisons représentant un total de 1314 tonnes de crevettes de 18 à 42 g du 02 janvier au 16 juillet 2006).

Phase lunaire	Pleine lune	Premier quartier	Lune noire	Second quartier
% Annulations des livraisons sur les trois jours précédents	35,7	14,7	32,5	8,8
% Annulations des livraisons sur les trois jours suivants	17,8	45,2	14,8	49,8

## 2.7.5. Compilations des données disponibles sur la durée de l'intermue de *L. stylirostris* en bassin d'élevage

Un abaque de la durée de l'intermue en fonction de la gamme des calibres commerciaux et de la température, incluant notamment la durée de la phase prémue terminale, n'ayant pas encore été établi, les données disponibles dans la littérature sont fournies dans le [tableau 27](#). La durée du cycle pour une crevette de calibre commercialisable est de l'ordre d'une dizaine de jours pour des récoltes de saison chaude et d'environ trois semaines pour des pêches en saison fraîche.

Tableau 27 – Durée du cycle de mue en fonction de la taille des crevettes et des températures (<sup>1</sup>Roberstson *et al.*, 1987 ; <sup>2</sup>Guilhard, 1989 ; <sup>3</sup> Perrier, 1990 ; <sup>4</sup> Denece et Della Patrona, non publié).

Conditions de saison chaude				Conditions de saison fraîche			
Poids (g)	Temp. Moyenne (°C)	Durée intermue (jour)	Références	Poids (g)	Temp. Moyenne (°C)	Durée intermue (jour)	Références
2,5	23	12	Réf. 1	13	20	22	Réf. 3
11	24	13	Réf. 4	15	21	18	Réf. 4
13	24	13	Réf. 3	20	20	20	Réf. 3
13	28	13	Réf. 3	27	20	21	Réf. 2
18	28	11	Réf. 2				
20	30	11	Réf. 3				

## 2.8. Black spots

### 2.8.1. Enjeu économique

La crevetticulture calédonienne repose sur l'accessibilité aux marchés niches haut de gamme. Cette recherche permanente de l'excellence à l'export se traduit par un tri manuel des crevettes extrêmement sélectif à l'atelier de conditionnement qui ne décerne la qualité *premium* qu'à environ 80% de la production (Andrier, 2004). Le déclassement en bas de gamme des 20% de la production est dû pour une part importante à la présence de nécroses sous la forme de cicatrices ou de *black spots* au niveau de la cuticule de la crevette. A l'échelle d'un bassin, le taux de *black spots* peut dépasser les 50% de la production totale (Sources GFA, 2004). Pour une ferme de production moyenne comprise entre 150-200 t, la perte de chiffre d'affaire atteint la dizaine de millions de F CFP (environ 100 000 €).

### 2.8.2. Définitions

#### Maladie du black spot

Il s'agit d'une maladie bactérienne non létale qui se traduit par des marques noires

(Photo 20) sur la cuticule des crustacés (Tlusty, 2005).

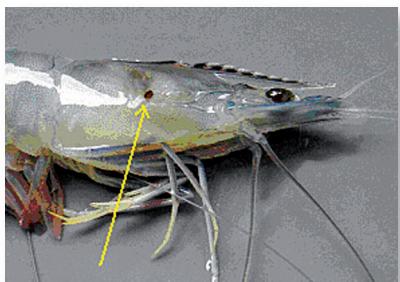


Photo 20 – Aspect d'un *black spot* sur le céphalothorax de *L. stylostris* (© L. Chlm).

internes. Toute blessure ou éraflure d'origine mécanique ou biologique peut affecter l'intégrité de l'épicuticule. D'autres voies d'entrée ont été identifiées telles que les pores des soies ou les canaux hypodermiques.

Cette maladie n'est pas propre à la crevetticulture calédonienne. Elle cause également un préjudice financier de plusieurs dizaines de millions de \$US à l'industrie nord américaine de la pêche du homard (Photo 21). La comparaison entre des conditions d'élevage semi-intensives de crevettes en milieu tropical et celles de pêche au casier de homard en eau froide peut sembler hasardeuse.

Toutefois, il semble intéressant de parler du *black spot* calédonien à la lumière des avancées de la recherche des trente dernières années (Anon., 2005) dans des disciplines aussi diverses que les données environnementales de pêches, la microbiologie et les réponses immunitaires des populations de homard affectées par une maladie très similaire.



Photo 21 –*Black spot* sur le homard *Homarus americanus* des eaux côtières du Massachusetts (Glenn et Pugh, 2005).

### 2.8.3. Facteurs favorisants les nécroses sur la carapace des crustacés

Les conclusions des différentes approches pluri-disciplinaires sur la problématique du *black spot* chez le homard corroborent que le phénomène est le résultat d'un déséquilibre entre l'hôte, le pathogène et les conditions environnementales (figure 32) :

- Hôte : état de santé, statut nutritionnel, qualité de la carapace ... ;
- Pathogènes : type(s), densité(s), pathogénicité(s) ... ;
- Environnement : température, communautés microbiennes, polluants, zones de pêches (Tlusty, 2005).
-

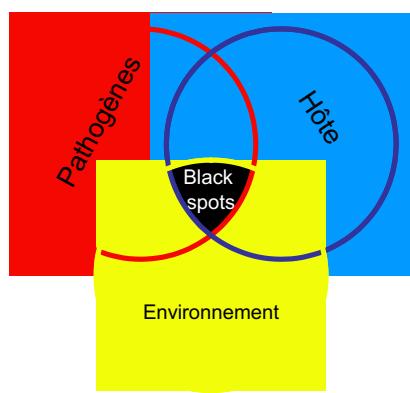


Figure 32 – Cercles de Snieszko (1973) repris par Tlusty (2005) montant l'interconnexion entre l'hôte, le pathogène et l'environnement sur l'apparition de la maladie du *black spot*.

Parmi les facteurs pouvant favoriser la formation du *black spot* chez les crustacés en général, Brock et Lightner (1990), Dyrinda (1998), Grabowski (2005) ainsi que Weber et Tlusty (2005) ont répertorié :

- des conditions prolongées d'anoxies qui favorisent entre autres l'agrégation des animaux ;
- l'exposition chronique et sévère à une forte concentration de bactéries hétérotrophes ;
- des fortes températures et/ou fortes charges en matière organique ;
- des polluants qui attaquent l'épicuticule en empêchant sa régénération en phase de postmue ou en altérant son intégrité pendant l'intermue.

## 2.8.4. Etat des connaissances du problème des *Black spots* en Nouvelle-Calédonie

### Approche à l'échelle globale

Dans l'état actuel des connaissances, il est difficile de confirmer ou non si les cicatrices et les nécroses de type *black spots* correspondent au même phénomène ou bien si les premières représentent la phase initiale du second.

*L. stylirostris* présente des nécroses de type *black spots* ou non, dans toutes les fermes de Nouvelle-Calédonie. Mais la sévérité de la maladie est variable d'une ferme à l'autre et ne dépend pas du type de ferme, intensive ou semi-intensive (Della Patrona *et al.*, 2001, 2004a) (Tableau 28).

Tableau 28 – Occurrence variable des *black spots* (BS) sur les fermes de Nouvelle-Calédonie.  
(Source : données 2002 SOPAC).

	Fermes semi-intensives 2,5 - 4,5 tonnes/ha/an							Fermes intensives 3,0 - 6,5 tonnes/ha/an			
	Surface (ha)	12,1	50,9	18	130	15,5	11	55	40	80	29
Nombre de bassins	1	7	2	15	2	1	7	11	21	8	10
BS (%)	14,3	21,5	12,8	8,7	18,5	5,6	15,2	12,4	17,8	10,6	5,6

L'hypothèse souvent formulée par les crevetticulteurs selon laquelle le phénomène serait plus important dans les fermes de la Province Nord et s'étendrait progressivement à l'ensemble de la filière, est peu vraisemblable. Les Flavobacteriacées qui sont les plus fréquemment associées aux lésions de type *black spots* (Chistoserdov et Gubbala, 2005) de même que la plupart des autres bactéries

présentes sporadiquement (Sullivan et Nelson, 2005) sont des organismes ubiquistes du milieu marin et sont donc susceptibles d'affecter tous les élevages de Calédonie.

Les relations de cause à effet entre la multiplication des lésions, voies d'entrée des bactéries, et les concentrations élevées de tests de balanes peuplant le fond et les digues des bassins, (sources potentielles d'éraflures), le nombre de distributions journalières (pales d'hélices coupantes), l'importance de la prédatation aviaire (coups de bec des cormorans), la faible profondeur, sont différentes d'une ferme à l'autre.

Il existe une très bonne corrélation entre la biomasse au moment de la pêche et l'occurrence des nécroses chez les fermes les plus gravement confrontées au problème. La relation n'est pas aussi nette sur celles qui sont peu affectées, soit moins de 5 % en moyenne (Della Patrona *et al.*, 2006). Le rapprochement entre le taux de *black spots* des crevettes établi par les trieuses de la SOPAC à chaque livraison et la biomasse qu'il y avait ponctuellement au moment de la pêche correspondante dans le bassin, indique que jusqu'à 250 g/m<sup>2</sup> de biomasse le pourcentage moyen de nécroses ne dépasse pas 10 % tandis qu'il augmente fortement de 25 à 40 % au-delà de 300 g/m<sup>2</sup> et plus (figure 33).

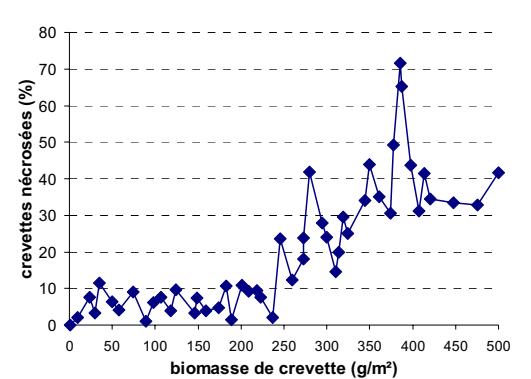


Figure 33 – Relation entre le % de crevettes présentant des *black spots* et la biomasse au moment de la récolte.  
(Sources : 361 livraisons de quatre tonnes à la SOPAC en 2002 provenant des fermes les plus touchées)

## Approche au niveau d'une ferme

Il est suggéré, par quelques chefs d'exploitation, que certains bassins sont plus propices que d'autres au développement des nécroses.

## Vérification empirique à partir des données fermes

Tableau 29 – Occurrence variable des *black spots* (BS) au niveau d'une ferme semi-intensive de 50 h.

Bassin	Surface (ha)	Ensemencement	Densité (nb/m <sup>2</sup> )	Durée (jour)	Survie finale (%)	Charge maxi. (g/m <sup>2</sup> )	I. conversion	% BS
A	10,1	17-déc-03	21	219	84	350	1,95	8
B	10,9	16-jan-04	21	196	62	300	1,97	19
C	10,5	13-jan-04	21	225	9	80	3,32	39
D	9,5	12-févr-04	21	197	73	353	2,05	24
E	9,7	13-févr-04	21	192	85	354	1,78	28

Le tableau 29 confirme cette assertion, à savoir que sur un même site, des bassins mitoyens, alimentés par la même eau de pompage, ensemencés à la même période (saison chaude), à la même densité, nourris sur le même aliment et gérés de manière rigoureusement identique (un des auteurs) peuvent présenter des taux de nécroses très différents.

## Vérification expérimentale

L'expérience a été menée dans deux bassins de 4 ha (A et B) présentant des taux de *black spots* significativement différents ( $A > B$ ), d'une ferme intensive fortement touchée par le phénomène. Deux cents crevettes de 13 g de poids moyen ont été capturées dans un troisième bassin C. Les animaux ont été placés dans huit cages de 3 m<sup>3</sup> disposées dans A et B. Au bout de 21 jours d'élevage, la survie, le poids des individus et le nombre de *black spots*/animal ont été analysés. Une très bonne survie moyenne de 71 % et une excellente croissance moyenne de 0,23 g/j ont été obtenues pour l'ensemble des cages et aucune différence significative ne fut notée entre les lots de cages disposées dans A et B pour ces deux variables. La figure 34 montre les nombres moyens de *black spots* comptés sur chaque animal au début et à la fin de l'expérience.

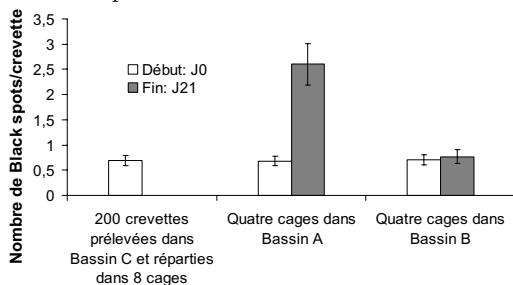


Figure 34 – Evolution du nombre de *black spots* par crevette en fonction du milieu.

Après seulement trois semaines, le nombre de *black spots* augmente de près de 300 % (0,68 à 2,60 BS/crevette) dans le bassin A tandis que l'augmentation n'est que de 10 % (0,71 à 0,77 BS/crevette) dans le bassin B.

L'analyse biogéochimique du sédiment de chaque bassin indique que le bassin A se différencie du bassin B par des teneurs plus élevées en argiles (51% vs. 34%), Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> de même qu'un rapport carbone-azote plus grand (14,6 vs. 9,27) et un pH plus alcalin. Le sédiment du bassin B est beaucoup plus riche en phosphore assimilable P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et en méiofaune, dont les biomasses sont de 5 à 15 fois plus fortes suivants les groupes.

Cette expérimentation permet de mettre en avant l'importance des conditions environnementales à l'échelle d'un bassin. Elle vient étayer l'une des hypothèses avancée précédemment sur le homard, que des différences de qualité nutritionnelle du milieu peuvent influer sur la prolifération du phénomène *black spots* dans les bassins d'élevage de crevettes (Della Patrona *et al.*, 2006).

### 2.8.5. Parades zootechniques

Actuellement, les crevetticulteurs calédoniens emploient deux parades zootechniques pour lutter contre les *black spots*.

#### Faire peau neuve

La première consiste à faire coïncider la pêche avec la post-mue, c'est-à-dire au stade B avancé quand les animaux se sont débarrassés de leur ancienne cuticule et ont commencé à reduire leur carapace. Cette méthode permet d'éliminer une bonne partie des nécroses, sauf les plus profondes. Elle est contraignante car elle réduit encore la fenêtre des jours de pêche déjà limitée par la recherche de la phase du cycle de mue pendant laquelle la carapace est la plus dure.

#### Amendement calcaire

La seconde consiste à amender le sédiment par un apport de chaux agricole entre deux élevages durant l'assèc. Mais son efficacité n'a jamais été prouvée. Toutefois, cette pratique empirique pourrait trouver sa justification scientifique dans les travaux

de Dove *et al.*, (2004) sur la calcinose et de Tarsitano (2005) qui suggèrent que la maladie du *black spot* est liée à un dysfonctionnement de l'enzyme anhydrase carbonique responsable de la calcification de trois des quatre couches (epi-exo-endocuticules) formant la carapace.

## Santé-nutrition

Il a été montré qu'il existait une très forte corrélation entre certains dysfonctionnements nutritionnels et métaboliques, l'état de santé et l'émergence des nécroses chez le homard (Anonyme, 2005). Un mauvais état de santé, apprécié par les teneurs en protéines, glucose et phosphore de l'hémolymphe, indicateurs physiologiques utilisés également chez *L. stylorostis* (Mugnier et Justou, 2004b), caractérise le plus souvent les homards infectés par les *black spots* (Prince et Bayer, 2005). Une alimentation inappropriée influence négativement la formation de la cuticule des crustacés (Sinderman, 1991 ; Grabowski, 1995). Si des nutriments tels que l'astaxanthine, les protéines et le calcium, qui jouent un rôle déterminant dans la formation et la résistance de la carapace, ne sont pas apportés à bon escient, le développement des nécroses s'en trouve favorisé (Smolovitz *et al.*, 2005). Empiriquement, en donnant de la nourriture fraîche (Fisher *et al.*, 1978) et expérimentalement, à l'aide d'un granulé enrichi en protéines et lipides (Prince et Bayer, 2005), il est possible de réduire l'intensité du *black spot* chez des homards élevés en milieu confiné.

De sorte que toutes les pratiques zootechniques qui favorisent le développement d'une production naturelle abondante et diversifiée d'une part et améliorent les conditions de l'espace-vie de la crevette d'autre part, sont vivement recommandées.

## Antibiotiques

La solution qui consiste à incorporer des antibiotiques dans l'aliment a été testée par certains auteurs (Bayer *et al.*, 2000 ; Jayasree *et al.*, 1999) et a démontré une certaine efficacité. Elle est toutefois totalement proscrite en Nouvelle-Calédonie.

### 2.8.6. Suivi en cours d'élevage

A l'heure actuelle, la plupart des aquaculteurs ne suivent l'évolution du phénomène qu'à partir du démarrage de la campagne de pêches (environ une dizaine par bassin). Une majorité d'entre eux comptabilise le nombre d'animaux affectés lors d'échantillonnages bihebdomadaires et le corrèle au pourcentage de déclassement fourni en retour par l'atelier de conditionnement.

Un suivi plus précis qui consisterait à compter le nombre de *black spots* par animal sur une trentaine d'individus lors des échantillonnages traditionnels hebdomadaires dès le démarrage de l'élevage apporterait des informations essentielles sur l'évolution de la maladie au cours des élevages. En comparant ses bassins et en hiérarchisant certains facteurs supposés aggravants (biomasse, stade de mue, sous ou sur nourrissage, température, type de fonds, etc.) l'éleveur pourrait se faire une meilleure idée des causes possibles d'exacerbation des nécroses dans son écosystème.

## 3. Paramètres secondaires à suivre en cours d'élevage

### 3.1. Les concentrations en métabolites toxiques et autres sels nutritifs

Le dioxyde de carbone CO<sub>2</sub> (dans une certaine mesure), l'ammoniac NH<sub>3</sub>, les nitrites NO<sub>2</sub><sup>-</sup> et les sulfures H<sub>2</sub>S sont les plus communs des métabolites toxiques produits dans les bassins de crevettes (Boyd, 1992a).

Le dioxyde de carbone provient de la respiration de tous les organismes aérobies, plantes et animaux. Des concentrations inférieures à 20 mg/L ne sont probablement pas dangereuses pour *L. stylirostris* (Boyd, 1992b).

L'ammoniac provient pour une part de l'excrétion de la crevette. Il est aussi obtenu par la dégradation de la matière organique. La forme non ionisée NH<sub>3</sub> est la plus毒ique (>>>NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Des concentrations supérieures à 1 mg/L sont potentiellement létale. Des teneurs supérieures à 0,1 mg/L affectent la croissance (Boyd, 1992b). L'ammoniac n'est généralement pas une source potentielle de problèmes tant que le pH ne dépasse pas 8,5 ou plus.

Les nitrites et les sulfures sont essentiellement produits par les bactéries lorsque les concentrations en oxygène dissous sont très basses. Ces métabolites toxiques augmentent avec les densités d'élevages et les rations de granulés fournies. Dans les conditions d'élevage extensives et semi-intensives, les concentrations demeurent en deçà des seuils de tolérance des crevettes et sont rarement à l'origine de problèmes. Les sulfures sont extrêmement toxiques pour la crevette. Il faut prévoir leur éventuelle toxicité lorsque des pH inférieurs à 7 sont rencontrés. La moindre teneur détectée signifiera qu'un ralentissement de croissance est à venir. Les concentrations en nitrites atteignent rarement des valeurs létale dans les élevages. Toutefois, des blocages de croissance peuvent intervenir autour de 4 à 5 mg/L (Boyd, 1992b).

Les dosages des nitrates, du phosphore, de l'urée et de silicates sont utiles lorsqu'un programme précis de fertilisation est appliqué avec réajustements d'engrais adéquats en fonction des concentrations de chlorophylle à souhaitées (Herblan, 2007) et/ou dans le cadre d'application de certains probiotiques (Moriarty, com. pers.). Les gammes optimales préconisées par Clifford (1997) sont respectivement de 0,6 - 1,2 mg/L, de 0,2 - 0,5 mg/L et 1,0 - 4,0 mg/L pour les nitrates, les phosphates et les silicates.

Le potassium est un élément clé pour la croissance des plantes. Mais la croissance du phytoplancton n'est pas limitée tant que les teneurs restent supérieures à 1 - 2 mg/L (Boyd, 2000c). Il faut rappeler que la concentration moyenne de cet élément dans l'eau de mer est de 380 mg/L. Son emploi comme fertilisant et donc sa mesure dans l'eau ne sont pas nécessaires.

L'analyse de ces paramètres nécessite l'achat d'un photomètre portable de l'ordre de 130 000 F CFP et de réactifs en pastilles prédosées ou en kit liquide de 2 000 à 5 000 F CFP les 100 analyses.

Les données d'ammoniac et de sulfures ne peuvent être interprétées qu'à la lumière des valeurs du pH de l'eau, voire de la salinité. En effet, les méthodes d'analyse de l'eau par kits indiquent des concentrations totales (forme ionisée + non-ionisée). Il faut rappeler que la proportion de la forme toxique non-ionisée de l'ammoniac augmente avec l'élévation du pH tandis que celle de l'hydrogène sulfuré augmente avec la diminution du pH (Tableau 30).

Tableau 30 – Concentration d'azote ammoniacal total (mg/L) qui correspond à la teneur de 0,1 mg/L (impact sur croissance de la crevette d'après Boyd (1992b)) de la forme toxique non ionisée NH<sub>3</sub> dans l'eau à la pression constante de 1 atmosphère à différentes valeurs de température, salinité et pH (d'après Wickins, 1976).

La proportion de la forme non ionisée NH<sub>3</sub> toxique dans l'azote ammoniacal total mesuré dans l'eau varie fortement en fonction du pH, de la salinité et de la température. Les teneurs en azote ammoniacal total mesurées par les kits sont trompeuses. De faibles valeurs d'azote ammoniacal total ne signifient pas qu'il y a peu d'ammoniac NH<sub>3</sub> toxique dans l'eau. Ainsi la valeur de 0,8 mg/L de TAN (Total Ammonia Nitrogen) donné par un kit correspond au seuil toxique de 0,1 mg de NH<sub>3</sub> pour un pH de 8,4, une salinité de 33‰ et une T°C de 28°C. Une teneur aussi forte que 49,4 mg/L de TAN équivaut à la même proportion de 0,1 mg/L de NH<sub>3</sub> mais pour un pH de 6,8, une salinité de 30‰ et une T°C de 20°C.

Salinité	0‰		24‰		27‰		30‰		33‰	
	20°C	28°C	20°C	28°C	20°C	28°C	20°C	28°C	20°C	28°C
pH	Concentration de l'azote total ammoniacal (mg/L)									
6,8	40,4	22,3	47,4	26,1	48,4	26,7	49,4	27,2	50,4	27,8
7,0	25,5	14,1	29,9	16,5	30,6	16,9	31,2	17,2	31,8	17,6
7,2	16,2	8,9	18,9	10,5	19,3	10,7	19,7	10,9	20,1	11,1
7,4	10,2	5,7	12	6,6	12,2	6,8	12,5	6,9	12,7	7,1
7,6	6,5	3,6	7,6	4,2	7,8	4,3	7,9	4,4	8,1	4,5
7,8	4,1	2,3	4,8	2,7	4,9	2,8	5	2,8	5,1	2,9
8,0	2,6	1,5	3,1	1,7	3,2	1,8	3,2	1,8	3,3	1,9
8,2	1,7	1	2	1,1	2	1,2	2,1	1,2	2,1	1,2
8,4	1,1	0,7	1,3	0,8	1,3	0,8	1,3	0,8	1,4	0,8

## 3.2. L'alcalinité

(D'après le protocole de Strickland et Parsons, 1972, adapté par A. Herblant, Ifremer-DAC)

### Définition et intérêt de la mesure

L'alcalinité totale est le nombre de milliéquivalents d'ions H<sup>+</sup> qui sont neutralisés par 1 kg d'eau de mer quand un grand excès d'acide est ajouté. C'est la concentration totale des bases titrables dans l'eau : bicarbonate, carbonate, ammonium, hydroxyde, phosphate, silicate et quelques composés organiques, autrement dit tout ce qui peut réagir pour neutraliser les ions H<sup>+</sup>. Toutes ces substances sont des bases et contribuent à l'alcalinité totale.

En pratique l'alcalinité totale provient surtout des ions carbonate, bicarbonate, borate et hydroxyde, et dans le sens négatif d'H<sup>+</sup>; ce qui peut s'écrire (si [ ] représente la concentration en millimoles par litre) :

$$\text{Alcalinité Totale} = [\text{HCO}_3]^1 + 2[\text{CO}_3]^2 + [\text{H}_2\text{BO}_3]^1 + [\text{OH}]^1 - [\text{H}]^+$$

Une forte réserve alcaline est donc un rempart contre une acidification du milieu, résultat de la respiration de tous les organismes présents dans le bassin.

### Principe de la mesure

Un échantillon d'eau de mer (100 ml) est mélangé à 25 ml d'HCl 0,01 N. Le pH résultant est mesuré. L'acide en excès est calculé à partir de ce pH et d'un facteur empirique que l'on trouve dans les tables suivantes (Tableau 31).

Cet excès d'acide est ensuite soustrait de 2,50 milliéquivalents par litre (la quantité initialement ajoutée par 25 ml d'HCl 0,01N). L'alcalinité totale de l'échantillon est ainsi évaluée.

Tableau 31 – Tables de conversion pH-activité ion hydrogène et du facteur de calcul pour la mesure de l'alcalinité (Strickland et Parsons, 1972).

Conversion du pH en activité de l'ion Hydrogène à partir de la relation  $a_H = 10^{-pH}$ .

Pour un pH de Q + v (où v est la partie décimale), trouver N dans la table en fonction de v et substituer dans l'équation :  $a_H = N \times 10^Q$

v	N	v	N	v	N
0,00	1,000	0,34	0,457	0,67	0,214
0,01	0,977	0,35	0,447	0,68	0,209
0,02	0,955	0,36	0,437	0,69	0,204
0,03	0,933	0,37	0,427	0,70	0,200
0,04	0,912	0,38	0,417	0,71	0,195
0,05	0,891	0,39	0,407	0,72	0,191
0,06	0,871	0,40	0,398	0,73	0,186
0,07	0,851	0,41	0,389	0,74	0,182
0,08	0,832	0,42	0,380	0,75	0,178
0,09	0,813	0,43	0,372	0,76	0,174
0,10	0,794	0,44	0,363	0,77	0,170
0,11	0,776	0,45	0,355	0,78	0,166
0,12	0,759	0,46	0,347	0,79	0,162
0,13	0,741	0,47	0,339	0,80	0,158
0,14	0,725	0,48	0,331	0,81	0,155
0,15	0,709	0,49	0,324	0,82	0,151
0,16	0,692	0,50	0,316	0,83	0,148
0,17	0,676	0,51	0,309	0,84	0,144
0,18	0,661	0,52	0,302	0,85	0,141
0,19	0,646	0,53	0,295	0,86	0,138
0,20	0,631	0,54	0,288	0,87	0,135
0,21	0,617	0,55	0,282	0,88	0,132
0,22	0,603	0,56	0,275	0,89	0,129
0,23	0,589	0,57	0,269	0,90	0,126
0,24	0,575	0,58	0,263	0,91	0,123
0,25	0,562	0,59	0,257	0,92	0,120
0,26	0,549	0,60	0,251	0,93	0,117
0,27	0,537	0,61	0,245	0,94	0,115
0,28	0,525	0,62	0,240	0,95	0,112
0,29	0,513	0,63	0,234	0,96	0,110
0,30	0,501	0,64	0,229	0,97	0,107
0,31	0,490	0,65	0,224	0,98	0,105
0,32	0,479	0,66	0,219	0,99	0,102
0,33	0,468				

L'influence de la salinité (S‰) et de la chlorinité (Cl‰) sur l'alcalinité totale est prise en compte par le facteur f dans l'équation :  $\text{alcalinité totale} = 2,50 - 1250 \text{ a}_H / f$

Gammes de pH	$\text{Cl}\% = 2$ $\text{S}\% = 3,5$	4	6	8	10	12 - 18	20
		f	f	f	f	f	f
2,8 - 2,9	0,865	0,800	0,785	0,775	0,770	0,768	0,773
3,0 - 3,9	0,845	0,782	0,770	0,760	0,755	0,753	0,758
4,0	0,890	0,822	0,810	0,800	0,795	0,793	0,798

## Equipement spécial

Un pH mètre avec une gamme de 0 à 11, des électrodes de verre et des *saturated calomel half-cell electrodes* et des flacons à large ouverture en polyéthylène (ou en polycarbonate), un par échantillon.

## Echantillonnage et stockage des échantillons

Les flacons devront être bien propres, rincés énergiquement à l'eau distillée avant d'être séchés.

Après échantillonnage, si la mesure n'est pas immédiate, éviter l'évaporation en fermant bien le flacon ; de même, si la mesure est différée, il est recommandé de mettre les 25 ml d'HCl 0,01N avant l'échantillon et de faire la lecture dans la journée (ceci afin d'éviter l'activité des bactéries qui respirent).

## Normes préconisées

Sur la base d'observations de terrain, Boyd (1992a et b) indique que des valeurs d'alcalinité totale de l'eau d'élevage inférieures à 50 mg/L peuvent être préjudiciables à une bonne croissance des crevettes. Des valeurs basses d'alcalinité exercent le même type de stress sur la crevette que le font de faibles valeurs de pH. Elles peuvent exacerber les problèmes de *soft-shell* (Clifford, 1997). Boyd (2000a et b) recommande de se maintenir au dessus de 70 - 80 mg/l et considère la gamme 100 - 120 g/L comme optimale.

Généralement, l'eau des bassins présente une alcalinité totale comprise entre 50 et 150 mg/L. Un tel milieu est suffisamment tamponné pour amortir les fluctuations de pH et même lorsque l'alcalinité est neutralisée par l'acidité du bassin, l'alcalinité est remise à niveau par l'eau du renouvellement (Boyd, 1992b).

Boyd et Tucker (1998) recommandent vivement de ne pas effectuer d'amendement calcique en cours d'élevage à moins que l'alcalinité ne chute en dessous de 40 à 50 mg/L.

Certains types de sites (sols acides, dépourvus de carbonates) mais qui ne sont pas utilisés en Nouvelle-Calédonie, peuvent générer des alcalinités de moins de 20 mg/L dans l'eau des bassins qui y ont été édifiés. De tels environnements nécessitent un chaulage important de l'ordre de 1 000 à 2 000 kg à l'hectare (Silapajarn *et al.*, 2005). La nature de l'amendement calcique (carbonate de calcium) ou dolomitique (carbonate de calcium et magnésium) ne revêt aucune importance. Du fait de leur faible solubilité, il est nécessaire de rechercher les granulométries les plus faibles (matériau pulvérisé) (Boyd, 2000b).

## 3.3. Le zooplancton

### Définition

Le zooplancton comprend les animaux du plancton, c'est-à-dire les animaux qui sont transportés au gré des courants. Il comprend des animaux adultes de très petite

taille (copépodes) et les larves d'animaux de plus grande taille qui eux, ne vivent pas dans le plancton (par exemple les juvéniles des crabes). Certaines espèces de zooplancton mangent du phytoplancton, ce sont des herbivores, d'autres mangent de très petits animaux, ce sont des carnivores.

## **Etat des connaissances sur la composition et l'évolution du zooplancton dans les bassins de Nouvelle-Calédonie**

La composition, l'abondance et les successions du zooplancton et du phytoplancton ont été suivies dans les élevages de la crevette *L. stylirostris* soumis à différents régimes saisonniers en Nouvelle-Calédonie. La température jouerait un rôle direct majeur sur les communautés zooplanctoniques en particulier au moment de ses fortes variations aux intersaisons. L'isotherme 22°C constituerait une limite inférieure pour les copépodes cyclopoides.

La fertilisation minérale utilisée, la qualité d'eau de pompage et la gestion zootechnique favoriseraient les microcyanophycées dans les bassins de terre. De sorte que l'ajout régulier d'un mélange azote/phosphore conduirait à un développement sélectif des rotifères *Brachionus spp.* et des cirripèdes *Balanus spp.* qui consomment préférentiellement ces algues.

La biomasse des copépodes évoluerait en fonction des quantités de granulé distribuées. Le taux de nutrition des crevettes poïkilothermes fluctue avec la température qui influencerait donc en retour de manière indirecte l'abondance de ces zooplankton.

Un intense broutage exercé par les rotifères peut dans certaines circonstances expliquer à lui seul une chute d'algue dans un bassin. Lors d'un tel épisode, le bloom de *Brachionus spp.* détermine certains paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau (pH, turbidité, oxygène dissous, production primaire). Après avoir éliminé leur unique ressource alimentaire, les rotifères non consommés par le cheptel, aboutissent sur le sédiment dont ils influencent les conditions trophiques.

Le zooplancton n'est qu'une source directe négligeable dans l'alimentation de la crevette *L. stylirostris*. Cette espèce préfère la méiofaune enrichie par les pluies de cadavres d'organismes planctoniques qui participent alors en tant que détritus au bol alimentaire (Della Patrona *et al.*, com.pers).

## **Intérêt du suivi**

L'intérêt de mesurer le zooplancton est multiple. Le suivi permet de mieux comprendre les évolutions du phytoplancton et notamment les chutes de blooms par prédation (voir exemple ci-dessus). Il permet d'anticiper les élévations de Demande Biologique en Oxygène (DBO) du sédiment qui interviennent suite aux pluies de cadavres du zooplancton généralement peu consommé dans la colonne d'eau par l'espèce *L. stylirostris*.

De très fortes concentrations de rotifères (Anon., 1978) mais surtout de Tintinnidae (donnant une coloration grisâtre à l'eau), voire d'Acanthaires (Photo 22), sont des indicateurs de surchauffe du bassin avec présence de matières organiques en suspension et/ou de bactéries dans la colonne d'eau.



Photo 22 – De gauche à droite : rotifères, tintinnidés, acanthalaires

## Méthode d'échantillonnage

Trois seaux de 10 L d'eau du bassin sont prélevés devant un moine de sortie. L'eau est filtrée à travers un filet-chaussette à plancton de maille 30 µm. Le refus est placé dans un flacon de 250 ml et ramené au laboratoire.

Le contenu du flacon est concentré sur un filtre 30 µm de diamètre 50 mm. Le culot est versé dans un bêcher de 50 ml. Le niveau est complété à 30 ml avec un mélange de formol à 5% teinté par du rose bengale.

La préparation est homogénéisée en faisant buller de l'air à l'aide d'une grosse pipette.

Deux échantillons de 3 ml sont déposés sur une cuve de Dolfuss où quelques ml d'eau distillée sont rajoutés pour qu'une fine pellicule d'eau recouvre les 200 cases.

Les individus des grands groupes sont comptabilisés à la loupe binoculaire et la densité est déduite à partir des différentes dilutions effectuées.

## Densités des différents groupes de zooplancton rencontrés dans les élevages de Nouvelle-Calédonie

Une estimation de l'abondance de trois groupes dans différentes conditions d'élevage caractéristiques de la filière semi-intensive calédonienne est illustrée dans le [tableau 32](#). On note que les abondances sont favorisées par la température (saison chaude) et la fertilisation.

Tableau 32 - Densités (nombre d'individus/ml) et occurrence des principaux groupes de zooplancton rencontrés dans les élevages semi-intensifs de Nouvelle-Calédonie.

(Sources : deux séries de quatre élevages de juillet et de février avec ou sans fertilisation N et P réalisés au DAC).

Elevages de saison fraîche		Elevages de saison chaude	
Non fertilisés	Fertilisés	Non fertilisés	Fertilisés
Copépodes			
Densité (nb/L)	24,4	37,9	31,1
D.S.	± 31,5	± 79,4	± 22,3
Présence (%)	99	87	100
Rotifères			
Densité (nb/L)	1,7L ± 4,5	34,1 ± 56,4	0,2 ± 0,5
D.S.	51	63	25
Présence (%)			47
Larves Balanes			
Densité (nb/L)	1,8 ± 2,3	13,0 ± 25,8	0,6 ± 0,9
D.S.	79	71	65
Présence (%)			65

Les abondances trouvées dans les bassins de Nouvelle-Calédonie sont beaucoup plus faibles que les densités de 5 000 à 8 000 ind./L à l'ensemencement et de 2 000 ind./L en cours de cycles préconisées par Clifford (1994) dans les élevages de *L. vannamei*, espèce à comportement plus nageur que *L. stylirostris*. Elles sont toutefois du même ordre de grandeur (50 - 200 ind./L) que les valeurs obtenues en Australie par Coman *et al.* (2003) dans les bassins d'élevage de *F. japonicus* et par Preston *et al.*, (2003) dans ceux de *P. monodon*.

## 3.4. Tableau récapitulatif des paramètres et de la fréquence des mesures

Le suivi rigoureux de tous les différents paramètres de routine et de seconde importance peut devenir rapidement rédhibitoire. De sorte qu'il est nécessaire de hiérarchiser leur mesure en fonction de leur portée qui est fonction des aléas journaliers qui viennent souvent altérer l'organisation du travail prévue ([Tableau 33](#)).

Tableau 33 – Fréquence des prises de paramètres de première et seconde\* importances.

(Sources : compilation Clifford, 1994 et 1997 ; tableaux de bord SASV, ferme privée Kapuidea).

Paramètres	Prise de routine	Horaire de la journée	Événements exceptionnels
Oxygène dissous en mg/L	4 x / jour	7h - 10h - 13h - 17h	Si valeurs suspectes (+ ou -), prises milieu bassin (plate)
Température en °C	2 x / jour	7h - 17h	
Salinité	2 x / semaine	7h	Tous les jours si pluies ou absences renouvellement Fond / surface si pluie cyclonique.
pH en unités pH	2 x / semaine	7h - 17h	
Disque de Secchi	2 x / semaine	7h	
Comptages Phyto. En cellules/ml	2 x / semaine	7h	Tous les jours si eaux rouges
Chlorophylle en µg/L	3 x / semaine	7h - 17h	
Observ. Mue	3 x / semaine	1 sem. Avant 1 <sup>ère</sup> pêche	
Observ. Black spots	3 x / semaine	1 sem. Avant 1 <sup>ère</sup> pêche	
*zooplancton en Nb/L	2 x / semaine	7h	Suivre si chute de blooms
*alcalinité en mg/L	1 x / semaine	7h	
*azote minéral total en mg/L	2 x / semaine	7h	
*nitrites-N en mg/L	1 x / semaine	7h	
*nitrites-N en mg/L	2 x / semaine	7h	
*ammoniac-N total en mg/L	2 x / semaine	7h	
*ammoniac non ionisé-N en mg/L	2 x / semaine	7h	
*phosphore total en mg/L	2 x / semaine	7h	
*phosphore réactif soluble en mg/L	2 x / semaine	7h	
*sulfures non ionisés en mg/L	1 x / semaine	7h	
*silicates en mg/L	1 x / semaine	7h	

## 4. Concentrations en sels nutritifs et matières en suspensions admissibles

### Un instrument de développement en harmonie avec l'environnement

La crevette calédonienne doit son succès à la qualité exceptionnelle du produit mais également à l'image apportée par la beauté incomparable du milieu naturel calédonien, « *le plus beau lagon du monde* » (Farman et Baillon, 2004)

La filière aquacole a fait le choix technique d'unités de petites tailles bien intégrées à l'environnement naturel et social du pays. La filière de production très professionnalisée, dispose d'un niveau de compétence technique élevé. Par respect pour l'environnement, les aquaculteurs se sont engagés à respecter un modèle de production peu intensif, qui limite la taille des bassins et les densités des crevettes (Andrier, 2004).

Bien que la Nouvelle-Calédonie n'impose aucune limitation sur la nature des rejets des fermes aquacoles, la filière aquacole s'efforce de préserver ce milieu naturel en maîtrisant ses propres effluents et en conservant la mangrove lors de nouvelles constructions (Fonfroyde *et al.*, 2004). De sorte que le Groupement des Fermes Aquacoles (GFA) appelle de ses voeux une nouvelle étude encore plus approfondie de l'impact des fermes sur l'environnement pour parfaire l'image de la crevetticulture calédonienne.

### Impact des rejets

Dans l'état actuel de l'extension de l'activité, il n'existe pas de cas déclaré de pollution de fermes par une autre. Les exploitations sont en effet relativement distantes les unes des autres et/ou les études de courantologies réalisées dans le cadre des études d'impacts obligatoires n'étaient pas cette hypothèse.

Bien que la plupart des fermes rejettent leurs effluents à travers les étendues de salicornes et différentes zones à palétuviers qui sont supposées agir comme un filtre, on peut s'interroger sur les risques d'enrichissement du milieu et/ou de sédimentation en des zones très localisées à proximité de la mangrove.

L'azote et le phosphore sont généralement les deux principaux responsables de l'eutrophisation des eaux côtières. Mais le phosphore a un rôle clé alors que

l'azote joue un rôle secondaire (Boyd, 2003).

Un bassin de sédimentation destiné à traiter les effluents d'une ferme aquacole doit avoir une capacité hydraulique de rétention estimée à 6-8 heures pour permettre la sédimentation des particules de granulométrie moyenne à grossière, de limiter les matières en suspension totales et de réduire les teneurs en phosphore (Boyd et Gauthier, 2000).

Une compilation (Tableau 34) d'une quinzaine de revues scientifiques et/ou de rapports techniques portant sur les teneurs des effluents d'un grand nombre de fermes situées dans le monde entier a été établie par (Boyd et Gauthier, 2000). On constate des écarts très importants entre les valeurs minimum et maximum rencontrées sur les différents sites.

Tableau 34 – Concentrations moyennes, minimales et maximales des paramètres de l'eau de rejet de fermes de crevettes (Boyd et Gauthier, 2000).

Paramètres	moyennes	minimum	maximum
azote total (mg/L)	2,04	0,02	2 600
azote/nitrites (mg/L)	0,05	0,0	0,91
azote/nitrate (mg/L)	0,30	0,001	7,00
azote ammoniacal total (mg/L)	0,38	0,01	7,87
phosphore total (mg/L)	0,26	0,01	110
phosphore soluble (mg/L)	0,09	0,0	11,2
oxygène dissous (mg/L)	5,6	0,4	9,6
pH (unités)	8,2	6,3	9,2
demande biologique en oxygène sur 5 jours (mg/L)	8,9	1,3	50,7
solides en suspension totaux (mg/L)	108	10	3 671
solides volatils en suspension (mg/L)	43	8	713
chlorophylle a ( $\mu$ g/L)	67	1	694

## Proposition de normes

L'organisation internationale *Global Aquaculture Alliance* dans le cadre d'un programme des bonnes pratiques respectueuses de l'environnement (*Responsible Aquaculture Program*) et sur la base des résultats de l'enquête précédente a proposé les normes suivantes (Tableau 35), relativement souples, de qualité des eaux de rejet.

Tableau 35 – Normes à court terme et à plus long terme de la qualité des eaux de rejets des fermes crevetticoles (Boyd et Gauthier, 2000).

Paramètres	objectifs à court terme	objectifs à long terme
pH (unités)	6,0 - 9,5	6,0 - 9,5
solides en suspension totaux (mg/L)	100 ou moins	50 ou moins
phosphore total (mg/L)	0,5 ou moins	0,3 ou moins
azote ammoniacal total (mg/L)	5 ou moins	3 ou moins
demande biologique en oxygène sur 5 jours (mg/L)	50 ou moins	30 ou moins
oxygène dissous (mg/L)	4 ou plus	5 ou plus

La pertinence de tels paramètres mériterait d'être évaluée en Nouvelle-Calédonie avant leur éventuel transfert comme outil d'auto-contrôle par les aquaculteurs et/ou par les décideurs calédoniens dans un contexte de protection de l'environnement.



## Chapitre 3

---

# Bases biologiques des principales pratiques zootechniques

# 1. Introduction

La gestion d'un bassin d'élevage de crevettes de type semi-intensif intensifié (20-30 crevettes/m<sup>2</sup>) est une tâche bien plus complexe que celle déployée pour celle des systèmes extensifs (1-2/m<sup>2</sup>) ou super-intensifs (70-120/m<sup>2</sup>).

## Ecosystème complexe

La conduite d'un bassin crevetticole est orientée à l'évidence vers la production monoculturale de crevettes. Mais pour réussir pleinement ce type d'élevage, le gestionnaire doit élargir cette vision réductrice à celle plus réelle d'une polyculture. Le technicien compétent est celui qui arrive à éléver en équilibre dynamique crevettes, phytoplancton, zooplancton, méiofaune et bactéries. La rentabilité économique (phytoplancton = aération naturelle ; pluies de zooplancton + méiofaune = aliment naturel ; bactéries = épuration naturelle) d'un bassin de type semi-intensif dépendra en grande partie de cette capacité du biologiste à effectuer les bons réglages sur tous les compartiments élevés de manière synchrone.

## Ecosystème instable

Le zootechnicien est confronté à un écosystème d'une très grande instabilité à plusieurs titres :

- au démarrage (environ 1,5 mois), l'aquaculteur doit gérer un écosystème-bassin qui présente un fonctionnement phytoplanctonique proche de celui d'une lagune naturelle ;
- en revanche, à la charge maximale (juste avant la première pêche vers 100-120 jours), l'opérateur doit gérer un élevage proche du mode super-intensif instable prêt à basculer vers un floc bactérien ;
- entre les deux (durée de 3 mois), le fermier doit maîtriser à l'aide des quelques leviers zootechniques dont il dispose, la montée en puissance par à coups d'un système intermédiaire très réactif aux aléas climatiques ;
- pendant la période ultérieure où s'effectue la dizaine de pêches partielles (2 ½ mois), chaque récolte (prélèvement de 1/10ème de la biomasse, descente et remontée rapides du niveau du bassin, agrégation des crevettes) à la fréquence hebdomadaire ou bihebdomadaire intervient comme un traumatisme brutal à l'équilibre à peine retrouvé que le biologiste tente d'instaurer.

## Aliment perturbateur

Le premier fauteur de troubles dans un bassin est l'aliment ou plutôt sa mauvaise gestion. Les fines des granulés, dispersées dans le milieu par le mode d'alimentation des crevettes qui grappillent, les granulés donnés en excès qui restent plusieurs jours au fond et qui pourrissent lentement et les quantités énormes de fèces produites après chaque repas contribuent fortement à la détérioration de la qualité de l'eau et du fond et conduisent à des accumulations. En conditions exacerbées, le bassin devient extrêmement consommateur d'oxygène. Des zones de plus en plus vastes sont recouvertes de boues noires qui sentent l'œuf pourri et qui relarguent des composés réduits toxiques (H<sub>2</sub>S), limitant l'espace vie favorable de la crevette. La maîtrise parfaite de l'alimentation est celle qui allie à la fois la recherche de la meilleure croissance du cheptel et le maintien des conditions environnementales dans une gamme favorable pour la crevette mais aussi pour les autres

compartiments aérobies. Un animal légèrement surnourri croît plus vite qu'un animal un peu sous-nourri, tant que les conditions défavorables induites par l'excès d'aliment ne se sont pas mises en place. Au-delà, le premier allouera une partie de son énergie à combattre le stress de son milieu devenu insalubre et rétrogradera à la même vitesse de croissance que le second, mais avec une amende économique et environnementale non négligeable.

### **Zootechnie intra et inter élevage**

Il existe donc un volet très important de la bonne gestion zootechnique qui se passe en eau mais également un second volet tout aussi important qui intervient à l'air.

La préparation ou régénération d'un bassin de terre entre deux élevages de type semi-intensif ± intensifié ne doit pas être perçue dans le sens d'un grand nettoyage à blanc d'une enceinte inerte (ce n'est pas du béton) ou encore d'une éradication de tous les microbes (très peu sont pathogènes). Il s'agit là encore de faire vivre un écosystème avec toute sa complexité, mais cette fois-ci sans eau, afin d'obtenir une fertilité favorable à l'ensemble des compartiments vivants pour le prochain élevage. Cette période s'apparente le plus souvent à une course contre la montre en raison des impératifs de fourniture de post-larves par les écloseries et des aléas climatiques. L'aquaculteur devra donc chercher à agir avec discernement sur les leviers biotechniques dont il dispose dans le temps qui lui est imparti. Le management de l'inter-élevage est délicat mais primordial pour la réussite de l'élevage subséquent, voire des suivants.

## **2. Processus biogéochimiques et travail des fonds de bassins à l'à sec**

### **2.1. Introduction**

Les propriétés des sols des bassins à fond de terre et les processus qui interviennent dans le sédiment et à l'Interface Eau-Sédiment (IES) sont d'une extrême importance pour le bien-être des animaux d'élevage en particulier pour la crevette (Avnimelech et Ritvo, 2003). En effet, les pénéides vivent en permanence sur le fond, s'enterrent lorsqu'il fait froid ou pour muer et ingèrent du sédiment (Ritvo *et al.*, 1998a). Par ailleurs, la nature du sol est déterminante pour le développement de la méiofaune dont l'espèce *L. stylirostris* se nourrit abondamment (Della Patrona *et al.*, com.pers.)

Il a été démontré que la nature intrinsèque des sols pouvait affecter la croissance (Ritvo *et al.*, 1998a), la croissance et la survie (Mendez *et al.*, 2001), en fait la production globale d'un bassin (Ritvo *et al.*, 1999). Il existe donc naturellement des bons et des moins bons fonds de bassins pour la crevetticulture (Ritvo *et al.*, 1998b et c).

Au cours des élevages, les nutriments et les détritus organiques tendent à s'accumuler sur le fond des bassins. Une accumulation excessive au-delà de ce que Avnimelech et Ritvo (2003) définissent comme la *carrying capacity* des sédiments conduit à la détérioration de l'écosystème bassin. Cette capacité naturelle du bassin à supporter les mauvais traitements zootechniques sera d'autant plus facilement dépassée que la gestion zootechnique sera aggressive. A qualité de fond égale au démarrage, certains bassins auront des fonds de meilleure qualité que les autres au bout de quelques élevages (Yuvanatemiya et Boyd, 2006).

## 2.2. Genèse des boues d'un bassin aquacole

Le phénomène d'accumulation dans un bassin aquacole en terre est un processus parfaitement normal (Hopkins *et al.*, 1994).

Dès que l'on met un bassin en eau, la sédimentation se met en place, alimentée par des sources internes et externes (Boyd, 1995a). L'érosion des parois du canal d'aménée d'eau est la principale source extérieure de dépôts solides. A l'intérieur du bassin, les vagues, la bioturbation et l'aération remettent en suspension les particules qui sédimentent en retour sur le fond (Yuvanatemiya et Boyd, 2006). Il faut rappeler que les sols utilisés en crevetticulture en Nouvelle-Calédonie sont composés à 95-97 % de sédiments d'origine minérale. La fraction organique est donc très faible (Guyotte, 2005).

Les sources endogènes de la fraction organique du sédiment proviennent des restes non digérés d'aliment, du phyto et zoo-plancton, du phyto et zoo-benthos, des débris d'autres végétaux (algues filamenteuses, herbacées du bord des digues), des excréments notamment du cheptel, des fertilisants organiques, des mortes non consommées et des mues. Les intrants exogènes ont pour origine l'eau d'entrée mais également le vent (Hopkins *et al.*, 1994).

Le principal contributeur de matière organique à la boue du bassin est l'aliment. Il faut rappeler qu'au cours d'un élevage semi-intensif qui a produit 4 t/ha de crevette, on a distribué plus d'un kg d'aliment sur chaque m<sup>2</sup> de fond.

On estime que seulement 13 % du carbone, 29 % de l'azote et 16 % du phosphore apportés par le granulé se retrouvent dans la chair de crevette (Avnimelech et Ritvo, 2003). Ou bien encore que 25 % du carbone, 30 % de l'azote et 50 % du phosphore provenant de l'aliment s'accumulent dans le sédiment (Funge-Smith et Briggs, 1998 ; Paez-Osuna *et al.*, 1997 et 1999 ; Martin *et al.*, 1998).

Avec le temps, des accumulations de pratiquement tous les intrants se forment dans le sol : la matière organique, l'azote, le phosphore et la plupart des cations apportés par les fertilisants, les amendements calciques et surtout l'aliment (Yuvanatemiya et Boyd, 2006). Ces composants se concentrent essentiellement dans la couche flocculente d'environ 5 cm qui repose sur le sol dur mais également dans les 5 - 10 premiers centimètres de celui-ci (Munsiri *et al.*, 1995).

Dans ces dépôts tous les éléments ne se concentrent pas de la même manière et à la même vitesse.

La teneur en calcium demeure aléatoire (Ritvo *et al.*, 1997b) ou augmente très légèrement avec le temps (Munsiri *et al.*, 1996).

Le carbone, l'azote, le magnésium, le potassium et le bore atteignent leur teneurs maximales au bout du cinquième élevage puis se stabilisent (Ritvo *et al.*, 1997b).

Le carbone organique, rapport constant équivalent à environ 50 % de la matière organique, ne représente en fait que 1,5 à 3 % du sédiment et n'augmente que d'environ 1 % sur 8 ans soit 1,51 % à 3,03 % (Munsiri *et al.*, 1996).

Le phosphore (Boyd *et al.*, 2006), le soufre et le zinc (Ritvo *et al.*, 1997b) accroissent exponentiellement et indéfiniment leur teneurs dans le sol et sont donc des bons indicateurs d'âge des fonds de bassin notamment le phosphore (Ritvo *et al.*, 1998b et c ; Knud-Hansen, 1992).

A l'échelle d'un élevage, la sédimentation représente de 200 à 300 g. m<sup>-2</sup> de matière (Boyd, 1992a ; Martin *et al.*, 1998).

Une difficulté pour l'aquaculteur est que ces dépôts ne se répartissent pas uniformément sur toute la surface. La fraction du bassin recouverte par de nouveaux sédiments ne représente, suivant le type d'élevage (présence ou non d'aération) et l'orientation du bassin par rapport au vent, que 5 à 30 % (Smith, 1996) ou, au plus, 40 % (Avnimelech et Ritvo, 2001).

## 2.3. Activité bactérienne séimentaire

Les microorganismes peuvent être divisés en trois grands groupes en fonction de leurs besoins en oxygène libre :

- les aérobies qui nécessitent de l'oxygène pour leur croissance et leur reproduction. Ils dominent dans la colonne d'eau ;
- les anaérobies facultatifs qui peuvent croître ou se reproduire avec ou sans présence d'oxygène. Ce sont les représentants les plus abondants dans les bassins aquacoles ;
- les anaérobies qui ne peuvent pas se multiplier en présence d'oxygène. On les trouve majoritairement dans les zones d'accumulation des fonds de bassins (Horowitz et Horowitz, 2000b).

Les bactéries aérobies digèrent efficacement la matière organique des boues mais en contrepartie, elles consomment de l'oxygène. Sa teneur s'appauvrit donc normalement au niveau de l'interface eau-sédiment en raison de la très forte abondance bactérienne qui s'y développe. Cette diminution de la teneur en oxygène est naturellement exacerbée dans certaines zones profondes, plus de 120 cm, d'un bassin (là où la diffusion et le mélange d' $O_2$  entre la surface et le fond est moins efficace) et *a fortiori* dans celles qui sont distantes de plusieurs centaines de mètres des arrivées d'eau car l'influence du courant d'eau plus oxygénée au fond ne se fait pratiquement pas sentir (Boyd, 1992a et b).

Les bactéries anaérobies décomposent la matière organique sans consommer d'oxygène. Elles tirent leur énergie de la réduction de composés inorganiques oxydés comme les nitrates  $NO_3^-$  ou les sulfates  $SO_4^{2-}$  et certaines libèrent des produits qui ne sont pas complètement oxydés comme des alcools, des cétones ou des acides organiques. D'autres microorganismes anaérobies relarguent des composés réduits très dangereux pour la crevette comme l'ammoniac, les nitrites et les sulfures. Des teneurs croissantes en  $NH_3$  et  $NO_2^-$  stressent en premier lieu les crevettes, puis provoquent un ralentissement de leur croissance ; elles peuvent ensuite affaiblir le système immunitaire de l'animal et enfin, à très fortes concentrations, elles peuvent tuer directement les animaux (Horowitz et Horowitz, 2000b).

Les bactéries sulfato-réductrices génèrent des sulfures ( $H_2S$ ) qui sont extrêmement toxiques à très faibles doses. Clifford (1994) fixe la teneur maximale de  $H_2S$  à 5 µg/L chez *L. vannamei*. Le nez est capable de détecter des teneurs en sulfures de l'ordre de 0,1 µmole (Dando *et al.*, 1985) difficilement mesurables par les analyses chimiques classiques. De sorte que l'odeur d'œuf pourri est un bon indicateur de la présence de  $H_2S$  dans les sédiments et de sa capacité de nuisance éventuelle pour la crevette.  $H_2S$  bloque (réversiblement) le système de capture d'oxygène de la chaîne des cytochromes des crustacés (Giere, 1993). La respiration des animaux est affectée pour des teneurs infimes. À des doses sublétales, les défenses immunitaires sont abaissées et l'animal devient particulièrement vulnérable aux maladies. Les valeurs mesurées à l'interface eau-sédiment dans les différentes zones des bassins d'élevage de Nouvelle-Calédonie sont comprises entre 0 et 150 nm/L (Herblard et Della Patrona, non publié).

Les bactéries pathogènes sont le plus souvent des microorganismes strictement anaérobies ou anaérobies facultatifs car leur biotope de prédilection est le corps de la crevette, environnement pauvre en oxygène (Horowitz et Horowitz, 2000b). Les boues anaérobies assurent leur protection et favorisent donc leur prolifération. De sorte que maintenir des teneurs en oxygène très élevées dans un bassin est un bon moyen pour éliminer celles-ci par compétition avec les populations aérobies non pathogènes (Horowitz et Horowitz, 2000b).

Les sédiments crevetticoles, très enrichis par les composants minéraux et organiques apportés pour une grande part par l'aliment ont des teneurs en

nutriments plus de mille fois supérieures à celles mesurées dans l'eau du bassin. Le fond de bassin, où abondent la matière organique et les sels nutritifs, devient donc un endroit privilégié pour le développement des microbes. La concentration en bactéries d'un  $\text{cm}^3$  de sédiment est 10 000 fois plus élevée que celle d'un  $\text{cm}^3$  d'eau.

Burford *et al.*, (1998) rapportent des concentrations de  $15,5 \times 10^9$  cellules/g dans la lentille de boue et  $8,1 \times 10^9$  cellules/g à la périphérie des fonds de bassins intensifs. Les auteurs concluent que la concentration en bactéries augmente avec l'apport en nutriments et est plus importante dans les sédiments fins que grossiers.

Les mesures réalisées sur différentes zones des bassins semi-intensifs de Nouvelle-Calédonie (Della Patrona et Herblard, non publié) confirment cet ordre de grandeur de  $10^9$  cellules/g (figure 35) et montrent que les peuplements majoritaires sont représentés par les morphotypes *Coccus* et *Coccobacillus* (figure 36).

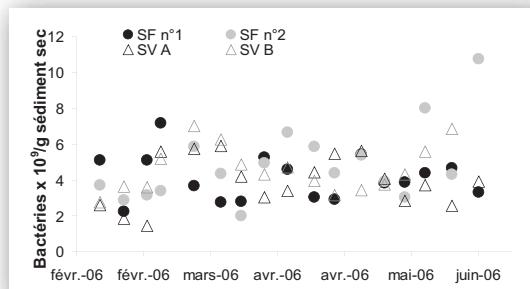


Figure 35 - Evolution des abundances bactériennes sédimentaires sur des zones d'accumulation (SF n°1 et SV B) et hors zones d'accumulations (SF n°2 et SV B) de deux bassins de deux fermes semi-intensives.

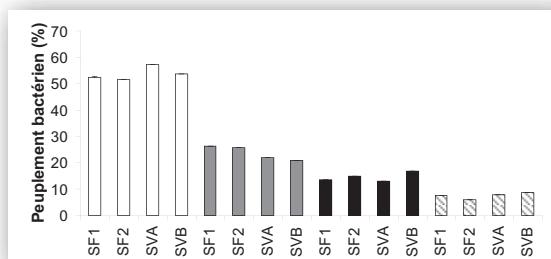


Figure 36 – Composition du peuplement bactérien sédimentaire dans les zones d'accumulation (SF n°1 et SV B) et hors zones d'accumulations (SF n°2 et SV B) de deux bassins de deux fermes semi-intensives (morphotypes *coccus* en blanc; *coccobacillus* en gris, *bacillus* en noir; *spirillum* en hachuré; technique : épifluorescence, coloration DAPI).

#### **2.4. Pool actif de la demande en oxygène des boues**

## **Consommation en oxygène des différents compartiments d'un bassin**

On pense, souvent à tort, que les valeurs basses d'oxygène dissous mesurées à l'aube sont essentiellement liées d'une part à la très forte consommation en O<sub>2</sub> du cheptel car celui-ci représente effectivement plusieurs dizaines de tonnes d'animaux et, d'autre part, à la respiration nocturne du phytoplancton notamment lorsque la mesure de la chlorophylle a dépasse les 75 µg/L ( $\approx$  secchi <20 cm).

En fait, c'est le sédiment qui exerce la plus forte demande en oxygène du bassin (Aynimelech et Rityo, 2003).

La seule Demande en Oxygène du Séiment (DOS) correspond à environ la moitié de la consommation totale du bassin en fin d'élevage (Ellis, 1992).

## Système redox

Lorsqu'il n'y a plus du tout d'oxygène au niveau des boues, la décomposition de la matière organique se poursuit néanmoins grâce aux bactéries chemio autotrophes qui utilisent d'autres accepteurs d'électrons terminaux que l'oxygène pour leur développement. Des processus anaérobies se mettent en place et conduisent à l'émission de composés réduits potentiellement néfastes pour la crevette (figure 37).

Le potentiel Redox du sédiment que l'on mesure avec une sonde Redox, reflète l'intensité des conditions anaérobies qui se développent sur le fond. La décroissance progressive des valeurs du Redox s'explique par une succession de processus chimiques résumés dans le tableau 36 par Avnimelech et Ritvo (2001). Plus les boues deviennent anoxiques et plus les valeurs du Redox deviennent négatives.

Pour des valeurs de Redox de l'ordre de 500 - 600 mV le fond du bassin est bien oxydé. Lorsque le Redox diminue vers 300 - 400 mV, les processus de dénitritification se mettent en place et réduisent les nitrates en nitrites ainsi qu'en azote atmosphérique. A des niveaux plus faibles, des acides organiques fermentés sont produits, dont certains sont dangereux pour les animaux. Pour des valeurs inférieures à 200 mV, l'état d'oxydation du fer change de ferrique à ferreux provoquant la coloration noire de la boue. A partir de - 100 mV, il y a production de sulfures qui, nous l'avons vu, sont toxiques pour la crevette.

Tableau 36 - Réaction Redox dans le sédiment d'un bassin (Avnimelech et Ritvo, 2001).

Accepteur d'électron (système oxydant)	Processus	Valeur approximative du potentiel Redox (mV)
oxygène ( $O_2$ )	Respiration aérobie	500 - 600
nitrate ( $NO_3^-$ )	Dénitritification	300 - 400
composés organiques	Fermentation	< 400
fer ( $Fe^{+3}$ ), Manganèse ( $Mn^{4+}$ )	Réduction	200
sulfates ( $SO_4^{2-}$ ), Soufre (S)	Réduction des sulfures	-100
dioxyde de carbone ( $CO_2$ )	Fermentation du méthane	-200

Le potentiel Redox diminue avec le temps (Boyd, 1995b) et, parallèlement, les capacités de production de substances réduites augmentent.

L'essentiel à retenir est que les valeurs du potentiel Redox baissent au fur et à mesure que l'on descend dans la couche floconneuse sous-jacente au fond du bassin et que l'on s'enfonce dans l'épaisseur de la boue.

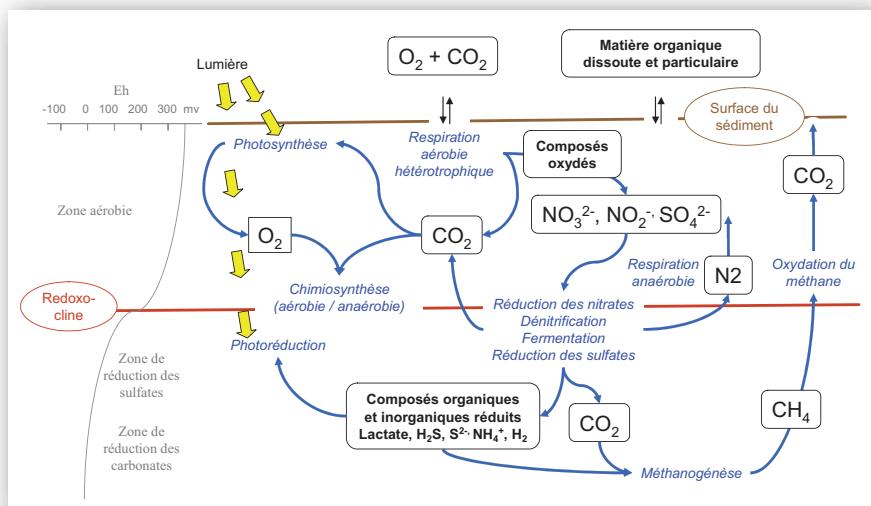


Figure 37 – Inter relations entre les processus photosynthétiques, hétérotrophes et chemio autotrophes au niveau de l'interface eau-sédiment.

La photosynthèse et la photoréduction n'interviennent qu'en présence de lumière. Les processus métaboliques aérobies : respiration hétérotrophe (oxydation de composés réduits organiques simples avec la réduction possible de  $\text{CO}_2$ ) ; photosynthèse (réduction du  $\text{CO}_2$  en glucides par utilisation de  $\text{H}_2\text{O}$  et de lumière) ; respiration aérobie (réduction de l'oxygène en  $\text{H}_2\text{O}$  à l'aide de composés organiques servant de donneurs d'électron) ; chemiosynthèse aérobie (oxydation du méthane  $\text{CH}_4$ , des sulfures  $\text{H}_2\text{S}$ , de l'ammoniac  $\text{NH}_3$ , du fer  $\text{Fe}^{2+}$ , de l'hydrogène  $\text{H}_2$  pour former des composés de carbone organique par fixation de  $\text{CO}_2$ ). Les processus métaboliques anaérobies : respiration anaérobie (produits finaux oxydés inorganiques de la décomposition aérobie utilisés comme accepteurs d'hydrogène pour l'oxydation de la matière organique) ; fermentation (composés organiques utilisés comme accepteurs d'hydrogène pour produire du  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  et des composés réduits organiques comme le lactate, l'acide glycolique, les sulfures et l'ammoniac) ; photo réduction (composés réduits utilisés pour réduire le  $\text{CO}_2$  en glucides en présence de lumière avec  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{S}$ ,  $\text{H}_2$  ou bien des composés organiques réduits servant de donneurs d'hydrogène) ; chemiosynthèse anaérobie (oxydation des composés inorganiques  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{NO}_2^-$  et utilisation d'énergie pour réduire le  $\text{CO}_2$  en glucides) (d'après Fenchel, 1969).

Les valeurs du potentiel Redox (corrigées de la valeur 238 mV selon l'électrode normale à hydrogène ENH de référence utilisée en fonction de la température et de la concentration de la solution de remplissage KCl) mesurées en cours d'élevage sur des zones saines, d'accumulations ou inondée même à l'assèchement des bassins semi-intensifs de Nouvelle-Calédonie (Della Patrona et Herblan, non publié) montrent que les fonds sont susceptibles de relarguer des substances particulièrement toxiques pour les crevettes tout au long du cycle (figure 38).

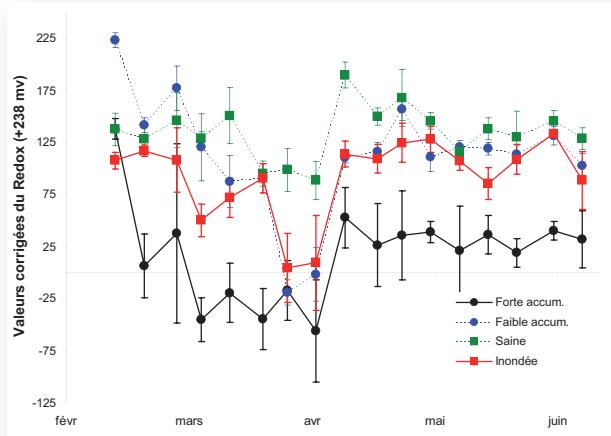


Figure 38 – Evolution du potentiel Redox sur les zones saine, inondée en permanence et d'accumulations plus ou moins épaisses de bassins semi-intensifs de Nouvelle-Calédonie.

## Demande en oxygène du sédiment

Le système Redox qui se met en place dans les boues, conglomère à la fois des composés organiques et des produits inorganiques réduits ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{4+}$ ) qui sont des pièges à oxygène même si c'est bien la matière organique enfouie dans le sédiment qui est la force motrice du développement de la très forte demande en oxygène et des conditions d'anoxie (Avnimelech *et al.*, 2004).

Alongi *et al.*, (1999) montrent que dans la boue des bassins à crevettes la contribution à la demande en oxygène totale du sédiment se répartit en :

- 41 - 60 % pour la respiration de la matière organique (oxydation du carbone) ;
- 7 - 22 % pour l'oxydation du composé réduit manganèse ;
- 5 - 25 % pour l'oxydation du composé réduit fer ;
- 13 - 26 % pour l'oxydation du composé réduit sulfates.

La demande en oxygène exercée par les composés réduits excède ou est équivalente à celle de la matière organique contenue dans les boues des bassins de crevettes.

## Mesures du pool actif de la demande en oxygène des boues

- **Redox** : la mesure du potentiel Redox est intéressante car elle évalue le degré d'anaérobiose des sédiments et est informative sur le type de composés réduits  $\pm$  toxiques susceptibles d'être relargués. Elle présente l'avantage de ne nécessiter qu'un appareillage simple et peu coûteux et peut être réalisée par l'aquaculteur. Son inconvénient est qu'elle donne une valeur instantanée mais n'exprime pas la capacité de la boue à consommer de l'oxygène ;
- **DOS<sub>5</sub>** : la demande en oxygène du sédiment sur cinq (5) jours (DOS<sub>5</sub>) s'apparente à la demande biologique en oxygène (la DBO<sub>5</sub>) de l'eau, mesure couramment pratiquée dans les stations d'épuration pour connaître la charge organique labile d'une eau et l'oxygène qui sera nécessaire pour l'oxyder dans les conditions standard de la mesure, 5 jours à 20°C. Cette méthode ne mesure que la part de consommation d'oxygène du sédiment par les bactéries (oxydation du carbone). Toutefois, cette mesure (valeurs extrêmes 2-10 mg O<sub>2</sub> / g séd. sec) s'est révélée être très discriminante pour séparer des zones saines, d'accumulations plus ou moins fortes ou inondées même à l'assec de bassins semi-intensifs de Nouvelle-Calédonie (figure 39, Herblant et Della Patrona, non publié).

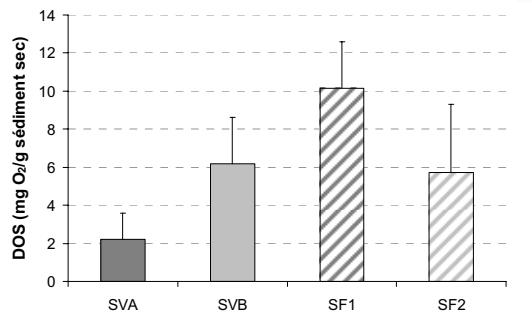
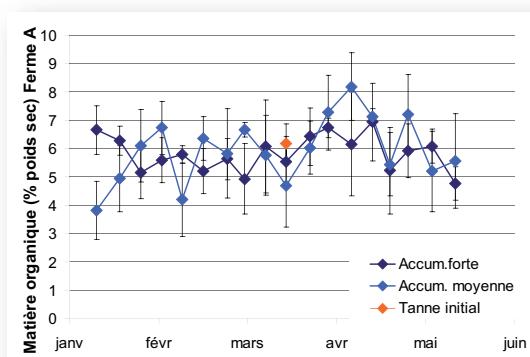


Figure 39 – La DOS<sub>5</sub> sur les zones saine (SVA), inondée en permanence (SV B) et d'accumulations plus (SF 1) ou moins (SF 2) épaisse de bassins semi-intensifs de Nouvelle-Calédonie.

- **Matière organique ou carbone organique** : la méthode classique de détermination de la Matière Organique (MO) dans le Elevage de la crevette *Litopenaeus stylostris* en Nouvelle-Calédonie

sédiment n'est pas adaptée à l'évaluation du pool actif de demande d'oxygène dans le contexte crevetticole (Avnimelech *et al.*, 2004). Conceptuellement, cette mesure correspond effectivement à la capacité du sédiment à consommer de l'oxygène pour oxyder le carbone présent. Mais cette méthode mesure la demande chimique en oxygène (DCO norme AFNOR NFT 90-101) : la concentration en oxygène en mg/L, équivalente à la quantité de dichromate consommée par la matière organique lors de l'oxydation à ébullition d'un échantillon liquide en milieu acide concentré. Le dosage final pour déterminer l'excès de dichromate se fait avec une solution titrée de sulfate de fer et d'ammonium en présence de ferroïne (indicateur). Le calcul de la DCO est fonction de la quantité de dichromate de potassium réduit. Mais la composante MO dans le sédiment d'un bassin à crevettes représente une gamme de composés très variables allant des résidus extrêmement labiles (facilement décomposables) comme la neige de cellules mortes du phytoplancton ou les fines fraîches d'aliment à ceux très réfractaires (difficiles à décomposer) comme les fibres fossiles de racines de palétuviers déjà présents dans le sol avant la création des bassins. De sorte que la méthode chimique agressive, dérivée de la mesure du carbone organique mise au point par Walkley et Black (1934), oxyde absolument tout et ne permet pas de discriminer la part de la matière organique qui réagit effectivement et qui consomme vraiment l'oxygène dans les conditions de l'élevage. Par ailleurs, lors de la préparation conventionnelle des échantillons pour le laboratoire (pré-séchage), une bonne partie des composés réduits tels  $H_2S$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{4+}$  très demandeurs d'oxygène (cf. supra) sont oxydés et faussent la mesure. Enfin, lors de la crémation au four, une certaine quantité de composés organiques très volatils, exerçant dans les conditions d'élevage une demande en oxygène non négligeable, disparaissent. Avec une méthode qui mesure la quasi-totalité d'un grand bruit de fond (le carbone réfractaire) et qui ne prend en compte qu'une fraction du signal (le carbone aisément oxydable), il n'est pas surprenant que l'on ne détecte pratiquement jamais d'évolution du taux de matière organique (par approximation du carbone organique) dans les sédiments (figure 40) :

- \* entre la situation initiale (tanne initial) et actuelle après 15 années (ferme A) ou 20 années (ferme B) d'exploitation ;
- \* entre zones d'un même bassin ;
- \* au cours d'un élevage (Della Patrona et Herblard, non publié).



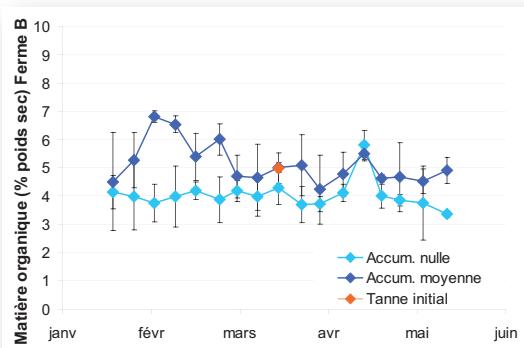


Figure 40 – Evolution de la teneur en matière organique sur deux fermes semi-intensives (A & B) de Nouvelle-Calédonie (zones d'accumulations et saines d'un même bassin).

- **MAO, Matières Aisément Oxydables :** Avnimelech *et al.* (2004) ont mis au point une technique douce, adaptée de la méthode chimique agressive, qui permet de ne mesurer que les matières organiques réactives (MAO), celles qui consomment réellement l'oxygène en cours d'élevage. Cette méthode, révisée (méthode potentiométrique *vs.* colorimétrique) et adaptée aux conditions des fonds de bassins à crevettes de Nouvelle-Calédonie (Herblard, 2006), s'est révélée prometteuse. Les valeurs de MAO permettent d'appréhender la propension des boues à exercer une demande en oxygène plus ou moins intense en cours d'élevage c'est-à-dire à devenir plus ou moins fortement anoxiques. La mesure des MAO a permis de discriminer différentes zones d'accumulations et saines de plusieurs fermes de Calédonie (figure 41, Herblard et Della Patrona, non publié). Cette mesure très informative du pool actif de la demande en oxygène du fond de bassin est toutefois délicate à mettre en œuvre et n'est disponible à l'heure actuelle qu'au DAC.

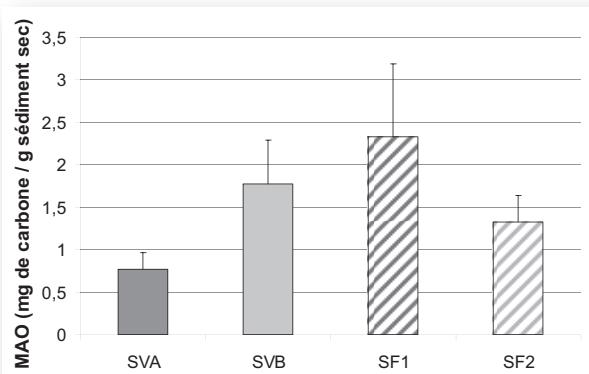


Figure 41 – Valeurs de MAO sur les zones saine (SVA), inondée en permanence (SV B) et d'accumulations plus (SF 1) ou moins (SF 2) épaisses de bassins semi-intensifs de Nouvelle-Calédonie.

**Sulfures H<sub>2</sub>S :** l'intérêt de la mesure des sulfures est double. La teneur en H<sub>2</sub>S mesurée au niveau de la couche flocculente au-dessus des boues indique son éventuelle toxicité pour la crevette (vue précédemment). Mais la concentration des sulfures, composés réduits très avides d'oxygène, prise en compte dans le sédiment (eau interstitielle) est également informative de l'aptitude de la boue à exercer une demande en oxygène très importante notamment dans le cadre de la crevetticulture néo calédonienne. Si l'eau douce contient naturellement très peu de sulfates, l'eau de

mer en contient de grandes quantités. *A fortiori* l'eau de mer du lagon pompée à faible profondeur présente une salinité plutôt élevée *vs* océanique et par ailleurs les tannes ou prés salés sur lesquels sont réalisés les bassins représentent des réservoirs naturels très riches en sulfates. Cette synergie de conditions favorisantes est propice à une libération massive de sulfures dès que des conditions d'anaérobiose se mettent en place au cours du cycle. L'oxydation seule des sulfures représente en fin d'élevage crevetticole une moyenne de 84% de la demande en oxygène totale du sédiment (Suplee et Cotner, 1996). La mesure des sulfures nécessite des moyens de laboratoire assez sophistiqués. Il existe cependant des kits (et des sondes) pour mesurer la concentration en H<sub>2</sub>S mais leur efficacité n'a pas encore été testée sur les fonds de bassins aquacoles de Nouvelle-Calédonie.

## 2.5. Effets des accumulations sur la production de crevettes

Il faut rappeler que les conditions régnant au fond d'un bassin aquacole sont plus critiques pour une crevette que pour n'importe quel autre animal aquatique. *L. stylostris* respire, mange et mue dans la zone d'interface entre l'eau et le sédiment.

### Perturbation de la prise alimentaire

Plusieurs études ont montré clairement l'influence négative des zones d'accumulation sur la prise alimentaire des crevettes :

- Il a été observé que la crevette *P. indicus* évite les zones d'accumulation du bassin où des sulfures diffusent et que, si elle est contrainte à venir s'y nourrir, elle diminue fortement sa consommation d'aliment (Gopakumar et Kuttyamma, 1996, 1997).
- Delgado *et al.*, (2003) ont confirmé cette observation dans les bassins de *L. vannamei* où les prises par épervier sont quatre fois moins importantes sur les zones d'accumulation que dans le reste du bassin.
- Allan *et al.*, (1995) ont noté que la crevette *P. monodon* élevée dans des bassins où les accumulations recouvriraient la majeure partie de la surface, se réfugiait sur les mangeoires surélévées du fond pour se nourrir.
- Avnimelech et Ritvo (2001) ont montré expérimentalement que la consommation d'aliment de *L. vannamei* élevée selon le mode intensif en bac béton présentant une lentille de boue réduite était diminuée de 136 %.
- Peterson *et al.*, (2003) rapportent que dans les fermes intensives australiennes de *P. monodon*, les aquaculteurs recouvrent de sable les zones de nourrissage préférentielles où la boue à tendance à s'accumuler.
- Avnimelech (2005) relève qu'en Thaïlande, les aquaculteurs ne nourrissent jamais sur les zones d'accumulations (30 à 50% de la surface des bassins) dans les élevages intensifs de *P. monodon*.
- Burford et Longmore (2001) considèrent que les accumulations diminuent de 15 à 35% la zone de vie favorable du bassin.

### Réduction des proies naturelles

Il est cohérent de penser que si les boues ont des effets toxiques sur la crevette qui a un mode de vie benthique, elles en ont également sur la microfaune inféodée au fond. C'est d'autant plus plausible que de nombreux représentants de cette faune particulière (copépodes, cladocères, ostracodes, isopodes, amphipodes, *etc.*) sont également des crustacés avec une physiologie proche de celle d'une crevette.

- Zur (1980) observe que les chironomes (petits vers rouges), pourtant

très bien adaptés à des teneurs quasi nulles d'oxygène dissous, disparaissent complètement du sédiment dès que les boues deviennent anoxiques.

- Allan *et al.*, (1995) incriminent les fortes concentrations en ammoniac des boues réduites des bassins d'élevage intensif de *P. monodon* dans la disparition quasi complète de la méiofaune.
- Della Patrona et Herblard (non publié) constatent que dans les zones de fortes accumulations et restant inondées en permanence à l'assèchement, échantillonnées dans les bassins d'élevages semi-intensifs de *L. stylostris* de Nouvelle-Calédonie, les abondances de la petite méiofaune (40 - 250 µm) et de la grosse méiofaune (250 - 1000 µm) sont très fortement abaissées quatre à cinq semaines seulement après la mise en eau des bassins (figure 42, photo 23). Le phénomène est particulièrement bien visible sur les formes larvaires (stade nauplii) des crustacés de la méiofaune qui sont des bioindicateurs plus sensibles que les adultes des mauvaises conditions environnementales (Coull et Chandler, 1992). Les auteurs mettent le phénomène en relation avec des teneurs plus fortes en MAO, DOS, sulfures et ammoniac.

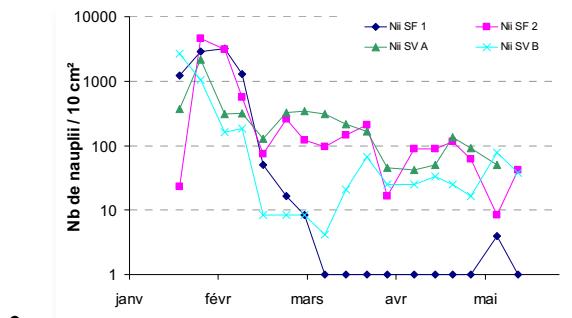


Figure 42 – Evolutions de l'abondance de la méiofaune dans les différentes zones : saine (SVA), à faible accumulation (SF 2), inondée en permanence à l'assèchement (SV B) et à fortes accumulations (SF 1) de bassins semi-intensifs de Nouvelle-Calédonie.



Photo 23 – Etat du fond en milieu d'élevage au niveau des zones d'accumulation : boue noire réduite à forte odeur d'œuf pourri montrant des polygones de dessiccation intacts indiquant un travail de labour incomplet à l'assèchement.

L'importance globale de ces proies naturelles dans le bol alimentaire de la crevette et le rôle particulier de la qualité de celles-ci (vitamines, anti-oxydants) dans la santé-nutrition de l'animal sont bien connus (Rubright *et al.*, 1981 ; Dall *et al.*, 1991 ; Della Patrona *et al.*, 2004b). De sorte qu'en affectant la méiofaune, les conditions d'anaérobiose qui se mettent en place sur les zones de boues réduites, affaiblissent indirectement la crevette.

## Retard de croissance et conversion de l'aliment

Les accumulations dans un bassin aquacole contribuent à un ralentissement de la croissance du cheptel (Avnimelech et Zohar, 1986) car l'animal va perdre de l'énergie à lutter contre les stress qu'il y rencontre (teneurs faibles en oxygène, concentrations sublétale en composés réduits, etc.) et qu'il n'y trouve que peu ou prou de proies naturelles pour compenser (Ritvo *et al.*, 1998c). Par ailleurs, du fait de l'importance spatiale des lentilles de boue réduite, les animaux auront tendance à s'agglutiner dans les zones favorables contribuant à un fléchissement de croissance via l'effet densité.

Della Patrona et Brun (non publié) ont suivi sur 6 cycles consécutifs l'influence d'une lentille d'accumulation représentant 20 % de la surface du bassin (figure 43).

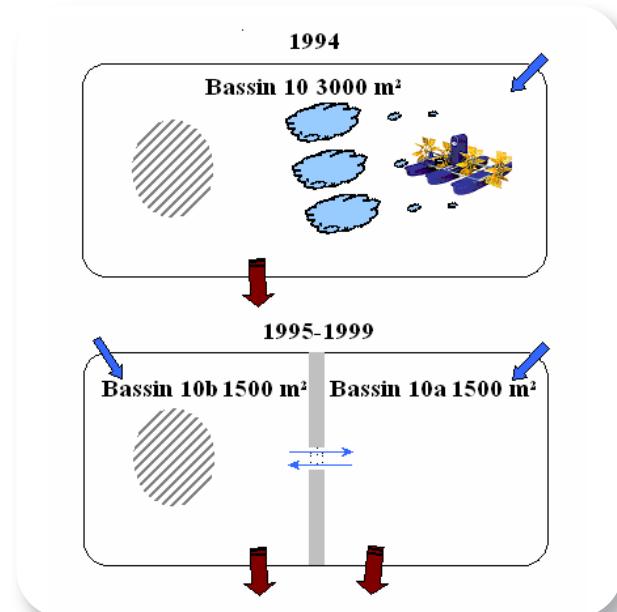


Figure 43 – Dispositif expérimental du testage de l'influence d'une lentille d'accumulation sur les paramètres zootechniques d'élevage.

En 1994, par le double effet d'un surnourrissage d'un élevage intensif à  $40/m^2$  (survie médiocre de 24% et indice de conversion élevé de 3,5) et de la concentration de la boue en une zone par l'action d'un unique aérateur excentré, se crée une lentille de boue noire sentant l'œuf pourri de 25 cm d'épaisseur dans un bassin rectangulaire de  $3 000 m^2$  du DAC. Afin d'étudier, l'impact d'une telle zone sur les paramètres d'élevage, le bassin d'origine est divisé en deux unités de  $1 500 m^2$  séparées par une digue. Chaque demi bassin est équipé d'une entrée et d'une sortie d'eau indépendantes. Un moine de communication disposant d'un filtre isolant les deux populations de crevettes mais permettant d'avoir la même eau dans les deux enceintes est édifié. Durant six élevages consécutifs (1995-1999), le bassin 10 a est labouré sur toute sa surface à l'assèc alors que la lentille de boue de la partie 10 b est laissée en l'état.

Globalement, la présence de la lentille d'accumulation affecte les indices de conversion, les survies et les coefficients de variation du poids des crevettes (tableau 37). L'effet sur la croissance est moins net en raison de l'interaction densité-croissance : une survie plus faible conduit à une densité plus faible et donc à une meilleure croissance via l'effet comportemental /la densité et/ou via l'effet taux de nutrition résultant plus élevé.

Tableau 37 – Effet du maintien d'une lentille d'accumulation non travaillée à l'assèc sur les paramètres zootechniques d'élevages semi-intensifs ( $18-24/m^2$ ) réalisés sur deux demi bassins de  $1500 m^2$  (10a :  $\frac{1}{2}$  bassin sain ; 10b :  $\frac{1}{2}$  bassin avec lentille d'accumulation).

BASSIN	Ensemencement	Durée d'élevage (jours)	Survie (%)	Poids final (g)	Coef. Variation (%)	Charge finale (g/m <sup>2</sup> )	Indice Conv.
10 a	7-juin-95 (saison fraîche)	177	40,90 39,50	19,0 16,2	14,30 18,50	157 147	1,37 2,19
10 a	2-févr.-96 (saison intermédiaire)	211	47,80 23,80	24,3 25,3	11,00 11,50	208 110	2,58 3,2
10 a	28-nov.-96 (saison chaude)	175	54,70 44,90	21,8 23,0	10,40 11,50	247 241	2,77 2,89
10 a	2-juil.-97 (saison fraîche)	189	56,70 55,70	21,7 21,3	10,00 10,40	237 238	1,97 2,12
10 a	9-avr.-98 (saison intermédiaire)	162	36,30 21,50	23,4 24,1	10,90 11,30	179 109	2,52 3,59
10 a	4-févr.-99 (saison intermédiaire)	125	60,50 50,40	23,4 22,1	9,80 9,80	330 272	2,13 2,52

## Autres pratiques zootechniques délétères

Lorsque les boues sont remises en suspension, les crevettes, notamment lorsqu'elles sont en mue (sans carapace protectrice), seront soumises à une balnéation nocive de :

- composés réduits toxiques produits par les bactéries anaérobies ;
- bactéries pathogènes ;
- substances fortement consommatrices d'oxygène ;
- fines minérales et organiques d'une densité proche de celle de l'eau et colmatant les branchies.

De sorte que les pratiques suivantes sont à éviter :

- le passage des bateaux à pleine vitesse lors des distributions d'aliment (jusqu'à quatre fois/jour), a fortiori dans les zones d'accumulation où la profondeur est moindre, jusqu'à plus + 30 cm d'épaisseur (Della Patrona, 2005) ;
- le raclage des chaînes des sennes, ou le *flush* violent ou la distribution de granulés en bateau à niveau bas devant le moine de pêche pour attirer les crevettes lors des pêches partielles ;
- la concentration intentionnelle des animaux devant le moine de pêche (dizaines de tonnes sur ½ hectare) pour économiser du temps de pêche conduisant à une bioturbation intense ;
- les opérations de pêche à l'épervier de grande envergure (plusieurs centaines de jets) à cause du raclage des chaînes ou des plombs ;
- l'allumage synchrone de tous les aérateurs à niveau bas et/ou en particulier ceux du type Aire02® pour lesquels la profondeur du bassin est rarement suffisante ;
- l'aération, avec des bateaux à moteur hors-bord, des bassins ne disposant pas d'aérateurs en cas d'oxygène très bas.

## 2.6. Les boues bien gérées : un atout pour les élevages suivants

Il est pratiquement impossible d'avoir un bassin dont 100% de la surface présente des conditions aérobies. Les macro- et micro-environnements anaérobies sont normaux dans les élevages crevetticoles même si on mesure des valeurs d'oxygène parfaitement favorables juste au-dessus de ces zones (Horowitz et Horowitz, 2000b).

Ces boues bien gérées (oxydées au cours de l'assèc) seront d'une très grande utilité pour la fertilité au démarrage (flux de sels nutritifs) ou pour le fonctionnement harmonieux (boucle d'épuration microbienne) de l'écosystème-bassin en cours d'élevage. Insuffisamment prises en compte, elles deviendront de véritables bombes à retardement pour la santé du cheptel (Avnimelech et Ritvo, 2003).

## 2.6.1. Bases biologiques du traitement des boues

### Influence de la composition de la MO

#### Teneur en MO ou Carbone Organique

Dans une synthèse de toutes les analyses réalisées sur les bassins de Nouvelle-Calédonie, Guyotte (2005) révèle que les sédiments ne contiennent en moyenne que 2,4% de matière organique (équivalent à 1,28% de carbone organique en utilisant le facteur de conversion de 1,9 (Nelson et Sommers, 1982). Ces sédiments sont désignés comme des sols de type minéral. Cette valeur est proche de la moyenne de 1,41% (Carbone Organique) déterminée par Boyd (1992b) sur 235 bassins d'élevages semi-intensifs et intensifs de crevettes d'Équateur, de Colombie, de Thaïlande et des Philippines.

Boyd (2003) considère comme trop faibles des valeurs de carbone organique (CO<sub>Org</sub>) inférieures à 0,3% (MO < 0,5%) et trop élevées des teneurs de CO<sub>Org</sub> supérieures à 1,6-2,1 (MO 3-4%).

Dans le sédiment, la teneur en MO diminue avec la profondeur. La concentration est de 10 à 30% plus élevée dans la fraction 0 à 5 cm que dans celle comprise entre 5 et 10 cm (Ayub *et al.*, 1993). De sorte qu'il est important de bien repérer les horizons d'origine (substrat pédologique) de ceux créés par la sédimentation avant toute intervention de type prélèvement d'échantillon pour analyse et/ou pour le traitement à l'assèc.

#### Différents types de MO

En général, la matière organique qui a été désagréée en petits fragments et qui ne contient que peu de fibres végétales - le contraire sont des sols de types fibrillaires, sapriques et/ou humiques - se décompose plus rapidement. Durant la dégradation, la proportion des matières les plus lentes à consommer par l'activité bactérienne augmente (au fur et à mesure que diminuent celles qui sont plus rapidement décomposables).

Schnitzer (1982) divise les matières organiques en deux grands types : les substances humiques et non humiques. Les composés non humiques regroupent les sucres, les protéines, les acides aminés, les graisses, les cires, *etc.*, qui se décomposent facilement. Les matières humiques, résidus de la décomposition des matières non humiques, sont très difficiles à dégrader.

La MO d'un sol de type minéral contient de 65 à 75% de substances humiques. Les fonds des bassins à crevettes de Nouvelle-Calédonie (2,4% de MO) ne contiennent que de 0,6 à 0,8% de MO facilement dégradable.

Boyd (1992a) différencie les matières organiques sédimentaires d'un bassin crevetticole :

- la MO organique fraîche issue du granulé non consommé ou des fines, les excréments des crevettes, les cadavres (phyto, zoo plancton et benthos) de l'élevage en cours ;
- la MO plus ou moins décomposée des élevages précédents ;
- la MO qui se trouvait à l'origine dans le sédiment à la construction de la ferme.

Il est logique que le rapport composés non humiques/ composés humiques soit plus élevé pour la MO fraîche, moyen pour la MO originale des élevages

précédents et très faible pour celle du tanne initial. Plus le ratio est fort et plus complète sera la digestion de cette MO.

### Rapport C/N

Les bactéries ont besoin d'éléments nutritifs dont la plupart sont présents dans la MO. Le rapport Carbone/Azote (C/N) est important pour ces microorganismes très riches en protéines. La teneur en carbone organique de la MO est quasi stable alors que la teneur en azote est très variable. De sorte que le type de MO qui présente un rapport C/N faible ( $\approx 10$  à  $15$ ) sera plus rapidement dégradée que celui qui possède un ratio plus élevé ( $> 30$  -  $40$ ).

Dans sa synthèse des analyses spécifiques des bassins de Nouvelle-Calédonie, Guyotte (2005) relève des rapports moyens C/N de 16,02 pour les tannes, de 10,18 et 10,01 pour les sédiments de bassins semi-intensifs et intensifs. De telles valeurs aux alentours de 10 signifient, pour Boyd (1992 a et b), que les bactéries ne seront pas limitées par les quantités présentes d'azote pour décomposer le type de MO contenue dans les sédiments des fermes aquacoles de Calédonie, la limitation par l'azote intervenant pour des rapports C/N plus élevés.

### Rapport Protéines/Glucides

Le rapport protéines/glucides ou hydrates de carbone composant la MO sédimentaire constitue un bon descripteur de sa qualité nutritionnelle (Mirto *et al.*, 2004). C'est-à-dire de la fraction qui est facilement utilisable par les bactéries (Fichez, 1991). C'est également un très bon indicateur d'eutrophisation-accumulation de MO (Fabiano *et al.*, 2003) utilisé pour caractériser les sédiments sous les cages à poisson en mer (Mazzola *et al.*, 1999 ; Mazzola *et al.*, 2000).

Della Patrona et Herblard (non publié) ont effectué des suivis de ce rapport sur des zones d'accumulations, saines et inondées en permanence des bassins d'élevage semi-intensifs de Nouvelle-Calédonie ([figure 44](#)). Ce rapport utilisé pour la première fois dans le contexte des sédiments crevetticoles permet de discriminer nettement les zones suivant l'importance des accumulations et leur traitement à l'assèc.

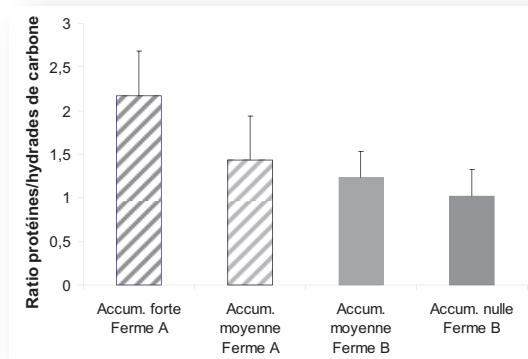


Figure 44 – Rapport protéines/hydrates de carbone dans les différentes zones : saine, à faibles accumulations, inondée en permanence à l'assèc et à fortes accumulations de bassins semi-intensifs de Nouvelle-Calédonie.

Il est également très informatif de l'évolution de l'état de la matière organique au cours d'élevage ([figure 45](#)).

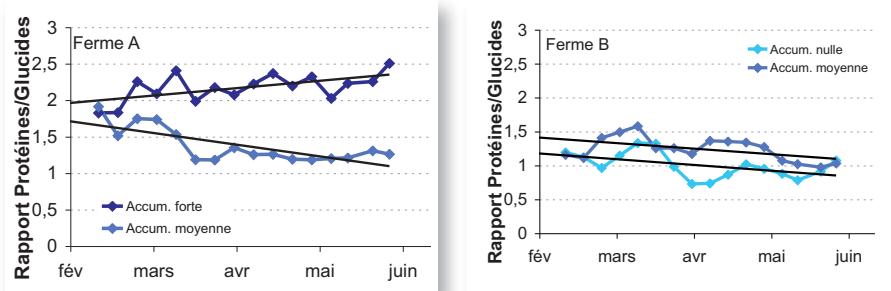


Figure 45 – Evolution du rapport protéines/glucides de la matière organique sédimentaire dans les différentes zones : saine, à faible accumulation, inondée en permanence à l'assec et à fortes accumulations de bassins semi-intensifs de Nouvelle-Calédonie.

## Température

La croissance des bactéries est optimale dans la gamme de température 25-35 °C (Boyd, 1992b). De sorte qu'il est plausible qu'en saison fraîche (température de l'air < 15°C), la décomposition de la matière organique soit ralenti au cours de l'assec des bassins de Calédonie.

## pH

La gamme la plus favorable pour la décomposition de la MO, mesurée par la respiration du sédiment exprimée en mg de carbone par 100 cm<sup>-2</sup>, est 7,5 - 8,0 (Boyd et Pippopinyo, 1994 ; Boyd, 1992a) (figure 46).

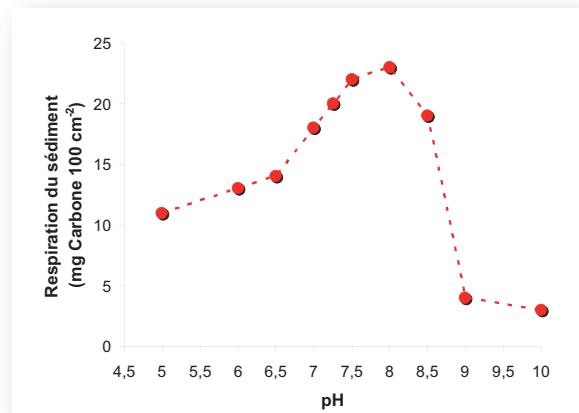


Figure 46 – Influence du pH sur l'évolution du % de carbone organique dans un sédiment maintenu à une température et un taux d'humidité optimaux (Boyd, 1992a).

La distribution des valeurs de pH des sols des fonds de bassins de Calédonie (Guyotte, 2005) révèle que la majorité d'entre eux se situe dans une gamme relativement favorable (figure 47).

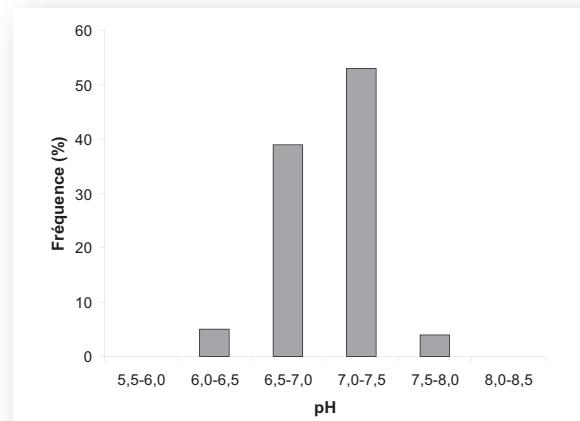
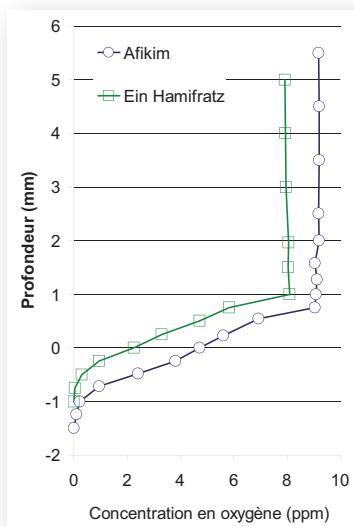


Figure 47 – Fréquence de distribution des valeurs de pH *in situ* des fonds de bassins des élevages de crevettes semi-intensifs et intensifs de Calédonie (Guyotte, 2005).

La mesure du pH en laboratoire s'opère de la manière suivante. Après broyage et tamisage sur une maille de 2 mm, l'échantillon de sédiment est homogénéisé dans de l'eau distillée dans la proportion 5 g pour 12,5 ml. Le flacon contenant la solution est placé sur un agitateur « ping-pong » pendant au minimum 1 heure à 250-300 tr/min. L'homogénéisation se poursuit en plaçant l'échantillon sur un agitateur magnétique (barreau aimanté de 20 mm, force 2). La mesure est réalisée en immergeant totalement la sonde et en attendant une bonne stabilisation de l'appareil (quelques minutes).

## Oxygène

### Pénétration de l'oxygène



L'oxygène ne pénètre pas profondément ( $\approx$  un millimètre selon Meijer et Avnimelech, 1999) dans les fonds de bassins aquacoles (figure 48).

Figure 48 – Profil d'oxygène mesuré à l'aide de microélectrodes dans des carottes sédimentaires de deux bassins d'élevage intensif de tilapias en Israël (Ein Hamifratz et Afikim). Les concentrations en oxygène diminuent de manière linéaire de 100 à 50% de la saturation dans le 1<sup>er</sup> mm de la couche d'eau au-dessus de la surface du sédiment. L'oxygène est complètement consommé à la profondeur de 1 et 1,25mm respectivement dans les bassins de Ein Hamifratz et Afikim. (Meijer et Avnimelech, 1999).

Les accumulations à l'aspect noir-olive gélatineux que l'on observe au fond des bassins de crevettes sont recouvertes d'un biofilm bactérien de quelques centaines de micron ( $1 \mu\text{m} = 1 \text{ millième de mm}$ ) d'épaisseur. En présence d'une teneur élevée en matière organique, l'oxygène n'arrive à pénétrer que dans les 30 ou 50 premiers  $\mu\text{m}$  (Horowitz et Horowitz, 2000b).

Dans un bassin sans aérateur, l'oxygène transféré de l'atmosphère à l'eau du bassin, puis diffusant dans la colonne d'eau n'arrive que difficilement jusqu'au fond où il se trouve freiné par la couche floculente stagnante juste au-dessus du

sol. La diffusion de l'eau chargée d'oxygène à travers l'interface eau-sédiment et la percolation dans l'épaisseur de celui-ci se fera d'autant mieux que l'espace entre les particules du sol est grand (Boyd, 1992a) (figure 49).

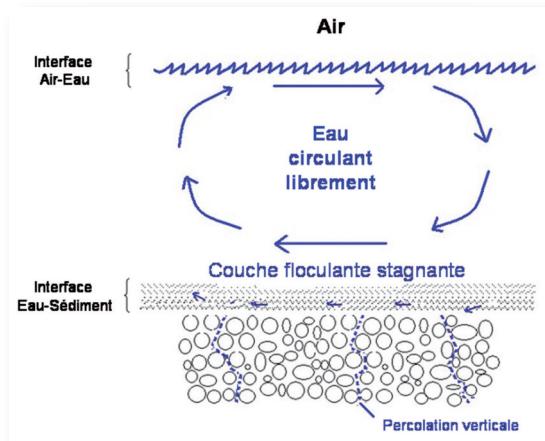


Figure 49– Modèle du mouvement de l'eau et des substances dans la colonne d'eau et le sédiment d'un bassin (Boyd, 1990).

En conséquence, un sédiment de granulométrie plus grossière (sableux) permettra une décomposition plus rapide qu'un autre plus fin (argileux) en raison d'une pénétration plus aisée de l'oxygène dissous (Allan *et al.*, 1995). Inversement, la dégradation bactérienne de la matière organique enfouie sera plus lente dans l'épaisseur des zones d'accumulations où s'amoncellent justement les particules les plus fines du bassin (Burford *et al.*, 1998).

### **Effet de l'oxygène sur le taux de dégradation de la matière organique labile et réfractaire**

La matière organique labile (fraîche) déposée à la surface du sédiment est décomposée aussi vite en milieu aérobie qu'anaérobiose pour deux raisons :

- elle est constituée essentiellement de flocons des dépôts récents de phyto- et zooplancton, de fines d'aliments et des fèces ;
- elle n'a pas eu le temps d'être adsorbée sur les particules minérales (Hulthe *et al.*, 1997).

Au contraire, la vitesse de décomposition de la vieille matière organique réfractaire et/ou des composés complexes adhérant sur les particules du sédiment est plus rapide en milieu oxygéné (Kristensen *et al.*, 1995). Avec le temps et la profondeur d'enfouissement, une part de plus en plus importante de la matière organique adhère sur les grains du sédiment et les interstices sont de plus en plus étroits. Les bactéries anaérobies ne sont pas aussi bien équipées pour digérer ce type de matière organique que les aérobies. Ces dernières libèrent en effet de l'eau oxygénée  $H_2O_2$  capable de diffuser dans les micros interstices et de décoller puis de dégrader la matière organique adsorbée sur les particules (Hulthe *et al.*, 1997).

### **Taux d'humidité et durée de l'assèc**

De l'eau de mer bien oxygénée,  $\approx$  à 7 mg/L, renferme 0,57% d'oxygène alors que l'air en contient 21%.

De sorte que lorsque les bassins sont asséchés et que le sol est exposé à l'air, la décomposition de la matière organique est beaucoup plus rapide que lorsque le bassin était en eau, du fait de la concentration en oxygène plus élevée.

La vitesse de dégradation est généralement extrêmement élevée durant les trois

premiers jours puis diminue. Ce phénomène est lié d'une part à la diminution de la matière organique mais également à la teneur en eau du sédiment qui baisse. En effet, après une pluie, la décomposition redémarre activement (Boyd, 1992a) ([figure 50](#)). Toutefois, dans un sol saturé en eau, la digestion de la MO est ralenti car l'air n'arrive pas directement au contact du sol ; l'oxygène doit diffuser à travers la couche d'eau avant d'atteindre le sédiment.

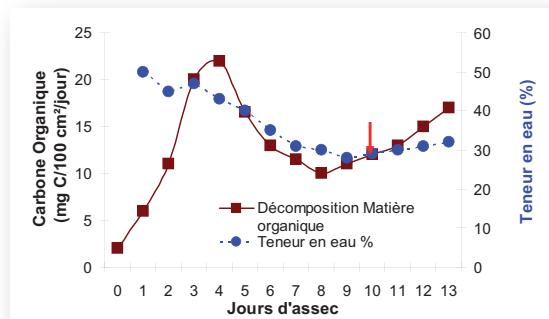


Figure 50 - Influence de la teneur en eau du sédiment sur la décomposition de la matière organique à l'assec et après une pluie (Boyd, 1992a).

Pour que les processus d'oxydation de la MO soient efficaces, la gamme optimale du taux d'humidité doit se situer entre 10 et 20% (Boyd, 1992a ; Boyd et Pippopinyo, 1994). On peut déterminer ce taux grossièrement sur le terrain en pesant assez précisément une quantité de sédiment avant et après séchage au four pendant 48 h à 60 °C (1 kg = 800-900 g). En maintenant artificiellement (arroseur, motopompe, drains agricole, etc.) un taux d'humidité adéquate au cours de l'assèc, on favorisera une dégradation bactérienne optimale sur une zone ciblée.

Pulvériser le sédiment est une pratique qui, expérimentalement, accélère grandement la décomposition bactérienne (Boyd et Pippopinyo, 1994). Lorsqu'on emploie le rotavator et/ou les griffes et/ou la grille (termes calédoniens), on cherche à bon escient à fragmenter les accumulations de MO le plus possible jusqu'à l'obtention d'une texture voisine d'une poudre, pour offrir un maximum de contact avec l'oxygène de l'air et optimiser la dégradation bactérienne (Boyd et Teichert-Coddington, 1994). En contrepartie, l'émission accélère fortement l'assèchement du sol par évaporation ce qui ralentit l'activité bactérienne ou l'arrête définitivement. La durée raisonnable pour décomposer la MO labile est de deux à trois semaines (Boyd, 1992a et 2003 ; Clifford, 1997 ; Munsiri *et al.*, 1996).

## 2.6.2. Gestion zootechnique des accumulations

### A la construction de la ferme

Le management des accumulations commence à la construction de la ferme. La forme des bassins doit tenir compte de l'effet du vent, éviter les angles morts et privilégier les formes arrondies. C'est à la première mise en eau que l'essentiel des fines est arraché des digues neuves. De sorte qu'il est vivement conseillé de protéger à l'aide d'un géotextile les surfaces susceptibles d'être aisément érodées au démarrage du premier cycle. Un canal d'aménée d'eau surdimensionné en largeur permettra une réduction de la vitesse du flux et une sédimentation plus importante qui limitera les apports au bassin (Boyd, 1992a).

### En cours d'élevage

#### Nourrissage

Le second principe est de limiter quantitativement et spatialement la formation des accumulations au cours de l'élevage. On a vu qu'une des premières sources

d'accumulation de MO est le granulé donné au cheptel. Il est donc essentiel d'avoir une stratégie de gestion optimisée du nourrissage en utilisant des mangeoires afin de limiter les quantités non consommées. Il est fortement conseillé d'étaler au mieux, lors de chacun des repas journaliers, le granulé sur toute la surface du bassin favorable à la crevette et d'éviter de suivre toujours les mêmes circuits de distribution. En outre, il faut disposer d'un potentiel d'aération adéquat pour apporter l'oxygène nécessaire à la boucle bactérienne afin d'éliminer plus efficacement cette matière organique (Horowitz et Horowitz, 2000b), en particulier la fraction qui se retrouve rapidement enfouie (Hulthe *et al.*, 1997). La maîtrise de la gestion de l'alimentation qui contribue à réduire l'eutrophisation du bassin, limitera les quantités de MO issues des chutes de blooms de phytoplancton (Chien, 1989).

## Aération

Avnimelech et Ritvo (2001) reconnaissent la difficulté d'oxygénier par des moyens mécaniques 100% de la surface des bassins intensifs traditionnellement de surface limitée à quelques milliers de m<sup>2</sup>. De sorte que l'opération devient quasiment impossible dans le contexte calédonien (plusieurs hectares). Néanmoins, positionner à bon escient les aérateurs pour concentrer les accumulations en un seul point (Avnimelech et Ritvo, 2003) et disposer de caniveaux-piège à sédiment en bord de la digue sous le vent (Peterson, 2001) sont deux moyens de gestion très efficaces des zones de boues.

## A l'assèc

### *Flush* (chasse d'eau)

Chien (1992) et Clifford (1997) recommandent vivement d'effectuer une chasse d'eau brutale pour nettoyer les boues encore liquides immédiatement après la vidange finale car celles-ci ont tendance à se gélifier (Hopkins, 1994) très rapidement rendant difficile leur élimination ultérieure par ce procédé. Toutefois cette pratique est très polluante pour l'environnement immédiat du bassin et fortement déconseillée si une autre ferme est susceptible de repomper une partie des rejets (Clifford, 1997). La pratique du *flush* n'est admissible que dans la mesure où des bassins de sédimentation de taille appropriée (Peterson, 2001 ; Rosati et Resrecio, 2000) sont construits pour absorber ces décharges (Teichert-Coddington *et al.*, 1999 ; Schwartz et Boyd, 1995).

### Soustraction mécanique de la boue

Il existe une controverse sur l'utilité de gratter ou non les fonds de bassin. Boyd *et al.*, (1994a) affirment qu'il n'existe aucune raison valable pour extraire les sédiments suspects d'un bassin et conseillent d'étaler les accumulations sur les endroits érodés. Chien (1989) et Horowitz et Horowitz (2000b) recommandent d'effectuer systématiquement cette pratique à l'assèc. Dans une expérimentation très connue, Hopkins *et al.*, (1994) ont comparé les trois traitements suivants dans des bassins intensifs (44/m<sup>2</sup>) de *L. setiferus* sans renouvellement :

- élevages avec lentille de boue laissée en place *remain*① ;
- boue remise en suspension *resuspend*② ;
- boue retirée du bassin *remove*③.
- Ils obtiennent les survies respectives pour les tests *remain*①, *remove*③ et *resuspend*② : 20%, 33% et 54% ; le traitement *remove*③ limitant toutefois les concentrations de certaines variables connues pour être défavorables à la crevette.
- Yuvanatemiya et Boyd (2006) montrent que l'extraction des vieilles accumulations (12-34 ans) des bassins aquacoles améliore les caractéristiques physico chimiques des sédiments.

En conclusion, cette pratique revêt des aspects positifs ou négatifs suivant l'ampleur

du phénomène. Le retrait de la matière organique des sédiments contribue effectivement à la diminution de la demande en oxygène de ceux-ci, donc à minimiser les risques que de vastes zones anaérobies ne se développent (Yuvanatemiya et Boyd (2006). Elle conduit à des teneurs plus faibles en ammoniac et en phosphore. Elle ralentit l'eutrophisation (exprimée par la fluorescence *in vivo*) Hopkins *et al.*, (1994). Mais, l'élimination de l'azote, du phosphore et des autres sels nutritifs du sédiment peut interférer négativement sur la productivité du bassin. Les travaux d'extraction, de resurfaçage et d'enlèvement ont un coût non négligeable. Le stockage des déblais pose un véritable problème. Ils prennent de la place sur le site, défigurent le paysage et relarguent des quantités importantes de sels lorsqu'il pleut (Boyd *et al.*, 1994a). Gratter, pousser et étaler les accumulations sur les digues permet une certaine oxydation de celles-ci. Mais à la première pluie, la boue est lessivée et retombe au pied des digues, endroit du bassin le plus prisé des crevettes, et peut conduire à affaiblir les animaux (Chien, 1989). Il est donc préférable d'éliminer la boue par d'autres moyens.

### **Accélération de la décomposition bactérienne des boues**

Le meilleur moyen d'éliminer la boue est de favoriser sa digestion par les bactéries.

#### Assèchement du bassin

Assécher les bassins entre les élevages est une pratique vivement recommandée par Boyd et Teichert-Coddington (1994) car c'est un moyen efficace d'accélérer la décomposition de la MO. L'assèc permet une exposition du sol à l'oxygène de l'air. L'assèchement seul conduit à une bonne diminution des MAO, de la DOS, des sulfures et autres composés réduits consommateurs d'oxygène des boues (Avnimelech *et al.*, 2004).

Ram *et al.*, (1982) rappellent que si la pratique de l'assèc est capable de conduire à l'oxydation par l'oxygène de l'air d'une partie de la matière organique, il ne semble pas que cette technique soit capable d'affecter la flore bactérienne résidente à un point tel que cette dernière ne puisse se réinstaller dès que les conditions d'humidité redeviennent favorables. Smith (1992) a évalué le nombre de bactéries du sédiment au démarrage et à la fin d'un assèc de 5 mois dans plusieurs bassins de fermes intensives de *P. monodon* en Australie ainsi que dans la mangrove près de ces sites. Il montre qu'il n'existe aucune influence de l'assèc de cinq mois sur le nombre total des bactéries hétérotrophes mais observe une baisse notable des vibrios. Toutefois, cet effet n'est que temporaire puisqu'il ne faut que 48h pour que la concentration en vibrios ne revienne à son niveau initial ( $10^2$  CFU/ml à  $10^6$  CFU/ml en 48h).

#### Travail mécanique

Il s'agit d'augmenter au maximum la surface d'exposition à l'oxygène de l'air. Les fonds ne doivent être travaillés que dans les aires d'accumulations et en tenant compte de la hauteur de celles-ci. Il est impératif de les repérer spatialement (piquets) et en épaisseur (marquer avec des plots en ciment) au moment de la vidange finale lorsque celles-ci sont très apparentes (gorgées d'eau) (Clifford, 1997).

#### Maintien de l'humidité du sédiment

Dès que la teneur en eau baisse en dessous de 10% et en absence de pluie, il faut remouiller les zones concernées (motopompes, arroseurs plutôt que remplissage par le moine d'entrée) faute de quoi l'activité bactérienne cesse et ces journées deviennent contreproductives (Boyd, 1992a). Ces procédures excluent la pratique du remplissage suivi de revidange qui conduit au contraire de l'effet recherché et notamment à un lessivage des sels nutritifs favorisant l'activité bactérienne.

## Chaulage et ses effets

Le pH le plus favorable à la dégradation microbienne est situé dans la norme : 7,5 - 8 (Boyd et Pippopinyo, 1994). Il est donc conseillé d'ajuster le pH du sol dans la gamme adéquate en faisant des amendements calciques.

Favorables à la vie aquacole, les apports calciques doivent être pratiqués avec cohérence et précaution selon le rôle préventif ou curatif souhaité (Weigel, 1993). On peut amender pour accélérer la minéralisation de la matière organique mais en profiter pour améliorer la texture du sédiment (porosité et compacité) et contrôler l'acidité du sol.

Il existe une certaine confusion entre les différents types de produits (chaux vive, chaux éteinte, carbonate de calcium, chaux agricole, croûte calcaire, gypse, etc.) à utiliser et leur adéquation par rapport à l'effet recherché (Peterson et Daniels, 1992).

Les trois produits les plus couramment utilisés pour le chaulage des bassins aquacoles sont : la croûte calcaire pulvérisée, la chaux vive et la chaux hydratée. Les gisements naturels de calcaire se composent de carbonate de calcium seul ou d'un mélange de carbonates de calcium et de magnésium. La croûte calcaire est extraite et broyée finement (1,70 mm à < 0,24 mm). Elle est alors appelée chaux agricole. La chaux vive est obtenue après chauffage de la croûte calcaire dans un four spécial. La chaux hydratée ou hydroxyde de calcium est obtenue après traitement aqueux de la chaux vive. Chaux vive et éteinte peuvent éventuellement contenir de l'oxyde de magnésium (Boyd, 1992a).

### Amélioration de la texture du sédiment par ajout de calcium

L'apport d'ions calcium permet de conserver un fond de bassin plus compact et d'éviter l'envasement qui se produit à cause des particules argileuses qui forment un colloïde, sorte de crème à la consistance de gelée qui colmate la couche superficielle du sédiment. Son ajout augmente la perméabilité de la couche superficielle du sol (Griessinger *et al.*, 1991). Il provoque la formation d'agrégats (le fameux complexe argilo humique en agriculture) qui aèrent le sédiment (Boyd, 1992a). Une bonne circulation de l'eau interstitielle entre les grains du sédiment permet de maintenir des échanges d'ions et de gaz dissous avec l'eau au-dessus. Une structure perméable et stable obtenue par amendement calcique conduit à un développement accru de la production naturelle du bassin. En effet, il existe un lien étroit entre la nature du sédiment et le développement de la méiofaune qui s'y développe (Giere, 1993).

### Contrôle de l'acidité du sol

On peut relever le pH des sols acides ( $\text{pH} < 7,0$ ) par de la chaux vive  $\text{CaO}$ , de la chaux éteinte  $\text{Ca(OH)}_2$ , de la chaux agricole ou carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$ , ou de la dolomie  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ .

On peut également diminuer le pH des sols ultra basiques ( $\text{pH} > 8,5$ ) avec du gypse  $\text{CaSO}_4$  (Martin, 1987a et b ; Weigel, 1993).

Mode d'action des différents amendements :

**A. CHAUX**

Chaux vive CaO       $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$  (eau)  $\leftrightarrow \text{Ca(OH)}_2$       Chaux éteinte

\*  $\text{Ca}^{2+}$  qui se dissout dans l'eau ou se fixe pour former un complexe argilo humique  $\text{Ca(OH)}_2$

\* les 2 (OH) qui se combinent avec  $2\text{H}^+$  pour donner de l'eau  $2\text{H}_2\text{O}$

**Dans ce cas l'élévation de pH est forte et immédiate**

**B. CARBONATE DE CALCIUM**

\* Carbonate  $\text{CaCO}_3$        $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Ca}(\text{CO}_3\text{H})_2$  Bicarbonate de calcium

\*  $\text{Ca}^{2+}$  qui se dissout dans l'eau ou se fixe pour former un complexe argilo humique  $\text{Ca}(\text{CO}_3\text{H})_2$

\* les 2  $\text{CO}_3\text{H}^-$  se combinent avec  $2\text{H}^+$  pour donner un acide (faible) carbonique

**Dans ce cas l'élévation de pH est plus faible car restreinte par l'acide faible  $2\text{H}_2\text{CO}_3$**

**C. GYPSE**

\*  $\text{Ca}^{2+}$  qui se dissout dans l'eau ou se fixe pour former un complexe argilo humique Gypse  $\text{CaSO}_4$

\*  $\text{SO}_4^{2-}$  qui se combine avec  $2\text{H}^+$  pour donner de l'acide (fort) sulfurique

**Dans ce cas l'élévation de pH est quasi nulle car neutralisée par l'acide fort  $\text{H}_2\text{SO}_4$**

Efficacité et valeur d'un amendement calcique

La valeur neutralisante mesure la capacité de l'amendement à ramener le pH à la neutralité ( $\approx 7$ ). Une valeur neutralisante de 100 % correspond à un carbonate de calcium pur (Boyd et Daniels, 1993).

L'effet d'un amendement calcique dépend de sa solubilité et de son pouvoir neutralisant (Weigel, 1993). La solubilité dépend de la nature du produit : la chaux est plus soluble que le carbonate de calcium. Elle dépend également de sa granulométrie : un produit finement broyé est plus soluble qu'un autre plus grossier (Griessinger *et al.*, 1991). Clifford (1997) considère comme optimal un type de carbonate de calcium dont 90 % passent au travers d'un tamis de 250 µm.

Utilisation

La chaux vive CaO est un produit assez soluble et très corrosif, la chaux éteinte  $\text{Ca(OH)}_2$  l'étant beaucoup moins. Leur agressivité chimique en fait des produits très utiles pour la désinfection des bassins, notamment certains pathogènes tels les virus, aux doses respectives de 1 500 kg/ha et 5 000 kg/ha (Bell et Lightner, 1992). Pour que l'élévation de pH soit maximale, Boyd (1995b) recommande d'utiliser les produits les plus purs et les plus fins disponibles sur le marché. Une augmentation trop forte du pH sera également létale pour tous les organismes décomposeurs de la matière organique du bassin (Boyd et Daniels, 1993). En ce sens, ce n'est pas de la chaux qu'il faut utiliser pour favoriser la décomposition bactérienne des boues mais plutôt du carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$  (Boyd, 1992a).

Cependant, lorsque l'on ajoute de la chaux vive sur un sol suffisamment humide, celle-ci va se transformer immédiatement en chaux éteinte au contact de l'eau. La chaux vive et la chaux éteinte vont ensuite réagir rapidement avec le gaz carbonique de l'air  $\text{CO}_2$ , pour se transformer en carbonate de calcium. De sorte que l'ajustement du pH dans la gamme de 7,5 - 8,0 favorable à l'activité bactérienne peut être obtenu indifféremment par ces trois produits que sont la chaux, la chaux éteinte et la chaux agricole (Boyd et Pippopinyio, 1994). Toutefois, il est préférable d'utiliser cette dernière car elle n'est pas caustique et ne nécessite donc pas d'équipement de protection particulier pour son épandage (Weigel, 1993).

Doses préconisées

L'épandage sur les accumulations doit se faire dès qu'un engin est capable d'y travailler. Clifford (1997) préconise une première application de 50 % de la dose préconisée à étaler le plus uniformément possible sur la zone concernée. Il conseille d'épandre la seconde moitié une fois le bassin labouré.

Boyd (1992a) recommande de ne pas chauler si le pH du sol est supérieur à 7,5 voire 7. Toutefois, Clifford (1997) considère que vu le faible coût de cet apport comparativement aux autres postes du fonctionnement d'un élevage, il ne faut pas lésiner sur cet amendement qui peut apporter d'autres effets favorables pour l'écosystème bassin.

Les apports préconisés diffèrent quelque peu suivant les auteurs (Tableaux 38, 39, 40).

Tableau 38 - Apport calcique en fonction du pH (Pillai et Boyd, 1985).

pH sol	chaux agricole (kg/ha)
< 5,0	3 000
5,0 - 6,0	2 000
6,0 - 7,0	1 000

Tableau 39 – Apport calcique en fonction du pH (Clifford, 1997).

pH sol	chaux agricole (kg/ha)
< 4,5	3 000
4,5 - 4,9	2 000
5,0 - 5,4	1 500
5,5 - 5,9	1 000
6,0 - 7,0	500
> 7,0	0

Tableau 40 – Apport calcique en fonction du pH et du type de sédiment en kg/ha de CaCO<sub>3</sub> (Martin, 1987a et b).

pH sol	sol argileux	sol limoneux	sol sableux
4,0 - 4,5	9 000	6 000	5 000
4,5 - 5,0	7 000	5 000	3 600
5,0 - 5,5	5 000	3 600	1 800
5,5 - 6,0	3 600	1 800	1 000
6,0 - 6,5	1 800	1 000	0

### Contre-indication

Un chaulage excessif conduit au piégeage sous une forme insoluble du phosphore du sédiment et à sa bio-indisponibilité pour la croissance du phytoplancton (Chien, 1989). Il est à noter que les bassins naturellement riches en calcium présentent des teneurs en phosphates plus faibles et nécessitent une fertilisation en phosphore plus importante. En effet, le calcium réduit la solubilité du phosphore puisque ces deux éléments tendent à précipiter sous forme de phosphate bicalcique (Weigel, 1994). Il faut donc éviter d'amender avec un apport calcique simultanément avec un engrais phosphaté pour éviter la formation d'un composé insoluble (Weigel, 1993). Un délai de trois semaines est recommandé entre les deux types d'apports (Griessinger *et al.*, 1991).

### Apport d'azote

La dégradation de la matière organique sédimentaire par les bactéries est influencée par la disponibilité en azote (Boyd, 1995b). De sorte que l'ajout d'engrais azoté est supposé avoir un effet positif sur la vitesse de minéralisation des boues à l'assèc. L'effet est d'autant plus net que le taux de MO est élevé. Dans le cas de sédiments présentant un taux exceptionnellement élevé de MO, un apport de 200 à 400 kg/ha stimule significativement l'activité bactérienne (Boyd, 2003).

#### • Urée

L'efficacité de l'urée (engrais azoté le moins cher), pour accélérer la décomposition de la matière organique (carbone organique) à l'assèc, varie avec les quantités apportées. Pour des doses de 22 kg/ha (Ayub *et al.*, 1993), 24 et 48 kg/ha (Rivera, 1992) aucun effet sur la diminution de la concentration du carbone organique n'est

observé. Toutefois, au taux de 72 kg/ha Rivera (1992) note une légère baisse du pourcentage de carbone organique au bout d'une dizaine de jours.

### • Nitrates

Boyd (1995b) observe que l'épandage de nitrate de sodium, après incorporation au sédiment par un labour à l'assèc, accélère significativement la dégradation bactérienne. En conditions expérimentales et à la concentration de 600 mg/kg de sédiment, Boyd et Pippopinyo (1994) obtiennent un effet significatif du nitrate d'ammonium sur la décomposition de la matière organique. Les nitrates sont doublement recommandés dans le traitement des accumulations (Boyd, 2003). D'une part, ils favorisent l'activité bactérienne en tant que source d'azote. D'autre part, ils agissent comme un oxydant modéré de la MO en comparaison avec d'autres produits très agressifs comme le chlore et le peroxyde d'hydrogène. En effet, les nitrates sont convertis préférentiellement en azote gazeux et la réaction chimique conduit à la libération d'oxygène. Même à des doses faibles de 5 mg d'azote par litre, le nitrate d'ammonium est capable d'élèver les conditions Redox (Avnimelech et Ritvo, 2003). L'ajout de nitrate de sodium est une technique employée pour maintenir une fine couche oxygénée au fond des bassins aquacoles (Avnimelech et Zohar, 1986). Lawrence *et al.*, (1999) ont montré que l'ajout de nitrate de calcium  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  dans les bassins d'écrevisses dont les fonds étaient réduits par surnourrisage améliorait significativement les teneurs en oxygène dissous et les valeurs du potentiel Redox. Du fait de sa grande solubilité, Boyd (1995a) préconise d'épandre cet engrais sous forme de *chips* (pastilles) et de le mélanger au sol à l'assèc pour qu'il se dissolve lentement en cours d'élevage en produisant de l'oxygène. L'ajout de nitrates à des boues organiques de stations d'épuration empêche également la formation des sulfures  $\text{H}_2\text{S}$  et du méthane  $\text{CH}_4$  (Jenneman *et al.*, 1986), produits réduits toxiques pour les crevettes.

### Chlore

Le chlore, généralement sous sa forme hypochlorite de calcium, est utilisé au cours de l'assèc par certains aquaculteurs pour oxyder la matière organique (Boyd et Massaut, 1999). Selon Boyd (1992a) et dans les meilleures conditions, il faudrait 4 mg de produit chloré pour oxyder 1 mg de MO. De sorte qu'une action efficace de ce produit sur la MO nécessiterait des quantités rédhibitoires de chlore et des mesures de protection adaptées pour le personnel (Gråslund et Bengtsson, 2001). De trop faibles doses seront inefficaces pour oxyder la MO ; de plus le chlore éliminera les microorganismes favorables, retardant de fait la décomposition bactérienne (Boyd, 1992a). Les résidus de chlore dans le sol agiront en effet comme un désinfectant en tuant les microbes mais également les crevettes (Husnah et Lin, 2002) en endommageant notamment leurs acides nucléiques ou leurs protéines (Archer *et al.*, 1997). Boyd (1996) recommande de ne pas introduire d'animaux après ce traitement tant que les résidus chlorés n'auront pas été éliminés par l'action de la lumière solaire (48 h selon Bell et Lightner, 1992) ou détoxifiés par des produits adéquats tels que le thiosulfate de sodium (7 mg/L *vs.* 1 mg/L de résidus de chlore).

### Oxyde de Fer

En absence d'oxygène, la décomposition de la MO continue sous l'action de différents groupes de microorganismes chimioautotrophes comme les bactéries capables d'utiliser le fer et le manganèse pour leur croissance. Une baisse rapide du potentiel Redox est caractéristique d'un sédiment riche en matière organique et pauvre en fer et en manganèse (Chien, 1989).

Les composés contenant du fer ferreux  $\text{Fe}^{2+}$  ont la propriété de précipiter les sulfures  $\text{H}_2\text{S}$  présents dans la matière organique réduite en composés insolubles (Boyd, 1992a ; Avnimelech et Ritvo, 2003) non toxiques pour les crevettes. Ritvo (1999) obtient une baisse significative des teneurs en sulfures de l'eau interstitielle

d'un sol saturé en eau d'un bassin de crevettes par addition d'un oxyde de fer. Chamberlain (1988) mentionne des traitements avec des oxydes de fer en routine dans les élevages d'anguilles au Japon. Shigueno (1978) rapporte de meilleurs rendements dans des bassins de crevettes traités avec des oxydes de fer à la dose de 1 kg/m<sup>2</sup>.

## Biorémédiation, bioaugmentation, biocontrôle et probiotiques

### Introduction

La détérioration du sol et de la qualité de l'eau dans les écosystèmes aquacoles est le plus souvent associée à la décomposition de la matière organique issue de la succession des élevages. De sorte que les crevetticulteurs sont de plus en plus demandeurs de solutions miracles pour le traitement de leurs bassins. Des biotechnologies portant le nom de *bioremediation* ou *bacterial augmentation* ou probiotiques sont apparues il y a quelques années sur le marché et sont actuellement en pleine expansion (Herlin, 1999).

### Quelques définitions

- Probiotiques sensu stricto : cellules microbiennes administrées de telle manière qu'elles pénètrent dans le conduit gastrointestinal de l'animal et s'y maintiennent vivantes dans le but d'améliorer la santé de celui-ci (Gatesoupe, 1999 ; Gournier-Château *et al.*, 1994).
- Biocontrôle : éradication des organismes indésirables (ex : *Vibrio spp.* luminescent) soit par compétition/exclusion soit par activité antibiotique par des traitements bactériens ou probiotiques (ex : *Bacillus spp.*) (Moriarty, 1998 ; Maeda *et al.*, 1997).
- Bioremédiation : traitement de polluants (ex : nitrites, ammoniac) ou de déchets au moyen de microorganismes ou probiotiques (ex : bactéries nitrifiantes) qui décomposent les substances indésirables (Moriarty, 1997 ; Chiayvareesja et Boyd, 1993).

### Efficacité et valeur des probiotiques utilisés dans les bassins de grossissement

Ces produits se présentent sous différentes formes et consistent principalement en :

- inoculums de bactéries contenant des bactéries ou des spores dans un milieu qui empêche leur croissance ou leur germination jusqu'à utilisation ;
- inoculums contenant des enzymes extracellulaires, des extraits de fruits ou de plantes ;
- suspensions combinant des préparations enzymatiques et des inoculums de bactéries.

Ces concentrés sont souvent employés sur les fonds de bassins comme une panacée en espérant qu'ils :

- auront une action sur le taux de décomposition de la matière organique ;
- élèveront le taux en oxygène dissous ;
- diminueront les teneurs en nitrites, ammoniac, phosphore, dioxyde de carbone et sulfures ;
- réduiront les concentrations en cyanobactéries ;
- minimiseront les maladies ;
- augmenteront les survies ;
- amélioreront globalement la production.

Les probiotiques se sont révélés de bons moyens de substitution aux antibiotiques dans les éclosseries de crevettes (Garriquez et Arevalo, 1995 ; Rengpipat *et al.*, 1998). Toutefois, leur valeur dans un milieu ouvert comme un bassin à fond de terre de plusieurs hectares reste discutable (Van Wyk *in Anon.*, 2006a).

En effet, il existe une importante controverse (Jory, 1998) entre les deux écoles qui

font référence, sur les avantages d'utiliser des biotechnologies bactériennes dans le traitement des bassins : celle de C. E. Boyd (professeur au *Department of Fisheries and Allied Aquacultures at Auburn University, Alabama, USA*) qui doute de leur efficacité et celle de D. J.W. Moriarty (*INVE Aquaculture Health*) qui milite pour leur utilisation dans des conditions précises.

L'argumentaire de Boyd (1995a) et de ses partisans est le suivant : les bactéries sont ubiquistes ; leurs spores et leurs corps végétatifs apparaissent dans pratiquement tous les types d'environnement. Les principaux paramètres affectant leur abondance et leur activité sont la température, le pH, la disponibilité en oxygène, le taux d'humidité et la quantité et le type de substrat. L'activité bactérienne est maximale à température élevée (25 - 35 °C), à pH neutre (7,5 - 8,5), en milieu très oxygéné, pour un rapport C/N de la MO faible ≈ 15, et un substrat abondant composé de MO facilement digestible. En cours d'élevage, les principaux facteurs limitant l'activité bactérienne sont la teneur en oxygène et parfois le pH. Il y a normalement sur le fond d'un bassin de crevettes une profusion de MO labile. Si la dégradation bactérienne y fonctionne au ralenti, c'est en raison des conditions environnementales défavorables à l'activité des microorganismes dans leur globalité. De sorte qu'il est peu probable que l'ajout d'amendements bactériens ou d'enzymes extracellulaires puisse avoir une action efficace dans de telles conditions.

Horowitz et Horowitz (2000a) rapportent qu'ils n'ont jamais obtenu de résultats significatifs sur l'amélioration de la décomposition bactérienne de la matière organique et/ou de la qualité d'eau par l'utilisation de préparations bactériennes en bassins. Les résultats négatifs ou peu probants ont été confirmés par d'autres auteurs (Boyd *et al.*, 1984b ; Tucker et Lloyd, 1985 ; Chien, 1989 ; Chiayvareesajja et Boyd, 1993 ; Boyd et Pippopinyo, 1994 ; Funge-Smith et Hawthorn, 1996 ; Thoresen *et al.*, 1996 ; Boyd et Gross, 1998 ; Queiroz et Boyd, 1998 ; Queiroz *et al.*, 1998). Pour Sonnenholzer et Boyd (2000), l'inefficacité patente des probiotiques à accélérer la décomposition bactérienne de la MO vient du fait qu'en général, les sédiments aquacoles ne sont ni extrêmement riches en MO, ni complètement dépourvus de microorganismes ou d'enzymes extracellulaires. Certains bassins particuliers pourraient toutefois développer des conditions extrêmes telles que les probiotiques pourraient avoir un effet. De telles conditions n'ont pas encore été trouvées.

L'ajout de mélasses (riches en hydrates de carbone) ou de farine de blé ou de riz est souvent préconisé dans les protocoles d'utilisation de probiotiques. Il vise à augmenter le rapport C/N du sédiment qui présente souvent le profil de celui de l'aliment ≈ 9/1, ratio limitant en carbone pour l'activité bactérienne. Déplacer le ratio C/N vers ≈ 20 va effectivement conduire à une augmentation de la biomasse bactérienne dans son ensemble mais pas spécifiquement celle des probiotiques. Une disponibilité accrue en hydrates de carbone permet au pool bactérien hétérotrophe de consommer un pourcentage plus élevé de protéines de la matière organique. En contrepartie, cette biomasse de bactéries accrue va exercer une demande proportionnelle en oxygène, produire plus de dioxyde de carbone par respiration et acidifier (baisse du pH) le bassin (Van Vyk *in Anon.*, 2006a). Cette pratique souvent associée à l'utilisation d'aliment à plus faible taux de protéines (C/N plus élevé) nécessite une capacité d'aération très importante (dizaines de ch/ha) et l'ajout régulier de carbonate de calcium pour rééquilibrer le pH (Mc Intosh *et al.*, 1999). Dans ce contexte, les essais réalisés à la SASV (Della Patrona et Brun, non publié) pour modifier le rapport C/N de la MO avec de la brisure de riz et/ou de la farine de blé incorporée au sédiment au cours d'élevage semi-intensifs en bassin de terre (18 - 22/m<sup>2</sup>) ont dû être interrompus dès le démarrage. Ils ont en effet conduit à des taux d'oxygène initiaux très faibles (en l'absence d'aérateurs) et à des dépôts moisissus qui ont perduré tout au long de l'élevage et au cours du suivant (*L. stylostriis* n'utilise pas ces déchets organiques).

Mc Neil (*in Anon.*, 2006a) conclut que sur les 33 probiotiques qu'il a testés dans

différents types d'enceintes, la plupart n'avaient aucune action sur la modification de la flore bactérienne. Ceux qui en étaient capables ne le faisaient que temporairement, participant sans plus à l'enchaînement des populations microbiennes. Van Vyk (*in Anon.*, 2006a) émet des doutes sur le fait que des cultures probiotiques soient plus adaptées aux conditions de vie du bassin que celles qui y apparaissent naturellement. Weaver (*in Anon.*, 2006a) met en doute l'impact de l'ajout hebdomadaire de quelques kg de probiotiques en relation avec celui que peuvent avoir des quantités de granulés de l'ordre de 50 à 100 kg/ha/jour.

De l'autre côté, Moriarty (1996 a et b) conforte l'intérêt d'utiliser des probiotiques dans les bassins aquacoles par les résultats de plusieurs tests de terrain. Il démontre qu'il est possible de modifier la composition bactérienne spécifique de la colonne d'eau (Aquafarm News, 1996). L'ajout de souches de *Bacillus* utilisées comme probiotiques contribue à la réduction des concentrations de *Vibrio harveyi* (luminescent) dans la colonne d'eau et le sédiment.

Suhendra *et al.*, (1997) développent un programme de gestion zootechnique incluant l'emploi de probiotiques avec des résultats probants sur l'élimination des vibrios et la baisse des mortalités d'origine virale et par vibrioses.

Vasudevan (*in Anon.*, 2006a) confirme l'efficacité des souches de *Bacillus* sur l'élimination par exclusion compétitive et/ou directement par production d'antibiotiques de ces bactéries. Il rapporte que la grande majorité des fermes indiennes utilisent avec succès ces produits en routine sur des bassins avec ou sans aération.

Plusieurs centaines de tests démontrant un effet positif de probiotiques utilisés pour leur action de bioremédiation ou de biocontrôle en bassin sont affichés par des entreprises commercialisant ces produits (D. Dugger *in Anon.*, 2006a). Ces travaux passent rarement l'épreuve de la critique scientifique et ne sont pas ou rarement validés dans des revues scientifiques avec comité de lecture. Ils réapparaissent dans des journaux à caractère commercial (Dr. D. V. Jeffreys, *CEFAS Weymouth laboratory*, *in Anon.*, 2006a). Browdy et Bratvold (1997) reconnaissent que si des tests en laboratoire montrent des effets des probiotiques sur la dégradation de la matière organique ou sur la réduction des substances toxiques, les essais en bassin sont rarement validés par des témoins. Ils émettent des doutes sur l'extrapolation de résultats obtenus à l'échelle du laboratoire à des surfaces de plusieurs dizaines d'hectares.

De fait, les mécanismes d'action des probiotiques utilisés en matière de biocontrôle et de bioremédiation sont mal connus (Boyd et Massaut, 1999). Les protocoles d'administration des probiotiques soutenus par des scientifiques reconnus (Suhendra *et al.*, 1997 ; Moriarty, 2006) s'accompagnent de normes draconiennes de gestion zootechnique, notamment du maintien impératif de l'oxygène dissous au-delà de 4 - 5 mg/L. On est en droit de se demander si les procédures suivantes, nécessaires à l'efficacité maximale du probiotique et recommandées dans le mode d'emploi, ne suffisent pas à elles seules pour améliorer grandement les conditions d'élevage et la santé du cheptel et expliquer le succès des probiotiques dans un tel contexte :

- pratique optimisée de l'assèc : enlèvement des boues, chaulage, maintien du taux d'humidité adéquat, disposition des aérateurs ;
- mise en eau : filtration sur 300 µm, inoculum d'algues adéquates (chlorelles, Diatomées) ;
- fertilisation sophistiquée minérale et organique avant et après enssemencement, contrôle précis des teneurs en azote et en phosphore en relation avec les valeurs du Secchi ;
- gestion de la qualité initiale des post-larves, *etc.* ;

- teneur en oxygène dissous : maintien au-delà de 4 voire 5 mg/L à l'aide d'un nombre suffisant d'aérateurs ;
- gestion du renouvellement : en relation avec les teneurs en sels nutritifs et du taux d'oxygène ;
- réajustement du pH en cours d'élevage avec du CaCO<sub>3</sub> ;
- stabilité algale : contrôle et orientation du bloom de phytoplancton vers les microalgues favorables riches en PUFA (Diatomées) ;
- gestion de l'alimentation : suivi au plus près par des mangeoires.

Le suivi à la lettre des prescriptions ci-dessus et pouvant être considérées comme le *nec plus ultra* des bonnes pratiques, devrait conduire à un réel progrès zootechnique et à probablement moins de pathologies.

D. Verner-Jeffreys (*in* Anon., 2006a) attire l'attention des utilisateurs de probiotiques sur la provenance de ceux-ci et sur le fait qu'à sa connaissance aucun n'avait reçu une autorisation d'emploi par une autorité vétérinaire compétente. Autrand (*in* Anon., 2006a) remet en cause l'innocuité et l'efficacité de certains de ces produits, notamment les souches de *Bacillus subtilis*, qui pourraient être considérées comme un pathogène opportuniste. Boyd et Massaut (1999), dans une revue exhaustive des risques associés avec l'emploi des principaux produits chimiques utilisés en bassin aquacole, rapportent que l'ajout de probiotiques dans les élevages ne conduit à aucune mortalité du cheptel et ne présente pas de risque pour l'environnement. Enfin, aucun problème de santé humaine lié à la consommation de crevettes dans un contexte d'emploi de probiotiques n'est suspecté.

### 3. Fertilisation

On peut séparer en deux grandes catégories les engrains apportés traditionnellement en crevetticulture : les engrains organiques et les engrains minéraux.

Les fertilisants organiques sont employés pour développer préférentiellement le zooplancton de la colonne d'eau et la méiofaune du sédiment. L'ajout d'engrais minéraux vise à maintenir des teneurs adéquates en sels nutritifs, principalement azote et phosphore, pour obtenir une croissance optimale du phytoplancton. Certains programmes de fertilisation chimique, plus complexes, ont pour but de favoriser certaines microalgues, notamment des Diatomées.

En Nouvelle-Calédonie, l'emploi d'engrais organiques d'origine animale est prohibé et seule l'urée est autorisée par les cahiers des charges des deux ateliers de conditionnement de la place. Ceci représente un paradoxe puisque l'urée est un engrais organique.

Il existe un consensus assez large de la part des aquaculteurs sur le maintien de l'interdiction d'utiliser des engrains organiques. En revanche, la filière est intéressée pour faire évoluer la législation concernant la fertilisation minérale. Il s'agit notamment de l'emploi d'autres sources d'engrais azotés que l'urée et du recours à des phosphates voire à de la silice pour orienter les populations algales.

#### 3.1. Objectifs

Le maintien d'efflorescences phytoplanctoniques stables et appropriées est important et même fondamental dans les bassins d'élevage de crevettes semi-intensifs pour les raisons suivantes :

- le phytoplancton est à la base de la production naturelle du bassin qui représente une part quantitative importante du régime alimentaire de la crevette *L. stylirostris* mais apporte surtout les nutriments essentiels qui font défaut au granulé commercial : vitamines, minéraux traces,

- acides gras, précurseurs d'hormones, catalyseurs d'enzymes, précurseurs de facteurs de croissance ;
- les microalgues servent également de support pour le développement de bactéries favorables au cheptel ;
  - la biomasse phytoplanctonique est le moyen le plus économique de produire de l'oxygène dissous dans un bassin et de compenser la respiration des autres organismes ;
  - les efflorescences qui limitent la pénétration de la lumière sur le fond du bassin contribuent à tranquilliser la crevette et réduire le développement des tapis benthiques de cyanophycées ;
  - la biomasse phytoplanctonique agit comme une couverture thermo régulatrice entre le fond et la surface ;
  - les algues du plancton qui assimilent du dioxyde de carbone au cours de la photosynthèse contribuent à limiter l'acidification du bassin préjudiciable à la santé de l'animal ;
  - le phytoplancton joue le rôle d'épurateur des composés réduits potentiellement toxiques pour la crevette issus de la dégradation de la MO (Chien, 1992 ; Cook et Clifford, 1998).

## 3.2. Bases biologiques

### Intérêts et limites des mesures de N et P

#### Besoins en élément essentiels

L'azote (N) est un des atomes principaux constituant les organismes vivants et le phosphore (P) un des principaux véhicules de l'énergie nécessaire à leur entretien et leur croissance. Si les organismes hétérotrophes (zooplancton, méiofaune, crevettes) trouvent ces éléments dans leur nourriture, les végétaux, autotrophes, les prélèvent dans leur milieu environnant.

En outre, ce ne sont pas tant les teneurs respectives en N et P qui favorisent le développement phytoplanctonique mais le rapport de leur concentration, le rapport N/P.

Il est illusoire d'indiquer a priori des teneurs optimales d'azote et de phosphore dans la colonne d'eau dans la mesure où ces éléments ne sont pas seulement présents dans l'eau mais aussi dans les sédiments, l'aliment et la matière organique. Leur concentration varie très rapidement en fonction de la température, de la concentration en oxygène dissous et du pH, paramètres qui conditionnent leur relargage ou leur piégeage dans les sédiments ainsi que la vitesse de décomposition de la matière organique. On peut néanmoins avancer que les teneurs minimales pour que des blooms de phytoplancton se développent dans les bassins d'élevage sont respectivement pour l'azote (nitrates + ammoniac total) et le phosphate dissous (exprimées en phosphore P) de 0,25 mg/L et 0,05 mg/L (Boyd, 1992b).

Il convient par ailleurs de distinguer l'assimilation des éléments nutritifs de leurs effets sur la croissance algale. En effet les algues phytoplanctoniques sont capables de stocker jusqu'à 10% de leur poids sec sous forme de phosphore par suite d'un excès de P ou d'une carence de N dans le milieu. Le taux de croissance du phytoplancton n'est donc pas lié à la vitesse d'assimilation des éléments nutritifs, mais il dépend du stock d'éléments intracellulaires. Cette propriété limite donc fortement la gestion des apports minéraux à partir de la seule mesure du phosphore dans l'eau (Martin, 1987a et b).

La concentration en phosphore assimilable par les microalgues est assez faible par rapport à celle du phosphore total dissous et particulaire. Aussi une partie de l'azote et du phosphore apportés sous forme soluble est rapidement absorbée par les

matières en suspension de l'eau et par les sédiments, ce qui les rend momentanément indisponibles pour les algues. Dans ce cas les bactéries de la colonne d'eau ou bactérioplancton jouent un rôle déterminant dans le processus d'assimilation en transformant le phosphore total dissous et particulaire en phosphore assimilable pour le phytoplancton. Ainsi, l'absence de P ou de N soluble dans l'eau n'a de signification que dans la mesure où ces éléments ne se trouvent pas bloqués temporairement (Martin, 1987a et b).

## Interférence entre la gestion du cheptel et celle du phytoplancton

Dans un bassin d'élevage semi-intensif intensifié, les quantités d'aliment (jusqu'à 120 kg/ha/jour) et le nourrissage (sur et sous) influencent fortement les teneurs en N et P de même que la composition des peuplements de microalgues mesurées dans la colonne d'eau. Par ailleurs, la composition de l'aliment joue un rôle non négligeable. Ainsi, l'alimentation du cheptel avec un granulé à 55% de protéines conduit à des concentrations en orthophosphates  $\text{PO}_4^{3-}$ , en azote ammoniacal N- $\text{NH}_3\text{N}$  et à des abondances de Diatomées plus importantes que celles obtenues sur aliment 30% et 40% (Della Patrona *et al.*, 2005).

Le système de production calédonien repose sur une utilisation massive d'eau pour le maintien d'un taux d'oxygène convenable pour le cheptel au détriment de l'emploi d'aérateurs. Une telle gestion de l'eau privilégiera en premier lieu la crevette mais dans certains cas (oxygène bas et abondance algale faible ; efflorescences bénéfiques et pêche partielle/lessivage) pourrait avoir une influence néfaste sur le phytoplancton (maintien teneurs adéquates en sels nutritifs).

## Phosphore

### Différentes formes du phosphore

Le phosphore est utilisé par le phytoplancton sous sa forme minérale ou orthophosphate,  $\text{PO}_4^{3-}$ . Le phosphore organique est présent dans les organismes, dans leurs fèces et leurs cadavres. Le phosphore est présent dans l'eau sous différentes formes. Le phosphore dissous comprend les orthophosphates inorganiques  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  ou  $\text{HPO}_4^{2-}$  et le phosphore lié à la matière organique dissoute. Les particules minérales en suspension contiennent également du phosphore. Le phosphore particulier sédimente sur le fond et s'incorpore au sédiment (Boyd, 2001). La solubilité des phosphates est variable et est généralement faible du fait d'une forte capacité à se complexer au calcium, au fer, à l'aluminium et surtout aux particules argilo-sableuses du sédiment (Weigel, 1994). Le phosphate de calcium qui se forme dans la colonne d'eau est très fortement adsorbé par le fer et l'aluminium dans les sédiments à pH acide (Boyd, 2003). Les engrains chimiques apportent de l'acide phosphorique qui s'ionise immédiatement au contact de l'eau en  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  ou  $\text{HPO}_4^{2-}$ .

Les engrains disponibles à la Chambre d'Agriculture de Nouvelle-Calédonie sont le triplesuperphosphate (TSP) et le phosphate mono-ammonique (MAP). Le TSP contient 46 % d'acide phosphorique  $\text{P}_2\text{O}_5$  soit 25 % de phosphore (sous forme de billes denses). Son coefficient de solubilité est de 85 %. Le MAP (poudre) contient 61,7 % de  $\text{P}_2\text{O}_5$  et 12,2 % d'azote. Il est plus facilement soluble dans l'eau.

### Précaution d'apport

L'efficacité de l'apport de fertilisant P est largement conditionnée par sa solubilité. Lorsque l'on disperse du TSP sans précaution particulière dans un bassin, les billes d'engrais tombent sur le fond, ne se dissolvent que très lentement et favorisent le développement du microphytobenthos ou des macroalgues benthiques. Les formes liquides sont les plus adéquates (acide phosphorique) mais sont également les plus difficiles à se procurer, à transporter, à épandre et les plus chères. On peut pallier à

ce problème en adoptant une méthode d'épandage adaptée. Les billes de TSP sont mises dans des sacs de jute traînés à l'arrière des bateaux de distribution d'aliment (Clifford, 1992). Par cette méthode de dilution, on obtient une concentration en orthophosphates six fois plus importante dans la colonne d'eau qu'en dispersant directement des billes de TSP (Boyd et Hollerman, 1981). Il n'est pas conseillé d'attacher des sacs d'engrais aux moines d'entrée des bassins en supposant que le courant va disperser les sels nutritifs à travers tout le bassin. Les essais réalisés à la SASV ont montré que cette pratique entraînait un développement anarchique d'algues benthiques aux abords immédiats de l'entrée d'eau au détriment d'un effet bénéfique pour le phytoplancton.

L'efficacité des poudres et autres granulés est largement conditionnée par leur bonne dilution et la réduction des phénomènes de piégeage par le sédiment. Pour cela, une prédilution est conseillée ou bien, à défaut, on peut effectuer un épandage sur des plates-formes immergées (Valdeyron, *in* Weigel, 1994).

On peut équiper des bateaux avec des citerne pour distribuer l'engrais liquide ou en poudre prédilué sur les bassins comme cela est pratiqué en étangs de grande superficie (Weigel, 1994).

La solubilité des engrains à bases de phosphates est variable avec la salinité. Néanmoins, cet inconvénient n'est pas majeur au niveau des bassins des fermes de crevettes car l'engrais, pour une salinité entre 35 et 40, finit par se dissoudre complètement au bout de 24 heures (Teichert-Coddington *et al.*, 1997). Le fractionnement des apports est indispensable. Martin (1987a et b) montre une corrélation étroite entre le nombre d'applications d'engrais et l'importance de la production naturelle résultante.

## Dynamique du phosphore

La dynamique du phosphore dans les systèmes aquatiques est complexe (Musig et Boyd, 1980 ; Boyd *et al.*, 1981).

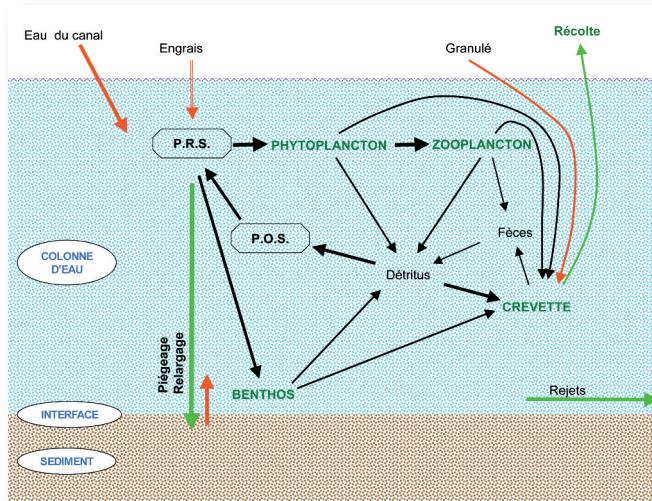


Figure 51 – Dynamique du phosphore dans un bassin à crevette (Boyd, 2001). Les flèches indiquent le mouvement du phosphore : PRS = phosphore réactif soluble. POS = phosphore organique soluble.

De 64 % (bassin semi-intensif) à 84 % (bassin intensif) du phosphore ajouté dans un bassin d'élevage de crevettes, principalement via l'aliment et les engrais (Briggs et Funge-Smith, 1994 ; Paez-Osuna *et al.*, 1997) se retrouvent piégés sous une forme particulièrement insoluble dans le sol (figure 51, Boyd, 2003). Seulement 6 % du phosphore ajouté est retrouvé dans la récolte finale de crevettes. De l'ordre de 30 % (semi-intensif) à 10 % (intensif) du P apporté à l'élevage est évacué par les rejets,

notamment à l'occasion du *flush final* (figures 52 et 53)

Le cycle du phosphore évolue en fonction de la capacité de fixation du sédiment pour les ions phosphates (Feuillet-Girard *et al.*, 1993). Celle-ci dépend notamment de sa granulométrie, de ses teneurs en matière organique, calcium, fer et aluminium et de son passé cultural. Un nouveau bassin aura une capacité de fixation du phosphore plus importante après avoir connu plusieurs élevages et nécessitera des apports initiaux plus importants d'engrais phosphoré (Knud-Hansen, 1992). A l'inverse, l'accumulation au cours du temps du phosphore dans le sédiment de bassins fertilisés diminue la capacité de celui-ci à prélever le phosphore inorganique de la colonne d'eau. Il en résulte une plus grande disponibilité du phosphore, ajouté via les engrais, pour le phytoplancton (Boyd et Musig, 1981).

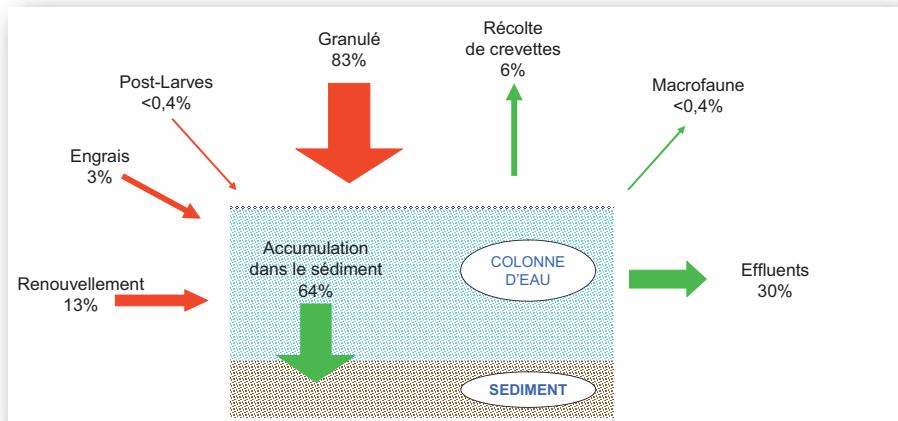


Figure 52 – Principales sources et pièges du phosphore dans un bassin d'élevage de crevette semi-intensif (en % du total) d'après Paez-Osuna *et al.*, (1997).

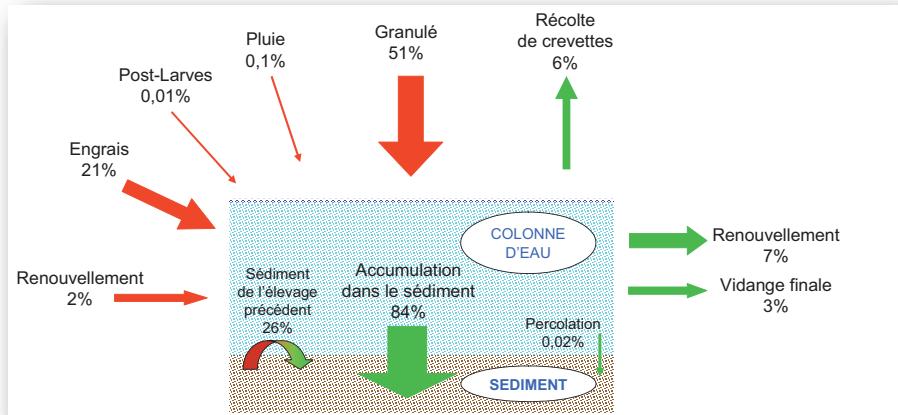


Figure 53 – Principales sources et pièges du phosphore dans un bassin d'élevage de crevette intensif (en % du total) d'après Brigg et Funge-Smith (1994).

La dynamique du phosphore est en effet fortement influencée par les conditions d'oxygénation du fond. Le fait que les boues constituent un piège ou une source de phosphore dépend de leur potentiel Redox et de leur historique d'exposition à cet élément (Colman et Edwards, 1987). Un sol aérobie constitue un piège majeur pour le phosphore. Dans de telles conditions, le sédiment exerce un certain contrôle des blooms de phytoplancton par sa capacité à prélever du phosphore dans la colonne d'eau. Au contraire, lorsque les boues deviennent anaérobies, le sédiment ne joue plus son rôle de régulateur car les phosphates associés au  $\text{Fe}^{3+}$  et formant un composé insoluble sont convertis en une forme soluble associée à  $\text{Fe}^{2+}$  (Boyd, 1995a).

## Analyses

Les analyses de phosphore communément pratiquées rendent compte des teneurs en phosphore total et en phosphore réactif soluble. Le phosphore réactif soluble, forme la plus disponible pour les plantes, se compose d'orthophosphates. Il représente environ 10-15% du phosphore total. Le phosphore organique particulaire présent dans l'eau est transformé en phosphore réactif soluble par l'activité bactérienne. En revanche, le phosphore piégé par les particules sédimentaires en suspension n'est quasiment pas disponible pour les organismes. En général, 50% du phosphore particulaire est associé à la matière organique et est potentiellement convertible en phosphore réactif soluble (Boyd, 2003).

## Fertilité/stérilité

La teneur en phosphore assimilable ( $P_2O_5$  ass.) est pour Guyotte (2005) un des éléments clés de la fertilité d'un sédiment. Les valeurs moyennes du phosphore déterminées sur les sédiments des fermes aquacoles de Calédonie indiquent des valeurs moyennes respectives pour les tannes non encore exploités, les bassins semi-intensifs et intensifs de  $15 \pm 18$ ,  $231 \pm 175$  et  $293 \pm 211$ , confirmant l'accumulation de cet élément avec la durée d'exploitation. Boyd (1995a) propose les classes suivantes pour le phosphore disponible :

- $P_2O_5$  ass. < 30 ppm valeurs faibles, risques de carence ;
- $P_2O_5$  ass. de 30 à 60 mg/L, valeurs moyennes ;
- $P_2O_5$  ass. > 60 ppm.

Bien que les méthodes de Boyd (1995a) et celles employées en Calédonie (CREA - Bourail, Laboratoire des Mines) ne soient pas exactement les mêmes, il apparaît que les valeurs < 10 mg/L trouvées sur certaines fermes pourraient conduire à des problèmes de stérilité des fonds de bassins et donc fragiliser les crevettes. La non disponibilité du phosphore est accrue en pH alcalin et en présence de calcium. De sorte que l'on peut supposer qu'un amendement calcique sur un sol dépourvu en phosphore pourrait accentuer sa stérilité.

## Azote

### Différentes formes d'azote

L'azote est représenté dans le bassin d'élevage sous forme d'ammoniac  $NH_4^+$ , de nitrites  $NO_2^-$  et de nitrates  $NO_3^-$  pour sa part minérale susceptible d'être également piégée dans les sédiments, et combiné avec les protéines pour sa part organique. A la différence du phosphore, il est aussi présent sous sa forme gazeuse  $N_2$ , en équilibre avec l'azote atmosphérique (Weigel, 1994). Dans les bassins fertilisés avec l'urée  $CO(NH_2)_2$ , l'azote y est aussi présent sous cette forme.

L'ammoniac et les nitrates sont des éléments nutritifs essentiels pour le phytoplancton. L'azote des protéines est un composant important de la nourriture naturelle et du granulé. La décomposition de la matière organique est influencée par la disponibilité en azote (source alimentaire des bactéries).

Il existe certaines controverses sur l'utilisation préférentielle des formes d'azote par le phytoplancton et benthos. Les plantes en général utilisent aussi efficacement la forme nitrate que la forme ammoniac pour leur croissance (Boyd, 1995a). Pour Anonyme (1978), les engrains à base de nitrates favoriseraient le phytoplancton alors que ceux à base d'ammoniac seraient plus favorables au microphytobenthos. Les nitrates seraient plus favorables au développement des *Diatomées* que l'urée et l'ammoniac (Boyd, 1995a). Pour Robert et Maestrini (1986 in Brossard et Hussenot, 1997), l'azote sous sa forme ammoniacale serait assimilé prioritairement aux nitrates par les *Diatomées*. Les aquaculteurs équatoriens considèrent que l'urée est l'engrais azoté qui stimule le plus les *Diatomées* dans les bassins d'élevages semi-intensifs de *L. vannamei* (Boyd et Daniels, 1993). En cas de carences azotées dans le milieu, les

cyanobactéries sont capables de fixer l'azote atmosphérique (Seymour, 1980).

L'urée se dissout très rapidement dans l'eau mais s'hydrolyse très lentement en ammoniac dans l'eau du bassin. De sorte que l'on retrouve des teneurs en urée non négligeables dans les bassins (20 - 40 µat-g/L N-urée). Avec des concentrations de cet ordre, l'urée constitue une source importante d'azote pour le phytoplancton des bassins d'élevage. Les voies d'assimilation de l'urée via des enzymes par les algues sont complexes. Les groupes du phytoplancton diffèrent dans leurs besoins et dans leur capacité d'utiliser l'urée. Certaines familles possèdent de l'uréase (*Bacillariophycées*, *Chrysophycées* et *Euglenophycées*) et d'autres de l'ATP-urée-amidolase comme les *Chlorophycées* (Knud-Hansen et Pautong, 1993). A l'intérieur de la cellule, l'enzyme uréase scinde la molécule d'urée en dioxyde de carbone et en ammonium pour permettre l'assimilation sous forme d'acides aminés et de protéines (Paul, 1983). Des travaux récents indiquent qu'il existe une très forte corrélation entre la contribution de l'urée à la teneur en azote total et les concentrations en certains dinoflagellés et cyanobactéries. Par ailleurs, l'utilisation mondiale croissante de cet engrais en remplacement des autres formes d'engrais azotés favoriseraient les phénomènes de marées rouges à grande échelle (Glibert *et al.*, 2006).

### Cycle de l'azote

Des transformations se produisent continuellement entre l'azote atmosphérique, les composés azotés inorganiques combinés et l'azote de la matière organique vivante ou en décomposition. Les réactions et les processus majeurs impliqués dans le cycle de l'azote font intervenir majoritairement des phénomènes biologiques notamment d'oxydation et de réduction (figure 54).

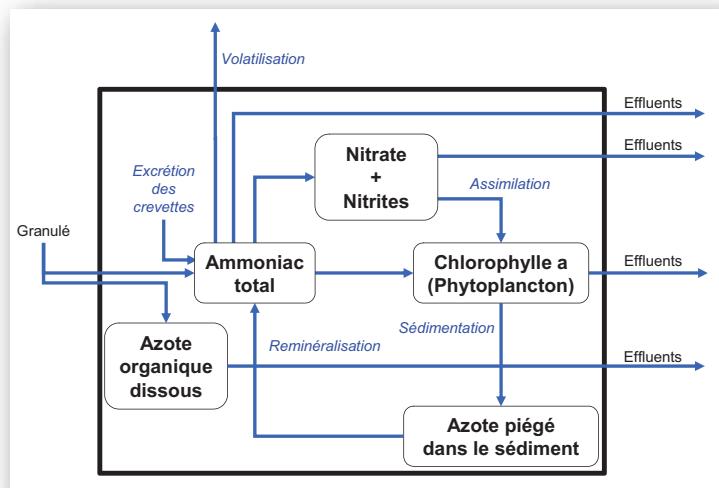


Figure 54 – Modèle conceptuel de l'apport, de la transformation et de l'extraction de l'azote dans un bassin intensif d'élevage de crevettes. Les flèches représentent les voies et les cases indiquent les composants principaux (d'après Burford & Lorenzen, 2004).

Dans les bassins d'élevages de crevette de 21% (intensif) à 36% (semi-intensif) de l'azote apporté principalement sous forme de granulé et d'engrais sont retrouvés dans la biomasse finale pêchée (Briggs et Funge-Smith, 1994 ; Paez-Osuna *et al.*, 1997). Le reste se retrouve sous forme d'azote organique dans les fèces, l'aliment non consommé ou dans les différents produits d'excrétions. Une grande partie (le tiers) est évacuée par le renouvellement et à la vidange finale (figures 55 et 56).

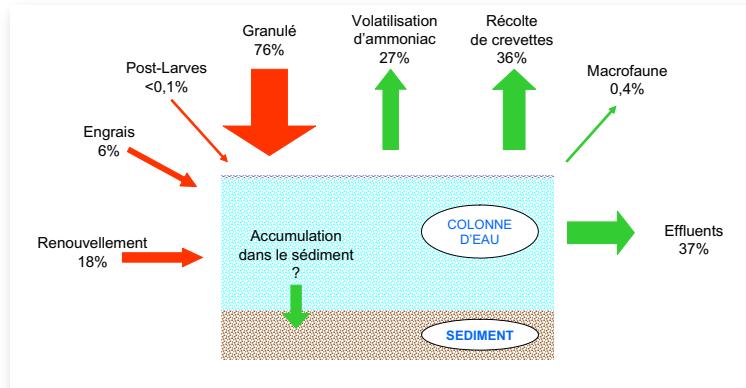


Figure 55 - Principales sources et pièges de l'azote dans un bassin d'élevage de crevette semi-intensif (en % du total) d'après Paez-Osuna *et al.*, (1997).

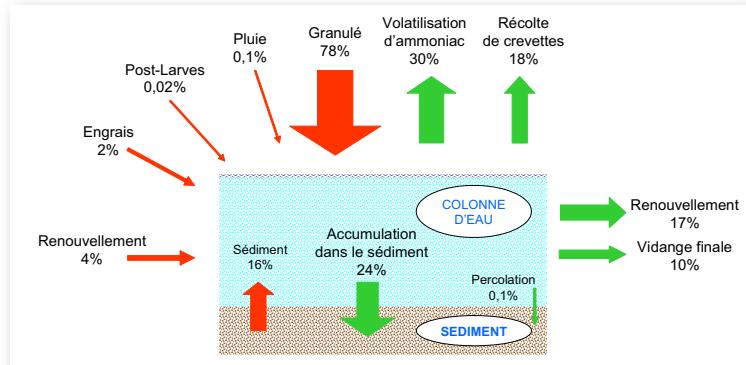


Figure 56 - Principales sources et pièges de l'azote dans un bassin d'élevage de crevette intensif (en % du total) d'après Brigg et Funge-Smith (1994).

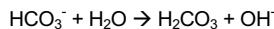
## Critères d'utilisation des engrains azotés

Rappel

Pourquoi le pH de l'eau de mer augmente-t'il dans les bassins aquacoles en fin d'après midi lors d'une journée ensoleillée quand la charge en phytoplancton (= concentration en Chla) est élevée ? (A.Herblant, DAC)

Explication :

Contrairement à l'azote ou à l'oxygène, le gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) réagit sur l'eau en donnant de l'acide carbonique  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . Ce dernier étant un acide faible, donc peu dissocié, ses sels sont hydrolysés autrement dit une partie des anions  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{CO}_3^{2-}$  s'empare d'ions  $\text{H}^+$  suivant les réactions :



Au total l'eau de mer contient donc du gaz carbonique dissous ( $\text{CO}_2$  sous forme gazeuse), de l'acide carbonique non dissocié ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) des anions bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) et des anions carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), le tout en équilibre :



Les équilibres entre les différentes composantes dépendent et de la température (et de la pression) mais toutes choses égales par ailleurs, une adjonction d'acide fort (c'est-à-dire de protons H<sup>+</sup>) déplacera l'équilibre vers la gauche transformant les carbonates et les bicarbonates en CO<sub>2</sub>, tandis que l'addition d'une base forte (ions OH<sup>-</sup> qui vont se lier aux ions H<sup>+</sup>) déplacera l'équilibre vers la droite en faveur des carbonates (tendance à reformer des ions H<sup>+</sup> pour rétablir l'équilibre).

Autrement dit, (à température et pression égales) l'équilibre est fonction du pH puisque le pH est une expression de la quantité de protons libres suivant la définition :

$$\text{pH} = \log (1/\text{[H}^+])$$

(une augmentation de [H<sup>+</sup>] diminue le pH et une diminution de [H<sup>+</sup>] augmente le pH)

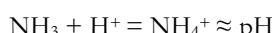
Réciproquement, selon la loi des équilibres, toute modification des proportions de chaque forme de carbone minéral entraînera une modification du pH.

Or que fait le phytoplancton quand il photosynthétise ?

### L'urée et les engrains ammoniacaux

Ce sont les sources d'azote les plus utilisées en aquaculture (Boyd, 1995a). L'urée, engrais organique, est produite selon le process Haber-Bosch (Smil, 2001) qui consiste à faire réagir du dioxyde de carbone CO<sub>2</sub> avec de l'ammoniac anhydre (réduction de l'azote atmosphérique) sous pression et à haute température. Ce procédé consomme beaucoup d'énergie, notamment du gaz, de sorte que les grandes régions productrices d'urée sont celles qui produisent du gaz. L'urée est de plus en plus employée car elle présente plusieurs avantages sur les autres formes d'engrais azotés : elle est moins explosive que les ammonitrates lorsqu'elle est stockée (Teichert-Coddington *et al.*, 1997) ; elle peut être épandue sous forme liquide ou solide ; elle est assimilée directement par les micro algues ; elle est plus stable et moins chère à transporter que les autres formes d'azote plus réactives. L'urée contient deux fois plus d'azote qu'un sulfate d'ammoniac de sorte qu'elle est d'un coût d'emploi à l'hectare bien meilleur marché (Glibert *et al.*, 2006). L'urée et les sulfates d'ammoniac enrichissent l'eau des bassins à travers la libération, après hydrolyse ou directement, d'ammoniac suivant les équations (Boyd, 1995a) :

- Urée : CO(NH<sub>2</sub>)<sup>2</sup> + H<sub>2</sub>O → 2NH<sub>3</sub> + CO<sub>2</sub>
- Sulfate d'ammoniac : (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> → 2NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>
- L'azote ammoniacal existe sous les formes NH<sub>3</sub>, non ionisée, et NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, ion ammonium, selon un équilibre qui dépend du pH de l'eau :



La forme non ionisée NH<sub>3</sub> est toxique pour la crevette et sa proportion relative avec l'ion ammonium NH<sub>4</sub><sup>+</sup> croît lorsque le

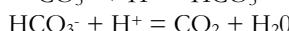
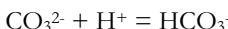
pH augmente.

La fertilisation stimule le développement du phytoplancton. Les microalgues prélèvent davantage de dioxyde de carbone CO<sub>2</sub> de l'eau du bassin pour assurer la photosynthèse de sorte que le pH augmente. Le pH généralement mesuré dans les bassins varie entre 8 le matin et 9,5 l'après midi.

- Ces réactions faisant intervenir l'urée et le sulfate d'ammoniac génèrent de l'acidité dans le milieu du fait du phénomène de nitrification par les bactéries qui oxydent les formes non ionisées NH<sub>3</sub> et l'ion ammonium NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en nitrates NO<sub>3</sub><sup>-</sup>:



- Deux moles H<sup>+</sup> sont libérées pour une mole d'ammoniac. De sorte que l'ion hydrogène H<sup>+</sup> va neutraliser l'alcalinité totale (bicarbonates et carbonates) et en retour faire baisser le pH :



- Le processus de nitrification intervenant dans la dégradation de l'urée et du sulfate d'ammoniac est consommateur d'oxygène. L'oxydation complète d'1 mg de NH<sub>4</sub>-N/L consomme 4,57 mg/L d'oxygène dissous.
- L'utilisation massive d'urée et de sulfates d'ammoniac peut conduire à des mortalités de poissons (Boyd, 1990) et de crevettes (Cook et Clifford, 1998) à cause des fortes teneurs d'ammoniac dont la toxicité augmente avec l'alcalinité et la température de l'eau (Weigel, 1994). Néanmoins, les tests de toxicité réalisés par Knud Hansen et Pautong (1993) indiquent qu'aucune mortalité de poissons n'est observée au bout de 96 heures pour des ajouts d'urée jusqu'à l'équivalent de 900 kg/ha/j, très loin des doses usuelles en crevetticulture ( $\approx 5 \text{ kg/ha/j}$ ).

#### Les nitrates de calcium et de sodium

Le phytoplancton assimile aussi efficacement l'azote sous forme nitrate NO<sub>3</sub><sup>-</sup> qu'ammonium (Boyd, 1995b). Dans les bassins crevetticoles les nitrates se sont montrés plus performants pour le développement des *Diatomées* que l'urée (Boyd et Daniels, 1993). Boyd (1995b) recommande l'utilisation des nitrates dont la réaction chimique conduit à la libération d'oxygène et ne produit pas d'acidité. Les nitrates ne sont pas toxiques pour les crevettes. Les effluents des bassins crevetticoles sont considérés comme polluants car ils contiennent des matières organiques, de l'ammoniac, du phosphore et d'autres substances potentiellement dangereuses pour l'environnement. De sorte qu'il serait préférable d'y rencontrer l'azote sous forme nitrate complètement oxydée et non toxique.

Alors que la fabrication d'urée est un procédé de synthèse coûteux en énergie dont l'emploi grandissant pose un réel problème d'environnement (Glibert *et al.*, 2006), le nitrate de sodium est un produit naturel provenant de l'extraction des mines de Caliche au Chili (Clifford, 1997) dont il serait souhaitable de privilégier l'emploi dans les bassins au-delà de l'aspect coût. Cependant, pour la même quantité d'azote, il coûte trois fois plus cher que l'urée. Néanmoins, si l'on considère que la quantité d'urée utilisée au cours d'un élevage de 6 mois sur un bassin de 10 ha est de l'ordre de 3 000 kg, le surcoût engendré peut être compensé par l'image d'une crevetticulture calédonienne responsable et moins polluante.

## Carbone

Le carbone constitue la brique capitale des organismes pour leur croissance et leur entretien, élément que le phytoplancton doit puiser dans l'eau.

Le rôle fondamental du carbone pour la croissance du phytoplancton peut être illustré en rappelant que dans les salles d'algues des écloseries de crevettes de Nouvelle-Calédonie on injectait traditionnellement du CO<sub>2</sub> dans les bacs de cultures, afin qu'il ne soit pas limitant.

Les besoins en éléments essentiels (carbone/azote/phosphore) pour satisfaire la croissance du phytoplancton évoluent dans des proportions importantes selon les espèces d'algues, C/N/P = 120/25/8 à 2,5/4/0,4 (Martin, 1987a et b). Néanmoins, on considère que la composition moyenne, avec de grandes exceptions locales, du phytoplancton présente un rapport C/N/P (Rapport de Redfield) de 106/16/1 (exprimé en atomes grammes) qui traduit l'importance du carbone C.

Dans la journée, du fait de la photosynthèse le milieu s'appauvrit en CO<sub>2</sub>, le pH augmente et les carbonates s'accumulent. Il est possible que dans certaines conditions, le dioxyde de carbone dissous devienne limitant car c'est sous cette forme préférentielle que le carbone est assimilé par le phytoplancton. Toutefois, la présence des ions bicarbonates permet de limiter cette montée du pH car ils sont capables de se dissocier pour redonner du CO<sub>2</sub>. En cours de nuit, le seul phénomène de respiration induit une augmentation de dioxyde de carbone qui provoque une acidification (diminution du pH). Cette baisse du pH est limitée si l'eau contient suffisamment de bicarbonates qui peuvent se dissocier en carbonates et endiguer l'acidité (Weigel, 1993).

On ne dose pas les concentrations en carbone et/ou dioxyde de carbone CO<sub>2</sub> de l'eau. Toutefois, on mesure l'alcalinité totale, encore appelée réserve alcaline, qui représente la somme des teneurs en carbonates CO<sub>3</sub> et bicarbonates (CO<sub>3</sub>H)<sub>2</sub>. Boyd et Daniels (1993) rapportent que les eaux des bassins crevetticoles présentent généralement une alcalinité comprise entre 50 et 150 mg/L. De tels milieux sont suffisamment riches en carbonates pour tamponner les fluctuations du pH et assurer la disponibilité permanente des éléments vitaux, carbone, azote et phosphore au phytoplancton.

## Autres sels nutritifs

Certaines fermes de Nouvelle-Calédonie sont alimentées en eau de lagon via un canal creusé à travers plusieurs centaines de mètres de forêt de grands palétuviers *Rhizophora stylosa*. Les teneurs relativement basses en oxygène dissous de l'eau d'entrée des bassins, les difficultés de démarrage des efflorescences interpellent les aquaculteurs qui spéculent sur un éventuel prélèvement des sels nutritifs par les racines des palétuviers. De sorte que ceux-ci sont demandeurs d'un programme de fertilisation qui tiendrait compte des carences supposées en éléments nutritifs autres que l'azote et le phosphore.

## Silice

L'ajout de silice dans les bassins d'élevages de crevettes vise au développement des algues de la famille des *Bacillariophyées* ou *Diatomées*. Ces algues possèdent une enveloppe siliceuse ou frustule qui les constraint à des besoins plus importants en cet élément que les autres populations du phytoplancton qui n'en possèdent pas.

### Teneur en silice

Boyd (2000b) rapporte que la concentration en silicate d'une eau n'est pas limitante pour la croissance des Diatomées tant qu'elle est supérieure à 1 mg de silice /L. Il rappelle que les teneurs moyennes respectives en silice des eaux de rivière et de mer sont respectivement de 6 et 3 mg/L (soit 13,1 et 6,4 mg/L SiO<sub>2</sub>). De sorte que l'auteur ne juge pas nécessaire d'employer des engrains silicatés dans la majorité des bassins crevetticoles *a fortiori* en eaux saumâtres. Néanmoins, les teneurs en silicates de l'eau des bassins sont généralement inversement proportionnelles à la salinité ambiante car la silice a pour origine l'eau des rivières (Clifford, 1997). L'auteur

recommande ainsi d'adapter les doses d'engrais silicatés en fonction de la salinité ([Tableau 41](#)).

Tableau 41 – Ajout d'engrais silicaté (en L de métasilicate de sodium/hectare/semaine) en fonction de la salinité.

Salinité du bassin	Dose d'engrais silicaté
0 - 10	6
11 - 20	10
21 - 30	14
31 - 40	18
> 41	22

En période de sécheresse prolongée (cycle El Niño), caractérisée par des salinités élevées dans les bassins  $\approx 40 - 44 \%$ , il est possible que la teneur en silice soit limitante dans certains sites de Nouvelle-Calédonie, particulièrement ceux qui sont très distants de l'influence d'une rivière et/ou du fait d'une source d'eau douce naturellement pauvre en silice.

#### Type d'engrais silicaté

La silice est le plus souvent apportée sous forme de métasilicate de sodium ( $5\text{H}_2\text{O Na}_2\text{SiO}_3$ ). Du fait des difficultés de dissolution de la silice dans l'eau de mer, il convient de mélanger au préalable le produit avec de l'eau douce selon un protocole particulier (Brossard et Hussenot, 1997). Par ailleurs, un engrais liquide ne doit pas être déversé directement dans la colonne d'eau car il est plus dense que l'eau et tombe sur le fond. Il doit être mélangé de nouveau dans la proportion 1/3 ou 1/4 et épandu sur toute la surface du bassin (Boyd et Fast, 1992). Sur des bassins de plusieurs hectares, les doses de silice à apporter nécessitent des quantités importantes d'eau douce, des réservoirs et des moyens d'épandage adaptés qui peuvent être rédhibitoires. En outre, le coût de ces engrais est extrêmement élevé.

Certains éleveurs sud-américains épandent directement des résidus de canne à sucre, naturellement très riche en silice, sur le fond de leur bassin (Boyd et Daniels, 1993) ou des granulés compactés à base de cette plante (Freeman *et al.*, 1992) en espérant que cette fertilisation organique contribue à l'enrichissement du milieu en silicates. Ces pratiques sont adaptées aux bassins d'élevage extensifs de l'espèce *L. vannamei* qui utilise mieux les détritus résultants de ce fumier que *L. stylostris*.

#### Vérification expérimentale

Boyd et Daniels (1993) ont montré en bacs expérimentaux que l'ajout d'un engrais silicaté sous forme de métasilicate de sodium ( $5\text{H}_2\text{O Na}_2\text{SiO}_3$ ) en complément d'une fertilisation avec de l'azote et du phosphore augmentait l'abondance des Diatomées ([Tableau 42](#)).

Tableau 42 – Abondance des Diatomées exprimées en pourcentage dans des bacs expérimentaux d'eau saumâtre fertilisés avec de l'azote, du phosphore et des silicates. (Teneur initiale en Si < 1 mg/L).

Proportions testées N : P : Si (Kg/ha)	Types d'engrais azotés		
	Chlorure d'ammonium (%)	Nitrate de Sodium (%)	Urée (%)
0 : 3 : 0 0 : 3 : 30	1,5 49,0	0,4 39,7	16,9 61,8
1 : 1 : 0 1 : 1 : 30	3,1 40,0	2,2 76,9	10,2 47,6
15 : 1 : 0 15 : 1 : 30	7,5 49,9	0,5 35,3	23,3 81,0
30 : 1 : 0 30 : 1 : 30	0,4 37,7	31,6 95,5	22,4 44,2

#### Discussion

Malgré ces résultats, Cook et Clifford (1998) ainsi que Boyd et Daniels (1993) soulignent que des recherches complémentaires sont nécessaires pour vérifier l'effet

réel de l'apport d'un engrais silicaté sur le développement des *Diatomées* en conditions d'élevage en bassin de terre.

## Fer

Après l'azote, le phosphore et la silice, le fer est le quatrième élément indispensable à la croissance des *Diatomées*. Dans les cultures intensives de *Diatomées* en système ouvert et continu, et en eau de mer enrichie avec de l'azote, du phosphore et de la silice, Brossard et Hussenot (1997) observent qu'il devient impératif d'ajouter du fer et du manganèse dans les proportions molaires suivantes, N/P/Si/Fe/Mn - 10/1/4/0,2/0,1 pour maintenir la photosynthèse dès lors que les conditions de lumière deviennent limitantes (automne) (Hussenot et Brossard, 1995).

Bien que le fer représente un élément très important de l'écorce terrestre, sa concentration dans les eaux est faible du fait de sa faible solubilité. La teneur en fer est toutefois plus forte dans les sédiments marins (600 - 700 mg/L) que dulçaquicoles (Boyd *et al.*, 1994b). Il est solubilisé par les liants organiques produits par les bactéries et les plantes, ce qui facilite son recyclage et son utilisation par le phytoplancton. Ce processus s'interrompt lorsque que les conditions sulfato réductrices deviennent trop sévères et interfèrent sur l'activité bactérienne de production de ces liants. C'est une des explications à la quasi absence de blooms de *Diatomées* dans les bassins où les conditions fortement anaérobies prévalent (Anon., 1994).

## Potassium

Certaines sources recommandent d'utiliser un engrais ternaire de type 17-17-17 (N-P-K) par analogie aux pratiques de jardinage. De fait, la teneur naturelle des eaux en potassium est généralement suffisante et ne constitue pas un facteur limitant (>1 mg/L) pour la productivité en bassin (Martin, 1987a et b). Les eaux océaniques contiennent en moyenne 380 mg/L de K pour moins de 10 mg/L en eau douce (Boyd *et al.*, 1994b).

## Premix

La croissance optimale du phytoplancton nécessite bien d'autres éléments (manganèse, magnésium, cuivre, fer, zinc, potassium, cobalt, molybdène, bore, soufre et nickel, (Clifford, 1997) à l'instar des milieux de Conway ou de Guillard utilisés traditionnellement en production d'algues par les éclosseries de Calédonie. Des premix contenant ces micronutriments de qualité alimentation animale sont disponibles dans le commerce. Mais leur utilisation au dosage de 1 kg/ha/semaine en routine (Clifford, 1997) et de 6 kg/ha pour Phytopak® à l'échelle de bassins de plusieurs hectares, *a fortiori* renouvelés à près de 15% du volume total par jour, ne paraît pas économiquement viable sauf au démarrage de l'élevage où l'eau des bassins n'est pas renouvelée (Tableau 43).

Tableau 43 – Formules de Premix destinées à favoriser le phytoplancton des bassins d'élevages de crevettes.

Formule de premix (Clifford, 1997)		Formule du premix Phytopak®)	
Eléments	% total premix	Eléments	Kg
fer	3 - 5	métasilicate de sodium penta hydrate (5H <sub>2</sub> O Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> )	74,12
magnésium	5 - 10	EDTA	16,80
bore	1 - 3	sulfate de fer monohydrate (30% Fe) (FeSO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O)	8,45
soufre	1 - 2	sulfate de manganèse (32% Mn) (Mn SO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O)	0,170
zinc	1 - 2	sulfate de cuivre (25% Cu) (CuSO <sub>4</sub> )	0,135
manganèse	0,4 - 0,6	dichlorure de cobalt hydrate (24,5% Co) (CoCl <sub>2</sub> 6H <sub>2</sub> O)	0,135
cuivre	0,1 - 0,5	chlorure de zinc (47% Zn) (ZnCl <sub>2</sub> )	0,126
cobalt	0,005 - 0,05	molybdate de sodium dihydrate (39,7% Mo) (Mo O <sub>4</sub> Na <sub>2</sub> 2 H <sub>2</sub> O)	0,064
molybdium	0,02	Total	100

### 3.3. Programmes de fertilisation

#### Dosage et usage des engrais en général et du rapport azote/phosphore en particulier (d'après note interne A. Herblant)

Les engrais principalement utilisés en Nouvelle-Calédonie sont l'urée, le nitrate de calcium et le Triple Super Phosphate (TSP).

**Formule chimique, poids moléculaire (PM) et teneur en azote et phosphore**

- Urée :  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$

- PM = 60 ; teneur en azote 46,5 % (en poids) d'après la formule. Le fabricant indique 46%

- Il y a 2 atomes d'azote par molécule d'urée, un atome-gramme d'N (atg-N) équivaut donc à 30 g d'urée ; comme l'urée utilisée est pure et qu'elle se dissout totalement et rapidement dans l'eau de mer, on peut appliquer cette formule de conversion :

$$\boxed{1 \text{ kg d'urée équivaut à } 33 \text{ atg-N}} \\ (1000/30).$$

- Nitrate de calcium : 5  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2, \text{NH}_4\text{NO}_3, 10\text{H}_2\text{O}$

- PM = 1080, teneur en N sous forme de nitrate = 14,3% et sous forme de  $\text{NH}_4$  = 1,3% selon la formule (produit pur), le fabricant donne respectivement 14,4% et 1,1%.

- Il y a 11 atomes d'azote sous forme de nitrate  $\text{NO}_3$  (noté N- $\text{NO}_3$ ) et 1 atome d'azote sous forme d'ammonium  $\text{NH}_4$  noté (N- $\text{NH}_4$ ) par molécule de nitrate de calcium. Du fait de la très grande solubilité de cet engrais, on peut appliquer la formule de conversion :

$$\boxed{1 \text{ kg de nitrate de calcium équivaut à } 10,2 \text{ atg N-NO}_3} \\ (\text{arrondi à } 10) \text{ et } 0,93 \text{ atg N-NH}_4 \text{ (arrondi à } 0,9)$$

- Triple super phosphate :  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \text{ H}_2\text{O}$

- PM = 236 selon la fiche technique du fabricant ; soit une part théorique (en poids) de phosphore de 26,3% (= 62/236).

- Mais l'unité habituelle en agriculture est le  $\text{P}_2\text{O}_5$  ; comme le poids moléculaire de  $\text{P}_2\text{O}_5$  est de 142, on devrait obtenir une teneur théorique (en poids) de  $\text{P}_2\text{O}_5$  de 60% (= 142/236). Or le fabricant annonce une teneur de 45% en  $\text{P}_2\text{O}_5$ . De fait, l'écart entre la formule donnée par le fabricant (60%) et la teneur annoncée par ce même fabricant (45%), est lié à la prise en compte de nombreuses impuretés ;

- En retenant 45% de  $\text{P}_2\text{O}_5$  : comme il y a 2 atomes de P dans la molécule de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (qui a un PM de 142), 71 g de  $\text{P}_2\text{O}_5$  correspondent à 1 atg-P.

En conséquence, 1 atg-P correspond à  $71*100/45 = 158$  g de TSP. En tenant compte du coefficient de solubilité dans l'eau de mer qui n'est que de ~ 85%. Au total 1 atg-P disponible équivaut à  $158*100/85 = 186$  g de TSP.

1 kg de TSP correspond à 5,4 atg-P (1000/186)

### Application : doses d'engrais à ajouter en fonction des valeurs de chlorophylle a souhaitées et des rapports N/P adoptés.

L'exemple choisi est le cas simplifié d'un bac utilisé en culture discontinue (*batch cultures*) qui épouse en une fois les éléments azotés et phosphorés. Ce qui n'est pas le but de la gestion du phytoplancton d'un bassin d'élevage, culture semi continue, où l'on cherche au contraire à entretenir un niveau de biomasse chlorophyllienne compatible avec le bon fonctionnement de l'écosystème-bassin.

- **[Urée]** On estime qu'il faut environ 1 atg-N pour former 1 g de Chl a (donnée de base en océanographie biologique).

En conséquence, pour obtenir une biomasse de 50 mg/m<sup>3</sup> de Chl a (à rapprocher de la valeur de 50 µg/L recommandée par Clifford (1994), il faudra ajouter 50 matg-N/m<sup>3</sup> dans une eau qui ne contient pas d'azote au départ.

On a vu précédemment qu'1 atg-N correspond à 30 g d'urée.

La dose d'urée à ajouter est donc de :  $30 \times 50 / 1000 = \underline{1,5 \text{ g/m}^3}$  (soit 15 kg/ha pour un bassin de 1 m de profondeur).

- **[TSP]** La quantité à ajouter va dépendre du rapport **N/P (at/at)** choisi.

Si N/P = 45 il faudra ajouter 1,1 matg-P/m<sup>3</sup> (50/45)

Si N/P = 16 (rapport de Redfield) il faudra ajouter 3,1 matg-P/m<sup>3</sup> (50/16)

Ce qui donnera, converti en poids de TSP, et si l'on retient la valeur de 45% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dans le TSP :

Si N/P = 45 ; il faudra ajouter 0,20 g/m<sup>3</sup> de TSP (186\*1,1)

Si N/P = 16 ; il faudra ajouter **0,58 g/m<sup>3</sup>** de TSP (186\*3,1)

### Orientation des populations phytoplanctoniques : quelles algues favoriser ?

L'importance relative de N et P dans l'eau joue un rôle déterminant sur le type d'algue qui va dominer. Parmi les taxons des algues marines rencontrées le plus fréquemment dans les bassins, les *Chrysophycées*, les *Bacillariophycées* (*Diatomées*) et à un degré moindre les *Chlorophycées* (algues vertes) présentent une valeur nutritionnelle satisfaisante pour leurs consommateurs (Lefèvre, 1997).

Les *Cyanophycées*, les *Dinoflagellées* et les *Euglenacées* sont considérées comme défavorables à la qualité du milieu d'élevage et en particulier à la croissance des crevettes (Clifford, 1992 ; Hunter *et al.*, 1987). L'installation d'un écosystème où les cyanobactéries sont dominantes est susceptible d'engendrer différentes perturbations sur l'efficacité de la chaîne trophique de la colonne d'eau. Ces algues sont reconnues comme étant très peu utilisées par le zooplancton herbivore. Une chaîne alimentaire basée sur ces algues peut donc réduire l'efficacité du transfert de la matière organique et des sels nutritifs de la production primaire vers la crevette. La crevette se trouve alors dans un contexte écologique déstabilisant (Mouseau *in* Lefèvre, 1997).

Les *Diatomées* (algues brunes) sont les algues du phytoplancton des bassins les plus riches en acides gras polyinsaturés (Hussenot et Feuillet-Girard, 1988). Ces acides gras sont connus depuis fort longtemps pour accélérer la croissance des

crevettes (Kanazawa *et al.*, 1979). Il est donc généralement admis que les *Diatomées* sont parmi les algues les plus favorables à la croissance et à la survie des crevettes en élevage (Chien, 1992 ; Jory, 1995 ; Wyban et Sweeney, 1991). Toutefois, le lien nutritionnel direct entre *Diatomées* et croissance des crevettes en bassin d'élevage n'a jamais été clairement établi (Boyd et Daniels, 1993).

L'abondance des *Diatomées* est favorisée par des rapports N/P élevés (Boyd et Fast, 1992). La prépondérance du phosphore est particulièrement favorable au développement des *Chlorophycées* (algues vertes). Un excès de phosphore par rapport à l'azote conduit au développement de *Cyanophycées* (algues bleues) seules capables d'utiliser l'azote atmosphérique dissous dans l'eau pour compenser un manque relatif de formes azotées dissoutes (Weigel, 1994). Des teneurs en N et P voisines, favorisent la prolifération des *Dinoflagellées* (Cook et Clifford, 1998).

Les expérimentations de fertilisation réalisées en Equateur dans des bassins de terre de 1 ha avec quatre différents rapports N/P 0/1 ; 7,5/1 ; 15/1 et 30/1 confirment que les valeurs élevées conduisent à des proportions plus importantes de *Diatomées* alors que les plus faibles conduisent à la prédominance des *Cyanophycées* (figure 57).

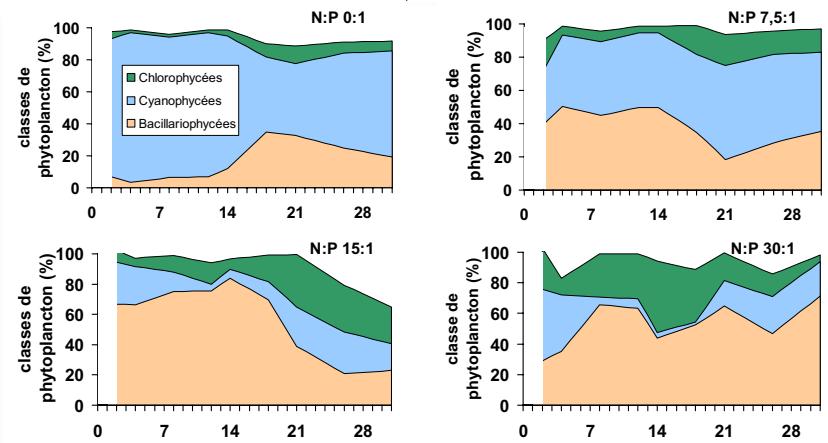


Figure 57 – Evolution de la composition du phytoplancton (% phytoplancton total) sur un mois dans 8 bassins de 1 ha fertilisés avec quatre régimes différents du rapport azote/phosphore N :P en Equateur (Boyd et Daniels, 1993). Marron : Bacillariophycées - Diatomées ; bleu : Cyanophycées ; vert : Chlorophycées ; autres : Dinophycées, Euglenophycées et Xanthophycées. Les ajouts d'engrais ont été effectués tous les 7 jours.

## Programmes de fertilisation

### Intérêt et limites

Le nombre de différents programmes de fertilisations utilisés en crevetticulture dans le monde est quasi illimité. En effet, le développement d'une stratégie optimisée de fertilisation ne peut être obtenu que par erreurs et succès à la lumière des analyses physico-chimiques couplées à des comptages phytoplanctoniques non seulement à l'échelle d'un site particulier mais également au niveau de chaque bassin (Clifford, 1992).

La standardisation d'une procédure optimisée est compliquée par l'existence d'un fond réactif (terre), l'ajout d'aliment, la bioturbation des crevettes, les changements d'eau nécessaires à la vie de la crevette et les variations saisonnières (voire interannuelles).

L'eau ne peut être dissociée des sédiments dans un bassin d'élevage (Martin, 1987a et b). Mémoire des phénomènes qui se passent dans l'eau, les sols jouent un rôle très actif comme récepteurs de matières organiques (sédimentation) et minérales (piégeage), et comme donneurs d'éléments minéraux (relargage) et organiques (bactéries, protozoaires, méiofaune). En outre, le passé cultural du bassin devra être pris en compte notamment en ce qui concerne les apports de phosphore (Knud-

Hansen, 1992).

Le renouvellement journalier lessive plus ou moins les sels nutritifs (Teichert-Coddington *et al.*, 1997) en fonction du taux qui varie de 0 à 30% mais aussi du mode de pompage (continu ou séquentiel) des fermes. Par ailleurs la qualité de l'eau de pompage est variable d'un site à l'autre (estuaire *vs.* lagon) et évolue en fonction de la saison (Teichert-Coddington et Rodriguez, 1995). Ainsi les programmes de fertilisation minérale diffèrent en saison sèche ou des pluies (Paez-Osuna *et al.*, 1997).

### **Contraintes et gain**

Avec le contexte morose mondial de baisse du prix de la crevette, les aquaculteurs recherchent des solutions immédiates pour améliorer leurs performances d'élevage notamment la survie. Il existe un engouement très fort et très récent pour le développement du phytoplancton par la fertilisation minérale qui est perçue comme une panacée.

On peut rappeler qu'il y a moins d'une dizaine d'années les aquaculteurs calédoniens refusaient d'ajouter des engrains dans leurs bassins comme en témoignent les cahiers des charges encore en vigueur aujourd'hui (2007). Les résultats zootechniques obtenus alors étaient considérés par la filière crevetticole comme très bons comme le sont encore aujourd'hui ceux des fermes qui ne pratiquent pas de fertilisation par rapport à celles qui la pratiquent. Les crevetticulteurs sont demandeurs de programmes de fertilisations sophistiqués mettant en œuvre des analyses de sels nutritifs avec réajustement des doses d'engrais et la détermination taxonomique des microalgues. Cet élément doit être tempéré comme le conseille Boyd (1992a et b) qui affirme qu'il n'est pas nécessaire de mesurer les sels nutritifs N et P dans un bassin. L'abondance des sels nutritifs peut être déduite de la densité des blooms appréciée par le disque de Secchi. Pour l'auteur, les fréquents comptages des cellules du phytoplancton prennent beaucoup de temps au biologiste et n'apportent guère plus que les indications du disque de secchi alliées à une bonne observation de l'eau. Ces déterminations taxonomiques ne sont utiles que si l'on recherche à connaître la proportion de *Diatomées* présentes.

Par ailleurs, les bons résultats obtenus par Della Patrona *et al.*, (2004b) sur l'amélioration sensible de la survie et de la croissance de *L. stylostris* en bassins fertilisés en aveugle montrent qu'un programme d'engraissement minéral *a minima* peut être une option adaptée sur des fermes industrielles. Ces entreprises sont caractérisées par des ensemencements en continu sur l'année, de nombreux et différents types de bassins et un manque de temps chronique du personnel qualifié pour les analyses nécessaires au maintien des populations phytoplanctoniques jugées adéquates.

Il semble indispensable que l'aquaculteur mette en relation le gain de production apporté par différents programmes de fertilisation (sophistiqué, par ajout fixé d'engrais dans un rapport N/P favorable, par aucun apport) et les besoins nécessaires d'accompagnement de ces stratégies (temps, personnel, matériel).

Une procédure intermédiaire consiste à ajouter les doses d'engrais selon un rapport N/P de  $\geq 30$  (favorables aux *Diatomées*) en fonction des valeurs de chlorophylle a souhaitables en fonction du stade d'élevage (début, milieu, fin). La teneur en Chl a est intégratrice de la biomasse du phytoplancton et élimine la nécessité des comptages fastidieux au microscope. Cette mesure prise à l'aide d'un fluorimètre de terrain est facile et rapide à effectuer. Une confirmation trois fois/semaine semble adéquate.

### **Exemples de programmes de fertilisation**

Plusieurs programmes de fertilisation, de complexité croissante, tirés de la littérature sont proposés. Ils doivent être optimisés (au niveau de chaque nouvel

élevage) et en fonction des disponibilités (temps et matériel) du biologiste. L'Ifremer n'a pas effectué d'étude comparative poussée, cependant il utilise en routine la méthode de fertilisation de Villalon.

#### Programmes de fertilisation usuels de Clifford (1997).

L'auteur propose plusieurs fertilisations de routine tirées de ses expériences de terrain. Les doses suivantes sont préconisées pour la période de remplissage du bassin et sont à diviser par 5-10 pour les fertilisations durant l'élevage :

- n°1 : 30 kg/ha nitrate ammonium + 4,8 kg/ha di-ammonium phosphate (DAP) tous les 2 jours ;
- n°2 : 40 kg/ha urée + 4 kg/ha TSP + 10-20 kg ou L/ha de silicate tous les 3 jours ;
- n°3 : 16 kg/ha nitrate ammonium + 14 kg/ha de phosphate mono ammoniaque (MAP) tous les 2 jours.

#### Programmes de fertilisation de Boyd et Daniels (1993)

Ces auteurs rapportent 4 procédures très simples parmi les innombrables qui ont été utilisées en routine avec succès sur les élevages de *L. vannamei* en Equateur :

- n°1 : Ajouter tous les deux ou trois jours 10 kg d'urée et 5 kg/ha de TSP ;
- n°2 : Ajouter 2,5 à 5 kg d'urée par jour et 1,5 à 2,5 kg/ha de TSP tous les deux jours ;
- n°3 : Ajouter de 5 à 10 kg/ha d'urée au démarrage puis 2 kg/ha tous les deux ou trois jours. Ce programme est utilisé lorsque des taux de nutrition élevés sont pratiqués et que l'on souhaite favoriser le développement des Diatomées.
- n°4 : Ajouter 10 à 20 kg/ha d'urée et 0,3 à 0,6 kg de TSP à une fréquence variant de un jour à une semaine. Ce programme conduit à un développement important de Diatomées. Les ajouts se font moins fréquemment lorsque la densité en Diatomées est atteinte. Lorsque la teneur en P atteint 100 µg/L, seule l'urée est maintenue.

#### Programme de fertilisation de Villalon (1991)

Le critère du dosage utilisé par l'auteur est le maintien dans la colonne d'eau de concentrations en azote et en phosphore de 1,3 mg/L et 0,15 mg/L. Toutefois la gestion de la fertilisation s'opère principalement en fonction de la lecture des valeurs du secchi.

- Fertilisation initiale
  1. Ajouter 9 kg d'urée et 0,9 kg/ha de TSP dès que 60% du bassin au minimum est recouvert de 10 à 30 cm d'eau ;
  2. Attendre deux ou trois jours le temps que le phytoplancton prenne une coloration marron foncé avec des reflets jaunes ;
  3. Poursuivre le remplissage de l'enceinte jusqu'à la moitié de sa hauteur finale. Pendant la montée en eau, disperser uniformément 14 kg/ha d'urée et 1,3 kg/ha de TSP ;
  4. Attendre deux ou trois jours. Si après la seconde application d'engrais la colonne d'eau n'a pas pris de couleur ajouter 92 kg/ha de carbonate de calcium. L'élévation de pH résultante est en mesure d'aider au démarrage du bloom approprié ;
  5. Poursuivre le remplissage jusqu'au niveau maximum seulement lorsque la coloration adéquate est obtenue;
  6. Lorsque le niveau maximum est atteint, ajouter 23 kg

d'optimiser l'efficacité des engrains, il est conseillé de baisser le niveau du bassin de 10-15 cm le jour précédent la fertilisation (rappel tous les 3 jours en routine). De ce fait les sels nutritifs sont libérés avantageusement pour le bloom au cours de la remontée du niveau et ne sont pas immédiatement évacués.

#### Programme de fertilisation de Clifford (1997) et Cook et Clifford (1998)

- **Principes du dosage**

La distribution des engrains s'effectue en fonction des teneurs en nitrates, phosphates et silicates mesurées dans le canal d'aménée d'eau commun et dans les effluents, combinées aux valeurs du Secchi lues dans chaque bassin. Cette procédure permet de limiter le nombre d'analyses qu'il convient idéalement de faire dans chaque bassin. Afin de favoriser le développement des *Diatomées* et des *Chrysophycées*, et limiter celui des *Cyanophycées* et des *Dinoflagellées*, il faut :

- maintenir le niveau de P réactif  $> 0,1 \text{ mg/L}$  ;
- ne pas ajouter d'engrais azotés tant que la valeur d'azote est suffisante ;
- ajouter du phosphore pour rééquilibrer le rapport N/P lorsque la teneur en N est trop élevée ;
- apporter des silicates lorsque la concentration baisse en dessous de 1 mg/L.

- **Dosages préconisés**

Les quantités d'engrais exprimées en kg/ha des principaux engrais usuels sont indiquées dans le **tableau 44**.

6. d'urée et 2,3 kg/ha de TSP ;
7. Attendre cinq jours pour laisser maturer l'eau. Celle-ci doit avoir pris une coloration jaune brun. La mesure de disparition du secchi doit être proche de 25 - 30 cm ;
8. Si au bout des 5 jours le bassin ne présente pas ces caractéristiques, il faut baisser son niveau de 10 cm puis le fertiliser de nouveau avec 6,8 kg d'urée et 0,7 kg/ha de TSP.

- **Fertilisation en routine**

2. Maintenir une fertilisation de 1,8 kg d'urée et de 0,2 kg/ha de TSP tous les trois jours tant que le secchi demeure inférieur à 30 cm ;
3. Suspendre la fertilisation lorsque le Secchi est compris entre 25-30 cm. Ne la reprendre que lorsque la transparence dépasse 30 cm ;
4. Arrêter la fertilisation et suspendre la distribution d'aliment si le Secchi descend sous les 25 cm. Augmenter le renouvellement de 25% pour lessiver une partie du phytoplancton en excès tant que la valeur du Secchi ne remonte pas au dessus de 30 cm ;

Tableau 44 - Programme standard de fertilisation de Clifford (1997) et Cook et Clifford (1998).

\* Ne pas ajouter tant que la hauteur d'eau est inférieure à la moitié du niveau optimal et seulement si la teneur est inférieure à 1,0 mg/L.

Type d'engrais	Dose de démarrage (kg/ha)	Dose de routine (kg/ha)
fumier de poulet	1 000	Aucun
tourteau organique	50 - 200	6,8
urée	28	2,4
MAP	2,4	0,4
métasilicate de sodium*	10	1,5

La décision de l'ajustement de la dose pour le lendemain est prise chaque jour à la lumière des deux paramètres :

- les teneurs en nitrates, phosphates et silicates du canal d'amenée (CA) et du collecteur des eaux usées (CEU) prises toutes les deux semaines ;
- les valeurs journalières du disque de Secchi mesurées l'après midi.

### Valeurs de Secchi ≥ 45 cm (Tableau 45)

Ajout de l'engrais le lendemain en relation avec les concentrations en nitrates, phosphates et silicates.

Tableau 45 - Programme de fertilisation de Clifford (1997) et Cook et Clifford (1998) pour des valeurs de secchi ≥45 cm.

Sel nutritif	Teneur et lieu	Action
nitrate	≤ 8 mg/L (CA)	Ajout dose usuelle d'engrais azoté
	≥ 9 mg/L (CA)	Pas ajout d'engrais azoté
	≥ 13 mg/L (CA)	Ajout de la dose x 2 d'engrais phosphaté
phosphate	≤ 0,2 mg/L (CA et CEU)	Maintien dose usuelle d'engrais phosphaté
silicate	≤ 1,0 mg/L	Ajout engrais silicaté
	> 1,0 mg/L	Pas d'ajout d'engrais silicaté

### Valeurs de Secchi comprises entre 25 et 45 cm (Tableau 46)

Tableau 46 - Programme de fertilisation de Clifford (1997) et Cook et Clifford (1998) pour des valeurs de Secchi comprises entre 25 et 45 cm.

Sel nutritif	Teneur et lieu	Action
nitrate	> 15 mg/L (CA ou CEU)	Pas d'ajout d'engrais azoté
	> 10 mg/L (CA)	Ajout dose usuelle de phosphate
phosphate	≤ 0,2 mg/L (CA et CEU)	Maintien dose usuelle d'engrais phosphaté
silicate	≤ 1,0 mg/L	Ajout dose usuelle engrais silicaté

### Valeurs de Secchi < 20 cm

Suspendre la fertilisation.

En cas d'impossibilité de mesurer les teneurs en sels nutritifs, les auteurs préconisent d'ajuster les doses en fonction des valeurs du Secchi (Tableau 47).

Tableau 47 - Programme de fertilisation de Clifford (1997) et Cook et Clifford (1998) basé sur des valeurs du Secchi lorsque les dosages en sels minéraux ne sont pas possibles.

Dosages (Litres/ha/2 x semaine)		
Secchi (cm)	Urée liquide-nitrate	Acide phosphorique
< 30	0	0
30 - 40	2	0,4
40 - 50	4	0,8
> 50	6	1,2

Il s'agit ici de la présentation de 4 techniques de fertilisation issues de la bibliographie. L'Ifremer n'a pas effectué d'étude comparative poussée, cependant il utilise en routine la méthode de fertilisation de Villalon.

## 4. Santé-nutrition

### 4.1. Introduction

La nutrition et l'alimentation de *L. stylimstris* ont fait l'objet depuis plus de 20 ans de nombreux travaux au Centre Océanologique du Pacifique à Tahiti puis à la Station Aquacole de St Vincent en Calédonie. Les scientifiques, les aquaculteurs, les provendeurs aussi bien que les fournisseurs de matières premières ont contribué à l'amélioration de l'alimentation de l'espèce *L. stylimstris* en Nouvelle-Calédonie.

Cependant, la formulation des aliments s'effectue encore aujourd'hui sur la base de tests réalisés en eau claire, dans des aquariums, avec des animaux élevés à haute densité, conditions très éloignées de celles qui règnent dans les bassins de terre où les animaux sont élevés à des densités moindres et où se développe une production naturelle très abondante. Actuellement des granulés coûteux, hyper protéinés en farines animales, fortifiés en vitamines et en minéraux, sont distribués dans les bassins en escomptant ainsi minimiser les risques des maladies et garantir les meilleures croissances.

Au niveau mondial, les grandes tendances de la recherche sont la diminution du taux de protéines dans l'aliment, l'utilisation de sources végétales et animales de phosphore plus digestibles par la crevette afin de réduire la pollution en azote et en phosphore, la substitution des farines animales par des produits végétaux et l'amélioration du rapport protéines/énergie (Cuzon *et al.*, 2004 ; Suresh et Zendejas, 2000). En Nouvelle-Calédonie, ces voies de progrès ne sont pas écartées mais l'accent est mis sur le rôle de la production naturelle, la perfectibilité des pratiques de nourrissage et le maintien de conditions environnementales favorables afin d'améliorer l'état nutritionnel et la santé de la crevette.

### 4.2. Généralités sur la nutrition et les aliments pour crevettes

#### 4.2.1. Notions sur l'ingestion et le transit intestinal des pénéides

L'ingestion de granulé est principalement fonction du poids moyen de la crevette et si la quantité distribuée augmente avec la taille, elle est inversement proportionnelle en termes de pourcentage de la biomasse. Les pratiques empiriques d'élevage reprennent ces notions en abaissant le taux de nutrition avec l'âge des animaux.

Les pénéides remplissent leur proventricule en 10 minutes et le vident en deux ou quatre heures (Marte, 1980 ; Cockcroft et McLachlan, 1986 ; Hill et Wassenberg, 1987 ; Hentschel et Feller, 1990). Le maximum de défécation intervient après une heure (Dall, 1968 ; Nunes et Parsons, 2000). La nourriture est ingérée par petites quantités (Sick et Baptiste, 1973 ; Marte, 1980) car le Tube Digestif (TD) antérieur ne représente que 2 à 3 % du poids du corps (Wassenberg et Hill, 1987). La fréquence à laquelle une crevette se nourrit dans le milieu naturel ou en bassin n'a jamais pu être véritablement vérifiée (Nunes *et al.*, 1996). Néanmoins, de la nourriture est trouvée en permanence dans leurs estomacs (Mc Tigue et Feller, 1989 ; Reymond et Lagardère, 1990). Il est supposé que les pénéides sont capables de reprendre la consommation du

granulé alors qu'elles n'ont pas fini de digérer leur repas précédent quoiqu'à un niveau plus faible (Nunes et Parsons, 2000). La satiété est contrôlée par la capacité de remplissage de la glande digestive (Al-Mohanna et Nott, 1987).

La consommation des pénéides est influencée par de nombreux facteurs tels que :

- la période et la fréquence d'exposition au granulé (Sedgwick, 1979a) ;
- la mue (Hill et Wassenberg, 1987) ;
- la quantité d'aliment (Sick *et al.*, 1973) ;
- l'intensité lumineuse (Mc Tigue et Feller, 1989) ;
- la répartition du granulé dans le bassin (Nunes et Parsons, 1999) ;
- la composition et l'appétence de l'aliment (Sarac *et al.*, 1993) ;
- les dimensions du granulé (Nunes et Parsons, 1998) ;
- l'heure de la journée ou de la nuit (Reymond et Lagardère, 1990) ;
- les fluctuations de la qualité de l'eau (Nunes *et al.*, 1996).

#### **4.2.2. Quelques définitions**

On dit qu'un nutriment est essentiel ou indispensable s'il ne peut être synthétisé par un animal au niveau requis pour assurer une croissance et un métabolisme normaux. Bien que les protéines soient nécessaires à la croissance, il n'y a pas de protéines (PRT) essentielles. En revanche, il y a des acides aminés (AA) essentiels ; les protéines sont composées d'AA.

Alors que les hydrates de carbone (glucides, farine de blé par exemple) sont reconnus comme étant des sources d'énergie adéquates, il n'y a pas d'hydrates de carbone (CHO) essentiels. Les CHO sont tirés de différents ingrédients alimentaires, stockés et relargués à travers les processus métaboliques.

Les lipides apportés dans le bol alimentaire et ceux qui sont stockés servent également, outre leurs fonctions métaboliques, de sources d'énergie. Le cholestérol qui n'est pas synthétisé par la crevette est indispensable de même que de nombreux acides gras essentiels (composants des lipides).

Finalement, il existe des vitamines et des minéraux essentiels.

La notion de nutriments essentiels peut être précisée en termes quantitatifs. Ainsi, les protéines, glucides et lipides sont souvent définis comme des macronutriments. Ils prennent une place très importante en terme d'espace et de poids dans le granulé. A l'opposé, on parle de micronutriments (vitamines, minéraux), pour les éléments requis par la crevette en faible quantité. La terminologie micro ne doit pas être faussement perçue comme voulant dire de moindre importance.

Il faut faire la différence entre les apports recommandés d'un nutriment et les quantités correspondantes introduites dans le granulé. En effet, si un élément essentiel quelconque est défini en conditions contrôlées comme étant indispensable à la crevette à un taux optimum de 5% d'un aliment expérimental, cela ne signifie aucunement que l'on retrouvera un taux identique de 5% de ce nutriment dans la composition du granulé commercial. En effet, assurer à la crevette les besoins spécifiques précis d'un nutriment à travers la fourniture d'un granulé commercial n'est pas chose facile. Il peut y avoir des pertes liées au processus de fabrication (cuisson), au stockage (durée, U.V, humidité), à la tenue à l'eau (diffusion) et à la digestibilité relative des différentes sources du composé lambda. En d'autres termes, ce qui est formulé n'est pas exactement ce qui se retrouve dans le granulé. Finalement, les composés utilisés pour la formulation des aliments expérimentaux sont souvent des produits de très grande qualité et hautement digestibles mais d'un coût prohibitif s'ils devaient être employés dans celle des granulés commerciaux (Fox *et al.*, 2001).

On emploie souvent à tort les termes carnivore, herbivore et omnivore pour qualifier certaines espèces de crevettes. Ainsi, *L. vannamei* est souvent présentée

comme étant une crevette à tendance herbivore alors que *L. stylomtris* serait plutôt omnivore et *M. japonicus* franchement carnivore. De fait un animal carnivore est celui dont la nourriture se compose de protéines animales alors qu'un herbivore consomme des protéines végétales. *L. vannamei* n'est pas a priori plus herbivore qu'une autre pénéide telle *M. japonicus* mais ses besoins en protéines sont globalement moindres (respectivement 25-30 % vs. 55-60 % PRT). Les protéines sont apportées dans le granulé sous forme de farines animales (poisson, crustacés, etc.) mais également végétales (blé, soja, pois, etc.).

#### 4.2.3. Le contenu énergétique alimentaire

La crevette utilise l'énergie de l'aliment de façon similaire à celle des animaux terrestres avec des exceptions notables car la crevette a des pertes énergétiques très importantes à travers les branchies et au moment de la mue. Primavera (1994) estime que seulement 17% de l'aliment apporté pendant l'élevage se retrouve dans la chair de crevette à la récolte (figure 58). Cuzon *et al.*, (2004) rapportent que seulement 40% des protéines fournies au cours d'un repas sont retenues, le reste étant perdu ou oxydé. Il existe aussi des variations importantes entre les espèces de crevettes suivant le rapport protéines végétales/animales consommées.

Les besoins de la crevette sont moindres que ceux des animaux non aquatiques notamment car :

- l'énergie de l'aliment n'est pas employée pour le maintien de la température corporelle ;
- la crevette vit dans l'eau et dépense moins d'énergie pour conserver sa position ou se déplacer ;
- la crevette excrète directement de l'ammoniac et non pas de l'urée ou de l'acide urique qui requièrent un surcoût énergétique (Fox *et al.*, 2001).

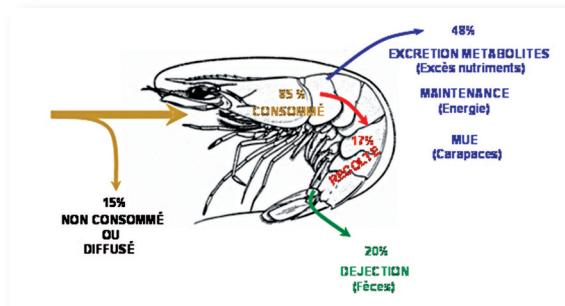


Figure 58 – Allocation physiologique du granulé distribué en cours d'élevage chez une crevette (basé sur la digestibilité alimentaire et les indices de conversion et redessiné d'après Primavera, 1994).

Il n'existe que peu de travaux sur l'efficacité énergétique des aliments. Néanmoins, la plupart sont formulés sur une base de 3 à 4 000 Kcal/Kg de granulé.

#### 4.2.4. Les caractéristiques physiques du granulé

Les caractéristiques physiques d'un granulé se réfèrent à tout élément qui peut affecter sa fabrication, son aspect ou l'intégrité du granulé lorsqu'il est dans l'eau. Elles incluent des facteurs tels que la couleur, la tenue à l'eau, la taille des particules broyées, la dimension des granulés et dans une certaine mesure l'attractabilité (Fox *et al.*, 2001).

##### Couleur du granulé

La couleur du granulé n'a aucune importance en terme d'attractivité ou d'appétence mais est simplement indicative des ingrédients présents et du processus de fabrication. Le plus souvent, les granulés présentent des teintes marron foncé voire noire. Elles

ne sont pas le résultat exclusif de la cuisson mais souvent de la capacité de coloration de certains ingrédients (extraits de calmar). Les vieux granulés qui ont été exposés très longtemps au soleil et à une chaleur excessive sont reconnaissables à leur teinte passée (beige clair à jaune pâle).

### Tenue à l'eau

La plupart des aliments commerciaux sont formulés pour avoir une tenue à l'eau de l'ordre de 4 à 6 h (Fox *et al.*, 2001) (voir chapitre suivant pour le contrôle). Des liants sont incorporés dans la formulation pour empêcher la diffusion des éléments nutritifs dans l'eau avant sa consommation par la crevette. La capacité de cohésion des constituants est assurée à travers l'ajout de composés artificiels chimiques (polymères synthétiques et produits à base d'urée et de formaldéhyde) et/ou des ingrédients ayant des propriétés liantes comme le gluten de blé. Ces derniers (éléments nutritifs naturels) utilisés seuls ne sont pas suffisants pour assurer une tenue à l'eau satisfaisante. En outre, le maintien de l'intégrité du granulé dans l'eau ne dépend pas seulement du type de liant utilisé mais également largement du soin apporté au process de fabrication. La taille des particules, la durée du conditionnement et sa température, les caractéristiques des filières et les températures de cuisson/séchage sont fondamentales. Le taux d'incorporation des liants ou *binders* se situe entre 0,5 et 1%.

### La granulométrie des ingrédients

L'agglomération s'effectue à partir de produits qui ont été pulvérisés et tamisés sur 500 µm. La nécessité d'utiliser des ingrédients aussi finement broyés est double :

- augmenter la capacité de cohésion et maintenir l'intégrité du granulé qui sort de la filière ;
- mode d'alimentation de l'animal qui est capable de rejeter/sélectionner des particules fines (jusqu'à moins de 10 µm).

### Longueur et diamètre des granulés

Le diamètre du granulé n'est pas seulement assujetti à la gestion zootechnique (taille des animaux), elle fait partie des contraintes physiques de celui-ci. En crevetticulture, il varie de 50 µm (aliment larvaire) à 3,2 mm (aliment maturation). En grossissement, le diamètre conventionnel est de 3/32 (2,4 mm) et la longueur d'environ 10 mm (Tableau 48).

Tableau 48 – Taille et composition proximale de base des granulés pour *Litopenaeus* spp. (Fox *et al.*, 2001) et Clifford (1997).

Caractéristiques	Type Juvenile (post-larve)	Type Starter (Démarrage)	Type Grower (Grossissement)	Type Finisher (Finition)
poids des crevettes	0 - 0,35 g	0,35 - 4,0 g	4 - 18 g	18 - 23 g
longueur du granulé	<i>Crumbles</i> (0,5 à 2 mm)	<i>Short cut pellet</i> (2 - 5 mm)	<i>Medium cut pellet</i> (5 - 7 mm)	<i>Long pellet</i> (7 - 10 mm)
diamètre du granulé	0,5 ; 1,0 ; 2,0 mm	3/32 (2,4 mm)	3/32 (2,4 mm)	3/32 ou 1/8 (2,4 mm ou 3,2 mm)
% protéines	35	30 - 35	25 - 30	25 - 20
% lipides	8	8	6	5
% cellulose brute	3	3	3	3
% cendres	7	7	7	6
% humidité	10	10	10	10
énergie brute (Kcal/kg)	3 500	3 500	3 200	2 800

Les aliments utilisés lors du démarrage des élevages (aliment *starter*) tels que fines, émiellé fin, émiellé, rondelles, concassé selon les différentes désignations des provendeurs et des aquaculteurs, sont produits à partir du granulé de base 3/32 (en pouces). Celui-ci est écrasé par un rouleau de type *roller crumbler* selon un temps variable pour obtenir des particules de différentes tailles. Celles-ci sont ensuite

passées au crible vibrant pour aboutir à trois classes de tailles 0,5 mm, 1,0 mm et 2,0 mm (appellations internationales fine, medium, *coarse crumbles*). Afin que chaque fragment d'aliment *starter*, plus ou moins finement concassé, conserve toutes les propriétés nutritives du granulé dont il est issu, il est impératif que le mélange initial et la granulométrie des ingrédients utilisés soient adéquats.

La logique de donner des granulés de dimensions de l'ordre de 2 mm ( $\varnothing$ ) x 10 mm (L) à des crevettes de 20 à 250 mm procède du comportement alimentaire de celles-ci et du mode de distribution de la nourriture. La crevette se nourrit en se saisissant des granulés un par un et les enserre de ses pattes ventrales. Elle l'égrène avec ses appendices antérieurs. Les morceaux sont portés jusqu'aux mandibules qui les déchiquettent en petits fragments qui sont avalés directement. L'animal doit être capable par ailleurs de localiser facilement les granulés. De sorte que offrir un grand nombre de granulés trop petits par unité de poids de crevette conduit à une perte d'énergie pour l'animal obligé de multiplier les petits déplacements pour satisfaire ses besoins. De façon similaire, fournir un faible nombre de granulés trop gros par unité de poids de crevette s'accompagne d'un gaspillage énergétique pour l'animal en difficulté pour localiser son granulé.

En Nouvelle-Calédonie la composition du granulé, notamment en termes de pourcentages de protéines et de lipides, demeure généralement inchangée au cours de l'élevage. Elle n'est pas adaptée à la taille des animaux contrairement à ce qui est réalisé dans d'autres pays. En général trois voire seulement deux types d'aliment sont employés : des fines (poudre fine) ou directement du concassé (granulé fractionné en trois ou quatre morceaux) jusqu'à 0,5-1 g puis du granulé entier jusqu'à la fin de l'élevage (animaux jusqu'à 35-45 g). De telles pratiques ne semblent

pas porter préjudice aux performances d'élevage de *L. stylostris* si l'on se réfère aux croissances obtenues ailleurs (figure 59).

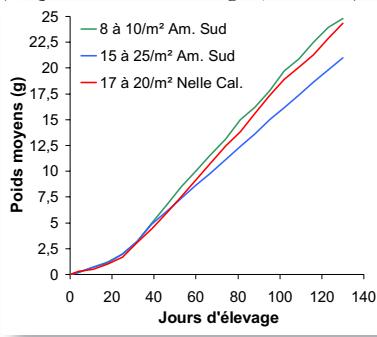


Figure 59 – Croissances comparatives de *L. stylostris* à 8-10/m<sup>2</sup>, 15-25/m<sup>2</sup> en Amérique du Sud (Clifford, 1997) et 17-20/m<sup>2</sup> en Nouvelle-Calédonie (moyenne sur 9 années d'une ferme familiale/base Stylog).

Commentaires : Supershrimp élevée avec Crumbles à 40-45% de protéines (0,4-1,4 mm → 0,2 g ; 1,4-1,7 mm → 0,5 g ; 1,7-2,8 mm → 2,0 g) ; pellet 3/32 à 35% PRT (short cut 2-4 mm puis long cut 5-7 mm → 12 g) ; pellet 1/8 à 35% >12 g

## 4.3. Protéines

Les protéines sont essentielles pour la structure et le fonctionnement de tous les organismes. En raison de leur utilisation ininterrompue pour satisfaire la croissance et la réparation des tissus, une fourniture soutenue de ces nutriments ou de leurs composants (AA) s'avère indispensable (Shiau, 1998). Les protéines représentent quantitativement et économiquement parlant le constituant le plus important du granulé commercial (Fox *et al.*, 2001).

### 4.3.1. Besoins en protéines

Les besoins en protéines répertoriés (Tableau 49) dans la littérature pour différentes espèces de pénéides varient de 23 à 64 %.

Le terme besoins en protéines est souvent galvaudé et il correspond parfois au pourcentage présent dans l'aliment. Par ailleurs certains résultats sur cette problématique sont souvent anecdotiques ou expérimentaux par nature. Les besoins ainsi estimés dépendent de la qualité de la protéine expérimentale (en fait du profil des AA), de l'âge et de l'état physiologique des animaux (D'Abramo et Sheen, 1994).

Tableau 49 – Besoins en protéines chez différentes espèces de pénéides.

Espèces de Pénéides	Besoins en Protéines (%)	Auteurs
<i>Farfantepenaeus aztecus</i>	23 - 51	(Venkataramiah <i>et al.</i> , 1975 ; Zein-Eldin et Corliss, 1976)
<i>Farfantepenaeus californiensis</i>	35	Colvin et Brand (1977)
<i>Farfantepenaeus duorarum</i>	28 - 32	(Fox <i>et al.</i> , 2004)
<i>Fennerpopenaeus indicus</i>	43	Colvin (1976)
<i>Fennerpopenaeus chinensis</i>	40	(Fox <i>et al.</i> , 2004)
<i>Fennerpopenaeus penicillatus</i>	22 - 27	(Fox <i>et al.</i> , 2004)
<i>Fennerpopenaeus merguensis</i>	34 - 42	Sedgwick (1979b)
<i>Marsupenaeus japonicus</i>	50 - 60	Deshimaru et Kuroki (1974) ; Deshimaru et Yone (1978) ; (Fox <i>et al.</i> , 2004)
<i>Penaeus monodon</i>	36 - 50	Lee (1971) ; Alava et Lim (1983) ; Bautista (1986) ; Shiau <i>et al.</i> , (1991), Shiau et Chou (1991)
<i>Penaeus esculentus</i>	64	Keys (2003)
<i>Litopenaeus setiferus</i>	25 - 28	Andrews <i>et al.</i> ;(1972)
<i>Litopenaeus vannamei</i>	30 - 36	Colvin et Brand (1977) ; Kureshy et Davis (2002) ; Smith <i>et al.</i> , (1985)
<i>Litopenaeus stylirostris</i>	33 - 35	Colvin et Brand (1977) ; Baillet <i>et al.</i> , (1997)

Les nutritionnistes s'accordent pour reconnaître que la détermination des besoins réels des espèces de crevettes en protéines requiert la connaissance des points suivants :

- capacité digestive ou digestibilité des protéines ajoutées dans l'aliment commercial ;
- taux de consommation réel du granulé ;
- interactions avec les facteurs environnementaux ;
- besoins en AA essentiels.

#### 4.3.2. Digestibilité

La croissance des crevettes est liée à la digestibilité des protéines. A prise de nourriture égale, plus la quantité d'éléments digestibles est grande, plus forte est la croissance (Cuzon *et al.*, 2004)..

Fondamentalement les protéines interviennent sur la croissance des crevettes en fonction de leur taux d'incorporation (par exemple de 10 à 50%) dans le granulé et de leur nature (Davis et Arnold, 1994).

Cependant, les résultats obtenus en conditions de laboratoire doivent être interprétés avec prudence et ne sont pas parfaitement transposables à cause des conditions qui prévalent dans les bassins d'une ferme industrielle (Tacon, 1996). On peut l'illustrer par la comparaison des essais menés sur l'influence de différents taux de protéines sur la croissance de la crevette calédonienne *L. stylirostris*. En petits bacs expérimentaux (Baillet *et al.*, 1997) (figure 60) l'effet protéines (27 - 44% protéines brutes) sur la croissance est très net alors qu'en bassins de terre (32-52% MAT) il semble moins évident (Della Patrona *et al.*, 2005) (figure 61).

Chez *L. stylirostris* la limite de la capacité digestive des protéines (Glande digestive, partie médiane et postérieure du TD) n'a pas été définie. Les observations de terrain montrent que l'on ne parvient toujours pas à saturer celle-ci avec des aliments hyper protéinés (Nippai® et autres aliments expérimentaux pour géniteurs) contenant des taux aussi élevés que 65 % (Cuzon *et al.*, 2004).

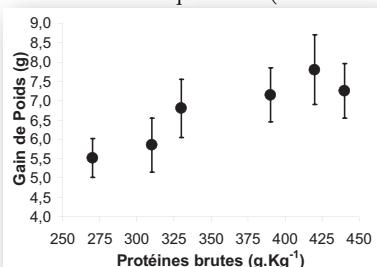


Figure 60 – Gain de poids sur 4 semaines de juvéniles de *L. stylirostris*, à la densité de 40/m<sup>2</sup> en bac expérimentaux de 70 L en eau claire, ayant reçu des aliments contenant différents taux de protéines (Baillet *et al.*, 1997).

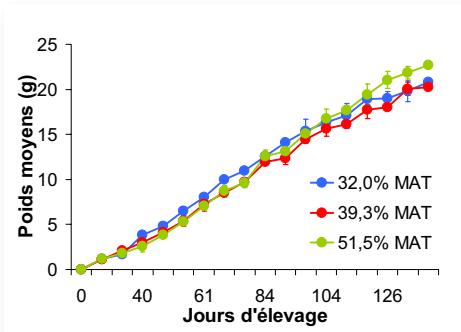


Figure 61 – Croissance comparée sur 20 semaines de *L. stylirostris* à la densité de 19/m<sup>2</sup> dans 8 bassins de terre (1500 m<sup>3</sup>) non fertilisés et nourrie avec des granulés commerciaux contenant différents pourcentages de protéines (exprimés en MAT : Matières Azotées Totales).(Della Patrona *et al.*, 2005).

En termes de digestibilité on pourrait supposer que l'on a le choix entre inclure dans la formulation 50 % de protéines brutes dont une faible partie est biodisponible pour la crevette (farine de

plumes ou de carapaces de crustacés) ou seulement 20 % d'un produit hautement digestible (caséine). De fait dans le scénario industriel, aucune des deux solutions n'est retenue. Les principales sources de protéines des provendiers sont les farines de poisson et de soja. Ces produits contiennent des protéines qui sont relativement bien digérées par la crevette ( $\approx 80\%$ ). En revanche, la qualité des approvisionnements de farines de poisson peut influer grandement sur digestibilité de celles-ci par les crevettes. Il n'est pas rare d'avoir des écarts de 58 à 68 % de protéines (poids sec) entre les différents arrivages (Fox *et al.*, 2001).

La digestibilité des protéines peut être également influencée par le process de fabrication et/ou les conditions de stockage (Roessink, 1989). En outre, une cuisson excessive peut réduire fortement la digestibilité des protéines (Lemos *et al.*, 2000).

### 4.3.3. La prise de nourriture

Pour satisfaire les besoins en protéines de la crevette, il faut s'assurer au préalable du degré de consommation de l'aliment par la crevette. Distribuer dans un bassin un granulé à 40% de protéines ne signifie aucunement que chaque animal aura consommé en fin de journée un repas complet qui lui permette de satisfaire pleinement ses besoins protéiques journaliers.

Si on prend l'exemple d'une ration journalière de 450 kg à répartir sur un bassin de 10 h. Cette quantité est atteinte dès la fin du second mois d'élevage, pour un poids de 7 - 8 g pour un bassin de saison chaudeensemencé à 20/m<sup>2</sup> et qui présente une très bonne survie, soit 80% ou 1,6 millions d'animaux. Sachant que dans un kg d'aliment fabriqué localement, il y a environ 20 500 granulés (calculé sur la base de grains non cassés  $\geq 10$  mm), lors des 4 distributions journalières chaque crevette devra faire l'effort d'aller chercher ses 1,2 à 1,5 granulés.

La stratégie et la fréquence de nourrissage, les modalités de distribution et le contrôle des restes qui sont développés dans le chapitre suivant sont des facteurs primordiaux. Par ailleurs, les besoins protéiques établis à partir de la consommation forcée *ad libitum* d'un granulé expérimental surdosé en attractants sont difficilement transférables aux conditions de bassins.

### 4.3.4. Rapport Protéines/Energie

Idéalement, les protéines, qui représentent le constituant le plus onéreux du granulé, devraient être majoritairement utilisées pour satisfaire la croissance alors que les autres nutriments moins coûteux (carbohydrates et lipides) devraient assurer les besoins énergétiques de la crevette. En général, les protéines ont un effet épargne sur les autres sources d'énergie des aliments. Ainsi, si les nutriments affectés à la fourniture d'énergie à l'animal (exemple les carbohydrates) viennent à faire défaut dans l'aliment, la crevette va utiliser les protéines pour assurer les fonctions métaboliques au détriment de la croissance. Dans ce cas, l'animal continue à consommer un aliment (et donc son contenu en protéines onéreux) qui ne couvre

uniquement que les besoins énergétiques qui sont privilégiés et qui ne peut plus contribuer à la croissance.

Formuler un aliment hyperprotéiné n'est pas une solution acceptable d'un point de vue économique (et environnemental) car l'excès de protéines (coûteuses) sera gaspillé par l'animal pour fournir de l'énergie. Distribuer des repas hyper énergétiques au cheptel ne constitue également pas une voie satisfaisante. La crevette ainsi fortifiée ne consommera de la ration distribuée dans le bassin que ce qui lui est nécessaire pour pourvoir à ses besoins énergétiques puis réduira sa consommation. De sorte que les besoins en protéines ne seront pas satisfaits.

Définir le rapport idéal Protéines/Energie (P/E) qui alloue l'essentiel du pool de protéines à la croissance et moins à l'énergie est une des priorités de recherche en nutrition. Le ratio P/E doit être déterminé pour une espèce et un environnement donnés. Deux approches sont testées pour affiner P/E :

- des aliments contenant une forte proportion d'attractants (pour permettre une consommation rapide et complète) et des quantités minimales de protéines (15 - 18% protéines brutes) hautement digestibles ;
- des granulés à teneurs modérées en attractants (rôle assumé par la source de protéines) et des taux très élevés (30 – 35 % PB) de sources de protéines de digestibilité intermédiaire (Fox *et al.*, 2001).

La première voie se destine aux élevages intensifs à changements d'eau réduits et vise à minimiser les sources de pollution tels que l'azote et le phosphore à partir de nutriments hautement digestibles donc très onéreux. La seconde suppose l'emploi d'ingrédients moins coûteux dans des élevages peu intensifiés où la production naturelle vient compléter les manques nutritionnels éventuels. Le rapport P/E varie généralement de 20 à 50 mg protéines/kj chez les pénéides d'élevage (Cuzon et Guillaume, 1997).

## 4.4. Acides aminés

Dix Acides Aminés Essentiels (AAE) ont été identifiés chez les crevettes (Kanawaza et Teschima, 1981 ; Coloso et Cruz, 1980). Il s'agit de l'arginine, l'histidine, l'isoleucine, la leucine, la lysine, la méthionine, la phénylalanine, la thréonine, le tryptophane et la valine.

Les besoins quantitatifs en AAE sont très mal connus chez les pénéides à l'exception de *P. monodon* (Cuzon *et al.*, 2004). De sorte que l'ajout des acides aminés dans la provende s'est fait depuis de nombreuses années par essais et erreurs (Fox *et al.*, 2001). La satisfaction des besoins en AAE doit être basée sur leur biodisponibilité qui est affectée ou réduite par trois facteurs :

- une digestion incomplète ;
- la présence d'inhibiteurs ;
- l'altération de la protéine de base.

De fait, les recherches ne doivent pas uniquement porter sur le profil en AA mais également sur la protéine animale utilisée. Ainsi, tous les AAE pour les pénéides sont présents dans la farine de poisson, d'où sa prépondérance dans les formulations. Au contraire, l'emploi de protéines végétales peut conduire à une faible digestibilité du granulé ou une déficience en certains AAE. Les tourteaux de céréales et de légumes sont respectivement pauvres en lysine et en méthionine. Alors que la farine de poisson s'est révélée être une source idéale en AA pour les poissons, la farine de crustacés n'est pas aussi appropriée pour la crevette (Cuzon *et al.*, 2004). La raison en serait que ces farines de crevettes sont faites à partir de rebuts des ateliers de conditionnement (animaux éêtés : têtes avec hépatopancréas et décortiqués : carapaces/chitine) dont la composition diffère assez fortement de celle du muscle.

La composition en AA du muscle caudal de crevette est souvent utilisée comme référence pour vérifier l'adéquation des protéines employées dans la formule avec les besoins en AAE (Lim, 1993). Parallèlement, on constate que l'arginine, et à un degré moindre la lysine, sont souvent déficitaires (Fox *et al.*, 1995).

Les carences en AA ne conduisent pas à des signes de déficiences ou à des maladies comme observés chez les poissons pour la méthionine ou la lysine. Elles peuvent conduire à des ralentissements de croissance (Cuzon *et al.*, 2004). Néanmoins, une carence en tryptophane serait responsable des problèmes de *caudal erosion*, crevettes présentant des uropodes en moignons que l'on rencontre rarement dans les élevages en Nouvelle-Calédonie.

## 4.5. Carbohydrates

Les sources d'énergie les plus appropriées pour la formulation des aliments crevetticoles sont les ingrédients très riches en carbohydrates (CHO) comme les céréales (Fox *et al.*, 2001). On ne connaît pas très précisément les besoins glucidiques des pénéides (Cuzon *et al.*, 2004). Parmi les carbohydrates, les sucres simples très facilement digestibles comme les monosaccharides tels que le glucose et galactose ne sont pas favorables du fait de leur coût mais surtout de leur utilisation particulière par la crevette, mécanisme encore mal connu (Shiau, 1998). Une des explications proposées est que le glucose, qui ne requiert aucune digestion, serait absorbé très rapidement à travers le TD et passerait directement dans l'hémolymphé (Abdel-Rahman *et al.*, 1979). Une élévation physiologiquement anormale car trop rapide du glucose dans le milieu intérieur empêcherait son utilisation comme source d'énergie et produirait un effet délétère sur la croissance (Andrew *et al.*, 1972).

Les sucres complexes tels que l'amidon favorisent la croissance et sont largement utilisés par les provendiers à travers l'utilisation de farine de blé, brisures de riz ou autres sous-produits bon marché (Cuzon *et al.*, 2004). La digestibilité des carbohydrates des aliments peut être améliorée pour part par le *process* de fabrication (extrusion à haute température *vs.* agglomération à basse température) (Fox *et al.*, 2001). Par ailleurs, certaines sources de CHO complexes, traitées par des procédés industriels *ad hoc*, favorisent la tenue à l'eau des granulés et servent donc de liants naturels.

La chitine est un polysaccharide complexe qui compose l'essentiel de la carapace de la crevette. Akiyama *et al.*, (1992) recommandent d'en ajouter un pourcentage minimum de 0,5 % dans les aliments car elle constituerait un facteur de croissance.

L'effet épargne des protéines par l'utilisation de carbohydrates peu coûteux est une voie de recherche intéressante en nutrition pour faire baisser les coûts de l'aliment (Shiau et Peng, 1992). La génétique est venue également apporter des perspectives intéressantes. Arena (2002) a montré que la souche sauvage de *L. vannamei* disposait d'un plus fort potentiel à utiliser les CHO pour épargner les protéines que les souches mexicaine et tahitienne domestiquées depuis des générations qui avaient progressivement perdu cette capacité.

## 4.6. Lipides

Les pénéides n'ont pas de besoins bien définis en lipides. Les taux recommandés dans l'aliment commercial varient de 6 à 7,5% et un taux maximum de 10% a été suggéré par (Akiyama *et al.*, 1991). Un ajout trop important de lipides peut réduire la tenue à l'eau du granulé. Alors que les lipides (huiles, matières grasses) apportent de l'énergie, leur inclusion à fortes doses sous des formes purifiées sont trop onéreuses pour les provendiers. Les lipides servent à la fois de sources énergétiques mais également d'attractants (huiles de poissons). Leur dosage dans l'aliment commercial dépend du type d'approvisionnements en protéines utilisées qui en contiennent également. Un des points importants est la conservation des matières premières qui

improprement réalisée peut gravement diminuer la qualité du granulé par auto oxydation (Fox *et al.*, 2001).

L'aspect essentiel de la nutrition lipidique concerne les exigences en termes d'acides gras polyinsaturés, de stérols et de phospholipides (Shiau, 1998).

#### **4.6.1. Acides gras hautement insaturés (HUFA) et polyinsaturés (PUFA)**

D'Abramo (1997), Kanazawa *et al.*, (1979) et Lim *et al.*, (1997) ont déterminé l'existence de plusieurs acides gras essentiels chez les pénéides d'élevage notamment *M. japonicus*, *F. indicus* et *L. vannamei*:

- acide linoléique (LOA : 18 : 2n-6) ;
- acide linolénique (LNA : 18 : 3n-3) ;
- acide eicosapentaénoïque (EPA : 20 : 5n-3) ;
- acide decosahexaénoïque (DHA : 22 : 6n-3) ;
- acide arachidonique (AA : 20 : 4n-6).

Gonzalez-Felix *et al.*, (2003a et b) ont montré que les *High Unsaturated Fatty Acids* HUFA (AA + EPA + DHA) produisaient de bien meilleures croissances que les *Poly Unsaturated Fatty Acids* PUFA (LOA + LNA) chez *L. vannamei*.

#### **4.6.2. Cholestérol**

Le cholestérol est essentiel pour les pénéides et c'est probablement un des aspects uniques de la nutrition lipidique chez les crustacés (Shiau, 1998). La relation entre le cholestérol et la mue est connue depuis très longtemps (Renaud, 1949). On parle de l'indice lipocytique, rapport cholestérol/phosphatides au niveau de l'hypoderme qui déclenche le phénomène d'absorbtion massive d'eau pour l'élimination de l'ancienne carapace. Le cholestérol est le précurseur des hormones stéroïdes impliquées dans la mue, la croissance et la reproduction.

Les besoins en cholestérol varient non seulement en fonction des facteurs environnementaux mais également en fonction de la croissance des animaux. Les individus présentant un plus fort potentiel de croissance auraient des exigences supérieures (Cuzon *et al.*, 2004).

#### **4.6.3. Phospholipides**

Les phospholipides sont des composants fondamentaux des membranes biologiques et des lipoprotéines du plasma qui servent à solubiliser les graisses et le cholestérol pour assurer leur transport via l'hémolymphé.

Bien que les sources de protéines et de graisses d'origine marine utilisées (farines de poissons, de krill, de crevettes, de calmar, et huiles de foie de requins, de calmar, etc.) dans l'industrie fournissent une bonne partie des besoins en phospholipides, les nutritionnistes en rajoutent traditionnellement, plus communément sous forme de lécithine de soja.

Les phospholipides (PL) assurent un nombre important de fonctions. Ils facilitent la digestion en agissant comme un surfactant permettant l'émulsion et la digestion des lipides. Ils favorisent la mobilisation de ces derniers notamment du cholestérol. L'interaction cholestérol-phospholipides favorable à la croissance des pénéides a largement été démontrée (Gong *et al.*, 2000 a et b). Les lécithines améliorent l'efficacité des HUFA contribuant ainsi à accroître la résistance et la croissance des crevettes.

Les PL réduisent la diffusion des nutriments hydrosolubles du granulé en agissant comme un liant. Ils interviennent également comme attractants (Russett, 2000).

## 4.7. Vitamines, minéraux et facteurs de croissance inconnus

### 4.7.1. Vitamines

L'approche la plus appropriée pour décider d'employer un aliment fortifié en vitamines est d'évaluer l'importance de la production naturelle, les risques de déclenchement de maladies, la qualité environnementale du bassin et les densités envisagées (Fox *et al.*, 2001). En résumé, plus la production naturelle est pauvre, les densités fortes (et inadéquates / équipements), les périodes à risques possibles, les zones d'accumulations critiques, plus les risques subséquents de stress de la crevette sont accrus et plus l'emploi de vitamines s'avérera nécessaire. Dans des bassins de terre présentant des conditions environnementales satisfaisantes, les essais avec ou sans ajout de vitamines ne montrent aucune différence en terme de croissance et de survie (Trino *et al.*, 1992 ; Trino et Sarroza, 1995). En dessous de la densité de 15/m<sup>2</sup> les *premix* de vitamines et de minéraux ne sont traditionnellement pas ajoutés dans les aliments commerciaux (Fox *et al.*, 2001). En terme de réponse immunitaire, des doses très importantes de vitamine C peuvent apporter une certaine protection aux crevettes. Il s'agit alors de traitement curatif pour lutter contre les maladies d'origines virales et éventuellement contre les syndromes liés à des vibrioses (Cuzon *et al.*, 2004).

Un audit objectif des conditions de fonctionnement de l'écosystème bassin est impératif lorsque l'on sait que la survitamination représente de 5 à 15 % du coût du granulé. La principale raison pour laquelle les producteurs incorporent des vitamines dans l'aliment utilisé localement est le fait qu'elles représentent une assurance confort non pas pour la crevette qui en trouve en abondance dans les bassins bien gérés mais pour la tranquillité de l'aquaculteur (Cuzon *et al.*, 2004 ; Lawrence, 1997 com.pers.).

Les pénéides requièrent 11 vitamines hydrosolubles (thiamine, riboflavine, niacine, vitamines B<sub>6</sub>, acide pantothénique, biotine, folate, vitamine B<sub>12</sub>, choline, myo-inositol, vitamine C) et 4 liposolubles (vitamines A, D, E, K) (Conklin, 1997).

#### Vitamine C (acide ascorbique)

L'acide ascorbique est d'un point de vue structurel une des vitamines les plus simples. Elle est soluble dans l'eau et dans de nombreux solvants. C'est un anti oxydant important et elle est facilement oxydée. La principale fonction de cette vitamine est la formation du collagène, un composant essentiel des capillaires et des tissus connectifs. Elle est impliquée dans la synthèse des hormones stéroïdes. Les symptômes de déficience sont caractérisés par la maladie de la mort noire (Lightner *et al.*, 1977), des problèmes de mue, un hépatopancréas plus coloré, une diminution de la croissance et des mortalités. Les besoins en vitamine C chez la crevette sont de 50 - 80 mg/kg. Les ajouts préconisés dans l'aliment, sous forme encapsulée et de dérivés thermostables sont respectivement de 1 000 mg/kg et de 100 mg/kg (Lawrence, 1997).

#### Biotine

La biotine est un composant essentiel de systèmes enzymatiques spécifiques impliqués dans les réactions de transferts du dioxycéde de carbone dans les tissus. Les sources de biotine proviennent des résidus de distilleries, de farines de graines de coton, des levures et du polissage du riz. Les signes de carences sont l'anorexie, un ralentissement de croissance, une pigmentation anormale. Les apports conseillés sont de 1 mg/kg (Lawrence, 1997).

#### Choline

Cette vitamine est un élément essentiel des phospholipides et de l'acétylcholine qui

sont impliqués dans le transport des lipides, la structure des cellules et la transmission de l'influx nerveux. Les approvisionnements viennent des résidus des distilleries, des farines de graines de coton, des farines de crevettes, de poissons et de soja, et des levures. Les symptômes d'insuffisance en choline sont une croissance faible, une anorexie et l'accumulation de graisses dans les tissus. L'ajout recommandé est de 400 mg/kg (Lawrence, 1997).

### **Vitamine B<sub>12</sub> (cyanocobalamine)**

La cyanocobalamine est un composé long et complexe formé d'un anneau porphyrique contenant du cobalt. C'est un constituant essentiel des enzymes indispensables à la synthèse des acides nucléiques, du métabolisme des carbohydrates, des lipides et des acides aminés. Les farines de sang, de crabes et de poissons sont riches en vitamine B<sub>12</sub>. Une faible croissance et une anorexie sont les signes d'une carence en cyanocobalamine. La dose conseillée dans le granulé est de 0,1 mg/kg (Lawrence, 1997).

### **Acide folique**

L'acide folique, sous sa forme de co-enzyme, agit comme un transporteur intermédiaire d'unités carbone dans un grand nombre de réactions du métabolisme notamment des AA et de la biosynthèse des acides nucléiques ADN et ARN. Les signes de carence sont la léthargie, l'anorexie et une faible croissance. Les approvisionnements viennent des résidus des distilleries, des farines de graines de coton, de soja et des levures. On recommande des ajouts de 10 mg/kg (Lawrence, 1997).

### **Inositol**

L'inositol est un facteur de croissance soluble dans l'eau. Bien que non requis chez la plupart des animaux, il s'avère important chez la crevette. Le myo-inositol est un élément des phospholipides et des phosphoglycérides que l'on trouve dans des tissus tels que le squelette, le cœur et le cerveau. Sa déficience se traduit par un ralentissement de croissance et une anorexie. On trouve cette vitamine dans les farines de poissons et de foie, les germes de blé, les levures et la lécitine de soja. La dose préconisée est de 300 mg/kg (Lawrence, 1997).

### **Niacine (acide nicotinique)**

La niacine est un composant de deux co-enzymes qui interviennent dans l'oxydation des tissus, le métabolisme des carbohydrates, des lipides et des protéines et la synthèse des acides gras et du cholestérol. Une carence en cette vitamine est signalée par une faible croissance, une anorexie, une léthargie et des mortalités. Les sources d'acide nicotinique proviennent de farine de sang, de sous produits des distilleries, du gluten de maïs, des farines de graines de coton, de crabe, de poissons, de soja, d'arachide, des brisures et du polissage du riz, des levures. La supplémentation nécessaire est de 200 mg/kg (Lawrence, 1997).

### **Acide pantothénique**

L'acide pantothénique intervient en tant que composé d'une co-enzyme qui est nécessaire principalement à l'oxydation et à la synthèse des acides gras, la synthèse du cholestérol et des stéroïdes. Une déficience est indiquée par une constitution anormale des branchies, une anorexie et des mortalités. Cette vitamine est présente dans les dérivés des distilleries, les farines de graines de coton, de poisson, d'arachide, de soja, des brisures et du polissage du riz et des levures. L'ajout nécessaire est de 75 mg/kg (Lawrence, 1997).

### **Vitamine B<sub>6</sub> (pyridoxine)**

La vitamine B<sub>6</sub> intervient comme co-enzyme dans les réactions enzymatiques du métabolisme des AA. Une carence en vitamine B<sub>6</sub> se traduit par une faible

croissance, des mortalités et un comportement anormal de nage. Elle est présente notamment dans les résidus des distilleries, les farines de poissons et les levures. La dose préconisée est de 50 mg/kg (Lawrence, 1997).

### **Thiamine et Riboflavine**

Les doses de thiamine préconisées chez *P. monodon* sont de 13 - 14 (Chen *et al.*, 1991) et de 60 à 120 mg/kg d'aliment chez *M. japonicus* (Deshimaru et Kukoki, 1979). Pour la riboflavine, Chen et Hwang (1992) recommandent 22,5 mg/kg pour *P. monodon* et Shiao (1998) rapporte une quantité de 80 mg/kg pour *M. japonicus*.

### **Vitamine A**

Elle est présente sous deux formes : vitamine A (rétinol) trouvée chez les mammifères et les poissons marins et vitamine A<sub>2</sub> (rétinol<sub>2</sub>) trouvée chez les poissons d'eau douce. Liposoluble, la vitamine A est nécessaire chez les vertébrés pour la régénération d'un composé rétinien. Elle est impliquée dans le transport du calcium à travers les membranes, dans le développement embryonnaire et la reproduction ainsi que dans le maintien de l'intégrité cellulaire. Les signes de carences incluent une dépigmentation et une carapace à consistance cartonneuse. Les sources de vitamine A sont les huiles de foie de poisson et les farines de foie. Les doses recommandées dans la provende sont de 10 000 IU/kg (Lawrence, 1997).

### **Vitamine D**

Liposoluble, la vitamine D existe sous deux formes : la vitamine D\sb{2} ou ergocalciférol et la vitamine D\sb{3} ou cholécalciférol. Cette dernière présente une activité plus grande chez certains animaux et c'est sous cette forme qu'on la retrouve dans leurs tissus. La D\sb{3} est impliquée dans le métabolisme du calcium et du phosphore. Le cholécalciférol favorise l'absorption et le dépôt du calcium dans la carapace. Il facilite l'assimilation du phosphore ainsi que la transformation de sa forme organique en inorganique. Les sources de vitamines D sont les huiles de foie de poissons, les farines de foie et de poissons. Les insuffisances en cette vitamine se caractérisent par une léthargie, une faible croissance et une carapace cartonneuse. Les apports préconisés sont de 5 000 IU/kg (Lawrence, 1997).

### **Vitamine E**

L'importance de cette vitamine liposoluble n'a été soulignée que très récemment. Elle intervient dans la réponse immunitaire et dans les processus de désactivation des peroxydes qui détruisent les membranes cellulaires (Cuzon *et al.*, 2004). He et Lawrence (1993) ont montré que la quantité optimale à incorporer dans l'aliment était de 99 mg/kg d'aliment et que cette valeur pouvait changer avec l'inclusion de lipides. Une insuffisance alimentaire en vitamine E se traduit par des survies plus basses.

### **Vitamine K**

Les besoins en vitamine K, liposoluble, varient de 30-40 chez *P. monodon* (Shiao et Liu, 1994 a) à 185 mg/kg de granulé chez *P. chinensis* (Shiao et Liu, 1994 b).

## **4.7.2. Minéraux**

Chez la crevette, les minéraux essentiels sont apportés par les échanges d'eau à travers les branchies ou l'ingestion ou l'absorption à travers le tube digestif. Les besoins journaliers s'expliquent par les pertes répétées de certains éléments au cours des mues (Shiao, 1998). On considère qu'il existe au moins une vingtaine de ces éléments qui doivent être présents dans la nourriture pour satisfaire les besoins de la crevette (Lawrence, 1997).

### **Calcium, Phosphore et rapport Ca/P**

Les principaux minéraux limitants dans la formulation des aliments pour crevettes

sont le calcium et le phosphore.

## Phosphore

Les sels de phosphore peuvent être absorbés directement du milieu aquatique, mais ses concentrations sont le plus souvent insuffisantes pour satisfaire les besoins de la crevette (Cuzon *et al.*, 2004). On peut le trouver dans de nombreuses plantes ou graines sous une forme difficilement digestible, connue sous le nom de phytate ou d'acide phytique. On considère ainsi que seulement  $\frac{1}{4}$  ou  $\frac{1}{3}$  du phosphore contenu dans la farine de soja sera disponible pour la crevette. Pour assurer les besoins alimentaires en phosphore on incorpore des formes purifiées de phosphate mono, di ou tri-basique (Fox *et al.*, 2001). Les sources alimentaires de phosphore sont les dérivés des distilleries, les farines de graines de coton, de crabe, de poisson, de krill, de crevette, de calmar, de sous-produits du riz et des levures. Le taux recommandé pour le phosphore biodisponible est de 0,8 %. Le phosphore total ajouté dans l'aliment représente environ 1,5 % et doit être vérifié pour maintenir un rapport Calcium/Phosphore (Ca/P) adéquat (Lawrence, 1997).

## Calcium

Le calcium est indispensable à la fabrication de la carapace et pour assurer de nombreuses fonctions métaboliques. Les pénéides absorbent directement le calcium à travers la peau et les branchies. De sorte que les besoins alimentaires dépendent fortement de l'environnement aquatique (géologie, rivières, *etc.*). Les taux recommandés dans l'aliment sont de 2 – 3 %. Son incorporation dépend de celle du phosphore pour maintenir un rapport Ca/P optimal (Fox *et al.*, 2001).

## Rapport Ca/P

Davis *et al.*, (1993a) ont montré que l'ajout de calcium dans l'aliment n'est pas nécessaire dans les élevages de *L. vannamei*. Ils ont déterminé que les besoins en phosphore pour cette espèce dépendaient de la concentration en calcium dans leur alimentation. Pour un granulé non supplémenté en calcium, une formulation de base à 0,35 % de phosphore est satisfaisante pour assurer de bonnes survie et croissance. Lorsque l'on incorpore du calcium dans l'aliment à des teneurs de 1,0 et 2,0 %, il devient nécessaire d'ajouter du phosphore aux concentrations respectives de 0,5 - 1,0 % et de 1,0 - 2,0 % pour maintenir une croissante normale chez *L. vannamei*. Des résultats rigoureusement identiques ont été obtenus également chez *P. monodon* (Peñaflorida, 1999). Les formulations des granulés fabriqués localement pour *L. stylorostis* suivent les recommandations de ratio Ca/P (Chim, 2007, com.pers.).

## Cuivre

Le cuivre (Cu) est un des constituants de l'hémocyanine (hémoglobine des crevettes). Une carence en cet élément trace peut se révéler préjudiciable pour les juvéniles qui ont besoin de synthétiser l'hémocyanine dans leur hémolymphe (sang des crevettes). Cu est impliqué dans l'hématopoïèse (fabrication des hémocytes = globules rouges des crevettes) ainsi que dans la synthèse du collagène et de l'élastine.

La crevette est capable d'absorber la plupart des microminéraux à travers ses branchies (Fox *et al.*, 2001). Hors, la toxicité du Cu à fortes doses est connue chez la crevette. La teneur de l'eau de mer est généralement de 0,5 mg Cu/L. Des tests réalisés avec des concentrations variant de 0,2 à 128 mg/kg de granulé ont montré un effet bénéfique et progressif sur la croissance de *L. vannamei* jusqu'à 32 mg/kg (Davis *et al.*, 1993 b). Les sources de Cu incluent les résidus des distilleries, les *slurry* (concentrés liquides) solubles de poissons, la farine de krill et les levures. L'ajout de Cu dans l'aliment se fait à travers le sulfate de cuivre et le chlorure de cuivre. La dose recommandée de cuivre dans le granulé est de 35 mg/kg (Lawrence, 1997).

## Zinc

Le zinc Zn est un microminéral très important constituant de plus de 80 métallo-enzymes ainsi qu'un co-facteur des systèmes enzymatiques (Davis *et al.*, 1992). Il peut faire défaut dans l'aliment car la biodisponibilité du zinc dans les farines de poissons utilisées traditionnellement, notamment celles dites blanche *vs.* marron, est relativement faible. Par ailleurs, cette propriété peut être abaissée proportionnellement à leurs contenus en certaines formes de phosphates et de phytates (Cuzon *et al.*, 2004). Les sources de zinc proviennent des résidus des distilleries, des farines de gluten de maïs, de poissons, de krill, des sous-produits du riz et des levures. Il est également ajouté sous forme de sulfate de zinc et de gluconate de zinc. La teneur en zinc préconisée dans le granulé est de 110 mg/kg (Lawrence, 1997).

## Fer

Le fer (Fe) est utilisé dans de très nombreuses enzymes (cytochromes, catalases, oxydases, *etc.*). L'absorption du Fe peut être réduite en raison de trop fortes concentrations en P, Ca, Cu, Zn et phytates. Les sources de Fe viennent des farines de sang, de crabes, de poissons et de résidus de distilleries. L'ajout de Fe intervient via le sulfate de fer et le gluconate de fer. La dose conseillée dans le granulé est de 300 mg/kg, mais son ajout ne serait pas indispensable (Lawrence, 1997).

## Magnésium

On trouve l'essentiel du magnésium (Mg) dans la carapace des pénéides. De manière similaire au phosphore, ce minéral est un constituant d'un grand nombre d'enzymes et est essentiel aux processus métaboliques des lipides, protéines et carbohydrates. Il joue un rôle dans les fonctions nerveuses et musculaires ainsi que dans l'osmorégulation. On trouve le Mg notamment dans les farines de crabes, de graines de coton, de krill et de crevettes. Mg est ajouté sous forme de sulfate de magnésium. La teneur préconisée est de 0,2% dans l'aliment commercial (Lawrence, 1997).

## Manganèse

Le manganèse (Mn) sert de co-facteur pour un certain nombre d'enzymes. Les sources de Mn sont les résidus de distilleries, la farine de crabe, des sous-produits de l'industrie du riz et de la farine de blé. Mn est incorporé dans le granulé sous forme de sulfate de manganèse. La dose usuelle dans le granulé est de 20 mg/kg (Lawrence, 1997).

## Sodium, Potassium et Chlore

Ces minéraux sont des composants des fluides et des tissus mous (*soft tissues*) du corps. Ils servent à la régulation osmotique ainsi qu'à la balance acide-base. Ils jouent un rôle important dans le métabolisme hydrique. Les sources de sodium (Na) sont les farines de crabes, de poissons et de crevettes. Celles du potassium (K) viennent des dérivés des distilleries, de l'industrie du riz et de la farine de blé, des farines de graines de coton, de soja et des levures. On trouve du chlore (Cl) dans les farines de crabes, de poisson et de crevettes. Les teneurs recommandées du Na et du K dans le granulé sont respectivement de 0,6 et 0,9%. Celles du Cl ne sont généralement jamais limitantes. On ajoute le K également sous forme de chlorure de potassium ou de iodure de potassium. Pour les formulations contenant une très forte proportion de produits de base d'origine végétale on emploie du sel, (chlorure de sodium (NaCl)) pour réhausser l'appétence du granulé (Lawrence, 1997).

## Soufre

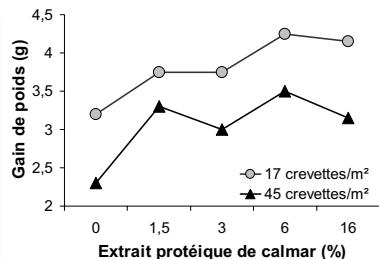
Le soufre (S) est présent dans les protéines via les constituants des AA que sont la méthionine et la cystéine. Il entre dans la composition de composés dérivés d'AA

contenant du soufre tels que le glutathion, la taurine, l'héparine et la chondroïtine. Il a été montré un effet épargne du soufre sur les besoins en cystéine et méthionine. Les sources de soufre sont les farines de poissons, de graines de coton et les levures. Le soufre n'est généralement pas un minéral limitant dans les formulations (Lawrence, 1997).

### 4.7.3. Facteurs de croissance inconnus

#### Effet calmar

Il a été montré depuis plus de 20 ans que les extraits de calmar, fraction lipidique et/ou protéiques, jouent un rôle bénéfique sur la croissance (Cruz *et al.*, 1987) et sur le développement ovarien. Guillaume (1999) a mis clairement en évidence le rôle des protéines de calmar sur le gain de poids. Si au taux d'incorporation de 16% on



peut suspecter un effet supplémentaire des AA apportés par l'extrait, à 1,5% la dose n'est pas suffisamment élevée pour expliquer le phénomène (figure 62). De sorte que cette observation justifie l'emploi fréquent de farine de calmar dans la composition des granulés commerciaux.

Figure 62 – Importance de l'effet calmar sur la croissance des crevettes (Guillaume, 1999).

#### Effet krill

La substitution de 2% seulement de la farine de poisson par celle de krill a un effet substantiel sur la croissance. Le krill agirait comme attractant en augmentant l'appétence et/ou renfermerait un facteur de croissance non identifié qui permet une diminution de l'indice de conversion (Lopez *et al.*, 1998).

#### Effets particules en suspension

L'effet du dopage de la croissance par les particules en suspension contenues dans l'eau de rejet des bassins de crevettes a été mis en évidence par hasard puis vérifié par plusieurs séries d'expérimentations.

Leber *et al.*, (1988) observent que des crevettes *L. vannamei* de 2 g à la densité de 40/m<sup>2</sup> à jeun survivent (98%) pendant six semaines et grandissent (0,043 g/j) dans des bacs alimentés par l'eau de rejet d'un bassin.

Leber et Pruder (1988) montrent que des crevettes *L. vannamei* de 2 g à la densité de 40/m<sup>2</sup> nourries sur deux types de granulé (taux protéines normal - Norm. Pellet vs. Hyperprotéiné - Nippai) qui reçoivent l'eau de rejet d'un bassin poussent plus vite que celles qui sont alimentées en eau claire.

Ils vérifient que l'effet ne vient pas des particules alimentaires présentes dans l'eau de rejet puisque l'addition d'aliment finement pulvérisé (Norm. Pellet<sup>++</sup>) en complément de la ration normale (Norm. Pellet) ne dope pas la croissance.

Ils confirment l'importance du taux de protéine du granulé sur la croissance de *L. vannamei* car les animaux poussent plus vite sur l'aliment le plus riche en protéines (Norm. Pellet vs. Nippai®) quelle que soit l'origine de l'eau de renouvellement (rejet vs. claire). A la densité de 40/m<sup>2</sup>, les crevettes nourries avec un granulé normal (Norm. Pellet) qui reçoivent une eau de rejet poussent plus vite que celles qui sont alimentées par du Nippai et renouvelées en eau claire (figure 63). En résumé, l'effet particules compense la différence en protéines.

Les expérimentations conduites par Moss et Pruder (1991) ; Moss *et al.*, (1992) ; Moss (1995) ont été recommandées et affinées par de nombreux auteurs. Ils confirment cette capacité de dopper la croissance d'une eau de rejet vs. eau claire. Ils

démontrent que la fraction 0,5-5 µm de l'eau de rejet produit un gain de 60 % par rapport à celle de l'eau claire. Cette dimension exclue définitivement l'implication des microfines d'aliment ou d'aggrégats colonisés par des bactéries. Ils concluent que l'eau de rejet renfermerait des enzymes libres qui permettent la décomposition des nutriments non digestibles normalement par la crevette et/ou des vitamines et/ou des éléments traces.

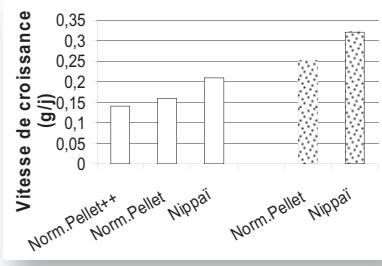


Figure 63 – Effet de l'origine de l'eau d'alimentation et de la qualité de l'aliment sur la croissance de *L. vannamei* à la densité de 40/m<sup>2</sup>. (à gauche 3 traitements eau claire, à droite 2 séries eau rejet).

## 4.8. Nutrition et facteurs abiotiques

Depuis les débuts de la crevetticulture, il a été supposé que les besoins nutritionnels devaient varier en fonction des facteurs abiotiques tels que la salinité, la température, l'oxygène dissous, etc. du fait que ces paramètres seuls ou couplés modifient les exigences énergétiques de l'animal. Mais, les travaux sur ces questions ne sont pas si nombreux (Cuzon *et al.*, 2004).

### 4.8.1. Salinité

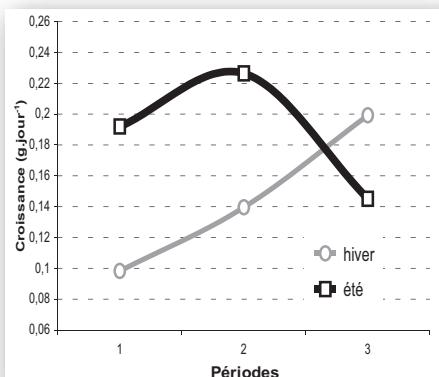
Le cycle naturel de vie des crevettes pénéides oscille entre le milieu marin et estuarien. De fait, il n'est pas étonnant que ce paramètre ait une influence sur la survie et la croissance variable suivant l'âge des animaux. Le point isosmotique (équilibre de salinité entre le milieu extérieur et l'hémolymphe) a souvent été mis en avant pour refléter la mesure de salinité qui correspondrait aux conditions optimales d'élevage. Parallèlement, il a été rapporté par plusieurs auteurs que cette valeur est quasiment identique quelque soit l'espèce de pénéides. De là, Brito *et al.*, (2001) suggèrent qu'il n'y aurait pas de lien entre le point isosmotique et le taux de croissance car la salinité optimale pour la croissance diffère selon l'espèce.

Shiau *et al.*, (1991) ont déterminé que les besoins en protéines de *P. monodon* sont moins importants (= 40 %) lorsque cette espèce est élevée à la salinité de 40 ‰ au lieu de 16 ‰ (= 44 %). L'animal n'a pas la même utilisation de la protéine comme source d'énergie à différentes salinités. La digestibilité des protéines par *P. monodon* est plus faible à 32 ‰ qu'à 16 ‰ (Shiau *et al.*, 1992). A faible salinité la crevette pénéide aurait tendance à privilégier les protéines au détriment des lipides comme source d'énergie (Lei *et al.*, 1989).

En saison sèche les élevages de *L. vannamei* présentent des indices de conversion identiques quelque soit le taux de protéines de l'aliment (22 % ou 35 %) alors qu'en saison des pluies (dessalure), le granulé le moins protéiné produit les indices les plus forts (Teichert-Coddington et Rodriguez, 1995). Robertson *et al.*, (1993b) rapportent qu'en conditions hypersalines, la croissance de *L. vannamei* est proportionnelle aux taux de protéines de l'aliment (45 % > 35 % > 25 %).

### 4.8.2. Température

La température influence le statut physiologique de la crevette. Elle a un effet majeur sur le métabolisme car elle contrôle l'activité enzymatique, la consommation de l'aliment et le taux de croissance. L'optimum de température varie en fonction de l'âge des animaux (Wyban *et al.*, 1995). Le taux de nutrition et le comportement alimentaire de *L. styloirostris* dans les bassins d'élevages de Nouvelle-Calédonie varient en fonction des températures qui oscillent entre 17 et 35 °C suivant les saisons



(Della Patrona *et al.*, 2004b) (figure 64). Cette relation s'explique par les variations de demande énergétique contrôlées par ce paramètre. En outre, la consommation en oxygène qui augmente proportionnellement avec la température induit une demande énergétique subséquente accrue (Villarreal *et al.*, 1994).

Figure 64 - Taux de croissance de *L. stylirostris* ensemencée en hiver et en été aux différentes périodes d'élevage.

(Sources : Comparaison de deux séries de 8 élevages opérés à la même densité de 20 Pl/m<sup>2</sup> démarrant pour la première en pleine saison fraîche (juillet) et finissant en saison chaude et pour la deuxième en pleine saison chaude (février) et se terminant en saison fraîche).

	Démarrage saison fraîche		Démarrage saison chaude	
	T°C matin	T°C soir	T°C matin	T°C soir
période 1 (0 - 70 jours)	21,11 ( $\pm 0,098$ )	23,20 ( $\pm 0,127$ )	26,45 ( $\pm 0,084$ )	28,69 ( $\pm 0,102$ )
période 2 (71 - 98 jours)	23,35 ( $\pm 0,096$ )	26,04 ( $\pm 0,140$ )	23,95 ( $\pm 0,150$ )	25,59 ( $\pm 0,182$ )
période 3 (99 - 150 jours)	25,09 ( $\pm 0,106$ )	27,93 ( $\pm 0,117$ )	20,95 ( $\pm 0,127$ )	22,78 ( $\pm 0,132$ )

### 4.8.3. Oxygène dissous

Les teneurs basses en oxygène dissous limitent la consommation du granulé, sa digestibilité et la croissance de la crevette (Seidman et Lawrence, 1986). Elles n'interviennent pas directement sur ces paramètres mais via le métabolisme respiratoire (Rosas *et al.*, 1998).

## 4.9. Importance de la production naturelle

Selon Tacon (1993), il y a cinq facteurs déterminants d'importance équivalente qui contribuent à la performance d'un granulé en aquaculture :

- la formulation et la composition ;
- la fabrication et les caractéristiques physiques ;
- la manutention et le stockage ;
- la méthode de distribution et le taux de nutrition ;
- et enfin, l'environnement aquatique et la disponibilité en production naturelle (PN).

### 4.9.1. Aspects quantitatifs

Tableau 50 – Importance relative de la production naturelle dans l'alimentation des pénéides d'élevage.

Espèces	Importance de la production naturelle dans l'alimentation (%)	Auteurs
<i>Penaeus monodon</i>	>50	Focken <i>et al.</i> , (1998)
<i>Metapenaeus macleayi</i>	42	Maguire et Bell (1981)
<i>Marsupenaeus japonicus</i>	43	Cam <i>et al.</i> , (1991)
<i>Marsupenaeus japonicus</i>	37 - 43	Reymond et Lagardère (1990)
<i>Litopenaeus vannamei</i>	>50	Leber <i>et al.</i> , (1988)
<i>Litopenaeus vannamei</i>	53 - 77	Anderson <i>et al.</i> , (1987)
<i>Penaeus subtilis</i>	84	Nunes <i>et al.</i> , (1997)

La part des proies naturelles dans l'alimentation des pénéides a été mise en avant par de très nombreux auteurs (Tableau 50). Quantitativement, elle représente plus de 50 % d'Elevage de la crevette *Litopenaeus stylirostris* en Nouvelle-Calédonie

Cependant, elle continue d'être largement sous-estimée par les provendiers et les aquaculteurs (Jory, 1995).

Contrairement à ce qui est supposé, la production naturelle n'intervient pas seulement dans les élevages de types extensifs, elle joue un rôle important également dans les conditions intensives, à densités supérieures à  $30/\text{m}^2$  (Primavera, 1993 ; Garcia *et al.*, 1989). Martinez-Cordova *et al.*, (1998) ont montré que la production naturelle stimulée par une fertilisation adéquate est capable de compenser une réduction du taux de nutrition de 3,0 à 1,5 % dans des élevages de *L. vannamei* à la densité de  $30/\text{m}^2$ .

Martinez-Cordova *et al.*, (2003) ont comparé les performances des espèces *L. vannamei* et *L. stylirostris* à  $17/\text{m}^2$  en microcosmes en adaptant le taux de protéines du granulé à la biomasse de la production naturelle présente suivant trois traitements :

- taux de protéines faible (LP) (granulé 25 % en protéines brutes PB) ;
- taux de protéines fort (HP) (40 % PB) ;
- taux de protéines variables (VP) soit 25 %, 35 % et 40 % suivant la quantité de production naturelle (zooplancton et méiofaune) soit PN  $< 20$  ;  $20 < \text{PN} < 40$  ;  $\text{PN} > 40 \text{ g/m}^3$ .

Ils confirment l'importance du taux de protéines dans la croissance de *L. stylirostris* : HP ( $15,45 \text{ g} \pm 0,62$ )  $>$  VP ( $14,15 \text{ g} \pm 0,66$ )  $>$  LP ( $12,94 \pm 0,60$ ). Toutefois, les indices de conversion obtenus VP (1,69)  $>$  LP (1,72)  $>$  HP (1,86) (à la lumière de la difficulté éprouvée par les auteurs à développer une PN abondante dans des bacs expérimentaux) confirment l'importance quantitative des proies naturelles dans la croissance de l'espèce calédonienne.

Le rôle de la faune benthique dans la croissance de *L. stylirostris* en élevage semi-intensif a souvent été négligé du fait de sa forte capacité de prédation sur les proies naturelles (record de 152 copépodes de  $1-5 \mu\text{g}/\text{contenu stomacal}$  d'une crevette de 18 g (Della Patrona, Brun et Capo, com. pers.). Les proies naturelles seraient épuisées dès le début d'élevage (Rubright *et al.*, 1981) et la densité de  $5/\text{m}^2$  serait la limite pour un élevage sans alimentation chez *L. stylirostris* (Hernandez-Llamas *et al.*, 1993).

De fait, *L. stylirostris* exerce une très forte pression sur la faune benthique qui diminue de 85% au cours du premier mois. Mais, le cheptel ne l'épuise pas totalement grâce au rapide *turn-over* de la méiofaune. Les crevettes écrètent les blooms des assemblages méiofauniques (copépodes, nématodes, foraminifères) et une biomasse significative représentant 10 à 30% de celle du granulé (en Carbone) se maintient jusqu'à la fin de l'élevage (Della Patrona et Herblard, non publié) (figure 65).

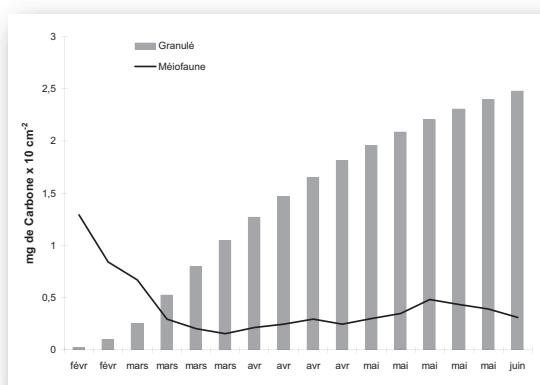


Figure 65 - Evolution des quantités de granulé distribué et de la méiofaune dans un bassin d'élevage de *L. stylirostris* à  $20/\text{m}^2$  de saison chaude.

Elevage de la crevette *Litopenaeus stylirostris* en Nouvelle-Calédonie

(Source : Della Patrona et Herblant, non publié).

## 4.9.2. Aspects qualitatifs

### Composition biochimique des proies naturelles

#### Macronutriments

La comparaison des macronutriments contenus dans les proies naturelles de *Penaeus esculentus* dans le milieu naturel (Dall *et al.*, 1991) ou dans les bassins aquacoles (Keys, 2003) et d'un aliment commercial révèle la richesse de l'alimentation naturelle (Tableau 51).

Tableau 51 – Composition biochimique des proies naturelles et de l'aliment commercial.

	Composition biochimique des composants (% poids sec sans cendres)		
	Protéines (%)	Lipides (%)	Carbohydrates (%)
proies milieu naturel	67 - 83	10 - 21	6 - 22
proies bassins	66 - 84	8 - 13	8 - 21
aliment commercial	32 - 39	7 - 8	20 - 30

#### Micronutriments

Les minéraux et acides aminés essentiels sont présents en abondance dans la production naturelle qui se développe dans les élevages hyperintensifs de *L. vannamei* (Tacon *et al.*, 2002) (Tableau 52) ou dans les proies du milieu naturel de *P. esculentus* (Dall *et al.*, 1991).

Tableau 52 – Composition de la production naturelle d'un bassin hyper intensif (Tacon *et al.*, 2002).

Minéraux		Acides aminés	
Nutriments	Moyenne	Nutriments (g/kg-1)	Moyenne
phosphore P (g/kg <sup>-1</sup> )	13,5	Acide aspartique	31,1
potassium K (g/kg <sup>-1</sup> )	6,4	Sérine	13,2
calcium Ca (g/kg <sup>-1</sup> )	17	Acide glutamique	33,0
magnésium (g/kg <sup>-1</sup> )	2,6	Proline	12,5
sodium Na (g/kg <sup>-1</sup> )	27,5	Glycine	17,2
manganèse (mg/kg <sup>-1</sup> )	28,5	Alanine	18,5
fer Fe (mg/kg <sup>-1</sup> )	320	Taurine	0,35
cuivre Cu (mg/kg <sup>-1</sup> )	22,8	Cystine	4
zinc Zn (mg/kg <sup>-1</sup> )	338	Tyrosine	10
bore B (mg/kg <sup>-1</sup> )	27,3	<u>Isoleucine</u>	12,4
		<u>Leucine</u>	18,7
		<u>Méthionine</u>	4,9
		<u>Phénylalanine</u>	14,8
		<u>Histidine</u>	4,4
		<u>Thréonine</u>	14,7
		<u>Lysine</u>	9,3
		<u>Valine</u>	17,3
		<u>Arginine</u>	15,4
		<u>Tryptophane</u>	2

Les acides aminés essentiels sont soulignés

#### Lipides essentiels

Les stérols (3 % du poids sec sans cendres) et les phospholipides (22 - 80 % des lipides) sont abondants dans les proies naturelles (Dall *et al.*, 1991).

Parmi les acides gras, les acides gras polyinsaturés (PUFA) sont bien représentés avec 41,1 %, contre 20,0 % pour les AG monoinsaturés et 38,9 % pour les AG saturés (Dall *et al.*, 1991). Les cinq acides gras essentiels (HUFA) sont tous présents dans les proies naturelles et notamment AA, EPA et DHA qui sont trouvés en grandes quantités (Tableau 53).

Tableau 53 – Composition de la production naturelle en acides gras polyinsaturés (recalculés d'après Dall *et al.*, 1991).

Acides gras polyinsaturés (PUFA)	Importance en % total PUFA
C18 : 2ω6 (Acide linoléique LOA)	6,1
C18 : 3ω3 (Acide linoléique LNA)	3,5
C20 : 2ω6	4,4
C20 : 3ω3	0,4
C20 : 4ω6 (Acide arachidonique AA)	28,2
C20 : 5ω3 (Acide eicosapentaénoïque EPA)	23,7
C22 : 3ω3	13,4
C22 : 6ω3 (Acide decosahexaénoïque DHA)	20,2

## Bilan

On constate que la production naturelle est capable d'apporter les vitamines (Conklin, 1997), les minéraux (Tacon *et al.*, 2002), les acides aminés (Tacon, 2000a) et les acides gras essentiels (Dall *et al.*, 1991) qui sont indispensables à l'alimentation des crevettes pénicides. Même si sa composition et son importance varient au cours de l'élevage et en fonction des saisons, elle joue un rôle prépondérant comme fond de garantie de la santé-nutrition de la crevette. Il faut donc que l'éleveur fasse évoluer sa vision d'une gestion de monoculture de la crevette en celle d'une polyculture où l'on prend soin également des conditions de vie de la production naturelle et notamment de la méiofaune qui occupe le même espace-vie que *L. stylirostris*.

## 5. Mortalités et survies saisonnières

### 5.1. Principales maladies pouvant affecter les élevages de crevettes dans le monde

#### 5.1.1. Infections virales

De très nombreuses maladies virales affectent les crevettes. Dans les élevages en monoculture et à haute densité de population, ces infections se propagent très rapidement et peuvent anéantir des élevages complets. Un des principaux vecteurs de transfert de ces virus est l'eau elle-même et toute épidémie virale présente ainsi un danger de décimer également les crevettes sauvages.

La maladie de la tête jaune : *Yellow head disease* affecte *P. monodon* dans toute l'Asie du sud-est. Elle a été signalée pour la première fois en 1990 en Thaïlande. Cette maladie est hautement contagieuse et entraîne une mortalité de masse en trois à quatre jours. Le céphalothorax des crevettes infectées devient jaune après une période inhabituelle de nourrissage intense se terminant brusquement, et les crevettes moribondes s'agglutinent alors près de la surface du bassin avant de mourir.

Le syndrome des taches blanches : *White spot disease* est provoqué par une famille de virus apparentée. Signalée d'abord en 1993 sur les élevages japonais de *M. japonicus*, elle s'est répandue dans toute l'Asie puis en Amérique. Elle touche de nombreux hôtes et est hautement létale, induisant des taux de mortalité de 100% en quelques jours. Les symptômes sont notamment des taches blanches sur la carapace et un hépatopancréas rouge. Les crevettes deviennent léthargiques avant de mourir.

Le syndrome du Taura : *Taura syndrome disease* a été signalé la première fois dans des élevages de crevettes du fleuve Taura, en Equateur. L'hôte du virus provoquant cette maladie est l'espèce *L. vannamei*. La maladie se répand très rapidement, principalement par le transport de géniteurs et d'animaux infectés. Confinée à l'origine aux élevages d'Amérique centrale et du sud, elle s'est aussi propagée en Asie avec l'introduction de cette espèce dans cette région. Les oiseaux sont aussi soupçonnés d'être un vecteur de propagation entre les élevages d'une région

donnée.

La nécrose hypodermique et hématopoïétique infectieuse *IHHN* est une maladie qui provoque une mortalité de masse chez *L. stylostriatus* (jusqu'à 90%) et de graves déformations chez *L. vannamei*. Elle touche les crevettes d'élevage ou sauvages dans le Pacifique mais pas les crevettes sauvages des côtes atlantiques américaines.

En place depuis trente ans, la filière crevette calédonienne reste « miraculeusement » indemne des principales pathologies virales affectant la quasi-totalité des grandes zones de production (Asie, Amérique latine) et notamment l'Australie très proche. De sorte que chaque acteur de la filière doit rester vigilant à son niveau.

Néanmoins, le virus *IHHN*, réputé particulièrement pathogène pour *L. stylostriatus* est enzootique en Nouvelle-Calédonie. La souche de crevette élevée localement est réputée résistante à ce virus, la résistance se traduisant par un portage asymptomatique (Weppe *et al.*, 1992).

## 5.1.2. Autres maladies

### Vibrioses

Il existe également de très nombreuses infections bactériennes létales pour les crevettes. La plus commune est la vibrioïse, causée par des bactéries *Vibrio spp.* Le taux de mortalité peut atteindre 70%. L'hépatopancréatite nécrosante (*NHP*), est une autre maladie bactérienne dont les symptômes sont un exosquelette mou et sale (source <http://www.oie.int>)

### Entérite hémocytaire

*L. stylostriatus* peut souffrir d'entérites hémocytaires provoquées par l'ingestion des tapis de cyanophycées notamment du genre *Oscillatoria spp.* (Lightner, 1988). Ces algues agissent comme des aiguilles microscopiques transperçant le tube digestif et provoquant son épaissement en lui donnant l'apparence d'une double chaussette couleur vert de gris. Ceci a pour conséquence un affaiblissement des crevettes qui deviennent plus sensibles à d'autres infections notamment à des vibrioïses.

### Maladie des points blancs

En mai 1997, des lésions de type *White spot* ont été observées sur des géniteurs de *L. stylostriatus* de Calédonie, faisant craindre une infection par le virus *WSSV* (*White Spot Syndrome Virus*) répertorié dans la catégorie n°1 des virus les plus dangereux (Lotz, 1997).

Selon Sahoo *et al.*, (2005), il existe trois possibilités de formation de *white spot* sur la carapace des crevettes :

- type I : associé au WSSV. Les animaux cessent de s'alimenter et viennent mourir en masse au pied des digues après 3 à 7 jours du début d'apparition des points blancs. Les animaux sont positifs au test viral ;
- type II : associé au pH. Les animaux infectés de taches blanches demeurent actifs et se nourrissent normalement. Il n'y a pas de mortalité. La cause présumée serait l'exposition prolongée à des pH très alcalins provoquant des dépôts de calcium sur l'épicuticule qui disparaissent à la mue ;
- type III : associé à des bactéries. Il s'agit de la maladie *BWSD* (*Bacterial White Spot Disease*). Les crevettes qui exhibent des points blancs présentent une activité et une alimentation normales sans mortalité au passage de la mue. Wang *et al.*, (2000a) ont montré que la cause pouvait provenir d'un usage excessif de probiotique (*Bacillus subtilis*).

Le phénomène affectant essentiellement les élevages géniteurs de Nouvelle-Calédonie appartiendrait au type III. Dénommé antérieurement *White spot disease like*,

il a été étudié et décrit par Goarant *et al.*, (2000) qui concluent que les lésions résultent d'un type de maladie bactérienne associée à une flore microbienne exacerbée sur l'épicuticule. Ces taches blanches disparaissent après la mue et ne provoquent aucune mortalité (Photo 24).



Photo 24 – Point blanc (X40) sur le céphalothorax d'un géniteur *L. stylirostris* (© C. Goarant).

Le *White Spot Baculo Virus (WSBV)* affectant des élevages proches géographiquement (Australie), il est vivement recommandé aux éleveurs d'être vigilants sur la présence de tels signes sur la carapace des animaux au moment des échantillonnages et/ou sur les moribondes recueillies au bord des digues.

## 5.2. Syndrome 93 et syndrome d'été

La production crevetticole calédonienne est cependant pénalisée par deux maladies à vibrios dénommées syndrome 93 et syndrome d'été. Le développement de la crevetticulture a été relativement rapide jusqu'en 1993, année au cours de laquelle le Syndrome 93 a fait son apparition. Les contraintes induites, principalement l'abandon des élevages de saison fraîche, ont entraîné une baisse de la production, malgré l'augmentation des surfaces exploitées. Il a fallu trois ans pour restaurer puis dépasser le niveau de production de l'année 1992 et pas moins de 6 années pour le rendement à l'hectare (figure 66).

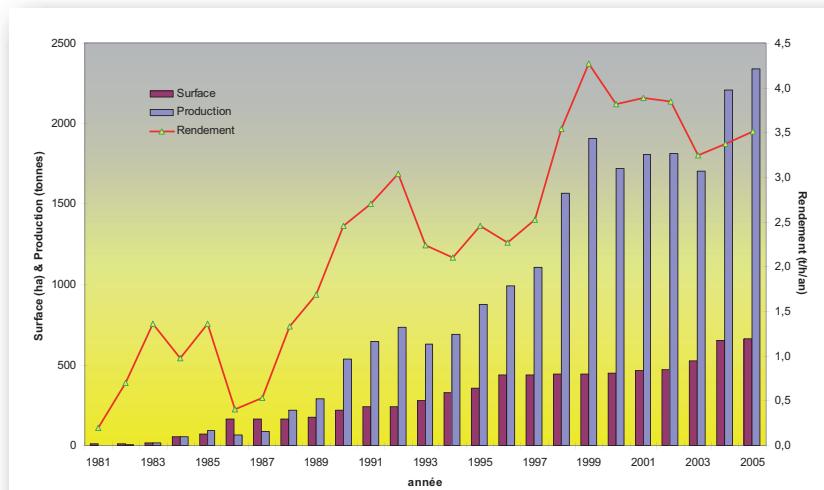


Figure 66 – Evolution des surfaces exploitées, des productions anuelles et des rendements de la crevetticulture en Nouvelle-Calédonie (source ISEE).

Mais c'est également en 1997-1998 qu'une nouvelle pathologie bactérienne, baptisée Syndrome d'été, a fait son apparition sur une ferme mettant en danger la survie

économique de l'entreprise. En 2003, la station aquacole la plus proche de celle-ci, qui commençait son activité, a été touchée dès son premier élevage entraînant la suspension d'activité au bout du troisième cycle. L'inquiétude a ensuite grandi en 2005 avec des mortalités récurrentes entraînant une baisse dramatique de production dans une troisième entreprise et à un degré moindre sur un quatrième site crevetticole. Cette maladie est à l'heure actuelle considérée comme une menace pour la filière, les risques d'extension de la maladie ne pouvant être exclus bien que non évalués.

### 5.2.1. Syndrome 93

Le syndrome 93 a été identifié officiellement en 1993 mais des fermes semblent avoir montré des manifestations de cette maladie bactérienne dès 1991 (Della Patrona, 2005). Cette mortalité affecte de façon synchrone, sous forme de flambées épizootiques, des fermes distantes de Calédonie. Elle fait suite à des chutes de températures de l'eau des bassins de plusieurs degrés en quelques jours (notamment en période automnale). Sa sévérité est variable selon les bassins d'une même ferme et elle ne semble pas affecter les élevages de géniteurs, menés à très faible densité. En moyenne, on peut estimer à 20-25% (35-40 vs. 60%) la perte de cheptel occasionnée par cette maladie dans un élevage. Les crevettes atteintes sont léthargiques, présentent une coloration anormale et ont une nage désorientée, qui les amène à s'échouer au bord des digues (Photo 25) ou à nager en surface où elles sont la proie des oiseaux.



Photo 25 – Episode de syndrome 93 sur une ferme. (© J. Herlin)

A l'examen les crevettes moribondes présentent une hémolymphé trouble et fluide, dont le temps de coagulation est fortement augmenté (Goarant *et al.*, 2004a). Des bactéries du genre *Vibrio* ont été isolées des hémolymphes des crevettes moribondes, notamment des souches appartenant à l'espèce *Vibrio penaeicida* (Costa *et al.*, 1998a). Le diagnostic correspond à une vibriose septicémique avec altération des noyaux de nombreux hémocytes, atteinte sévère de l'organe lymphoïde ( $\approx$  rate) et présence dans de nombreux tissus d'inclusions basophiles qui ressemblent à celles occasionnées par une maladie virale (Costa *et al.*, 1998b). Toutefois, aucun virus n'a jamais été détecté.

*Vibrio penaeicida* a été identifié pour la première fois au Japon au début des années 80 alors que la bactérie décimait des élevages de la crevette japonaise *Marsupenaeus japonicus*. Son pouvoir pathogène sur *L. stylirostris* a été démontré par Goarant *et al.*, (1998). Les post-larves de *L. stylirostris* ne sont pas sensibles à l'infection par cette bactérie. L'acquisition de la sensibilité coïncide avec le passage au stade juvénile caractérisé par une formule rostrale définitive. Un important suivi épidémiologique

réalisé sur plusieurs complexes aquacoles (filières ferme, écloserie, géniteurs) de Calédonie confirme que les animaux sont sains lors de l'ensemencement en bassins et que l'eau de pompage constitue la source de contamination. Il montre que le portage sain est extrêmement fréquent, soulignant l'importance des facteurs déclenchant et des conditions favorisant l'expression de la maladie (Goarant *et al.*, 2004a).

On observe une augmentation des concentrations du pathogène dans le milieu (eau et sédiment) et dans les crevettes au moment des pics de températures ou des chutes qui les suivent (de la Peña *et al.*, 1992). L'entrée du *Vibrio* dans l'organisme se ferait par la voie digestive (de la Peña *et al.*, 1995) et accessoirement à travers la carapace notamment via les plaies (de la Peña *et al.*, 1998).

Le traitement de *V. penaeicida* par aliment médicamenteux à l'aide d'oxytétracycline s'est avéré efficace dans les bassins d'élevage de *M. japonicus* au Japon (Takahashi *et al.*, 1985). Néanmoins, en Nouvelle-Calédonie, cette solution n'est pas envisageable car l'utilisation d'antibiotique est strictement interdite pendant la phase de grossissement.

### 5.2.2. Syndrome d'été

Une ferme de la baie de Saint-Vincent (Boulouparis) a vu apparaître depuis octobre 1997 des mortalités épizootiques puis chroniques ou récurrentes sur tous les élevages de saison chaude.

Lors de l'expression de ce syndrome, les premières crevettes mortes apparaissent chaque année après environ 50 jours d'élevage quels que soient les bassins, et les premiers pics de mortalités qui ont une influence directe sur la survie finale sont observés en moyenne après 2 mois d'élevage (Goxe, 2001). On observe une très faible variabilité inter-bassins de la durée séparant l'ensemencement et l'apparition de ce premier pic (Brock, 2000). Ensuite, les épisodes de mortalité ont une durée comprise entre 8 et 11 jours et se succèdent de manière cyclique.

Les survies moyennes finales pour les élevages affectés sont de l'ordre de 25% à 35% au lieu d'être supérieures à 60% dans des conditions normales.

Des souches pathogènes de la bactérie *Vibrio nigripulchritudo* ont été isolées depuis 1995 dans différentes fermes de Calédonie. Ces bactéries étaient associées à des épisodes de mortalité hivernale mais leur implication était considérée comme un épiphénomène (Goarant *et al.*, 1999). A l'opposé, les mortalités associées à ce *Vibrio* (Goarant, 2001) ont pris sur Sea-Farm un caractère épizootique mettant en péril la survie économique de l'exploitation.

La vitesse de croissance n'est pas affectée par la maladie et les crevettes pêchées sont de taille uniforme, et, contrairement à celles du Syndrome 93, sont en apparence robustes (Brock, 2000). L'état nutritionnel des animaux moribonds a été qualifié de satisfaisant (Lightner, 2000). Il est à noter que l'utilisation de post-larves issues de différentes écloseries ne semble pas influencer l'apparition et l'intensité de la pathologie.

Dans les mortalités impliquant des vibrioses à *V. nigripulchritudo*, il convient de distinguer d'une part les épisodes temporaires, à caractère opportuniste, et d'autre part la maladie installée durablement, à caractère récurrent et répétitif, le syndrome d'été. A l'opposé des cas de vibrioses opportunistes à *V. nigripulchritudo* rencontrés à plusieurs reprises pratiquement sur l'ensemble des fermes en Nouvelle-Calédonie, les cas des fermes affectées par le syndrome d'été est encore heureusement limité à un nombre restreint d'exploitations (figure 67).



Figure 67 – Répartition géographique de *Vibrio nigripulchritudo* en 2006 (J. Herlin, Ifremer).

Le syndrome d'été correspond à l'expression d'un même pathogène retrouvé sur l'ensemble des épisodes de mortalités sur plusieurs bassins et sur plusieurs années. Certaines souches de *V. nigripulchritudo* n'ont aucun pouvoir pathogène expérimental, d'autres un pouvoir pathogène moyen, d'autres très élevé. Sa répartition géographique dépasse celle de la maladie à laquelle il est associé et parmi les souches non associées à la maladie, certaines ont un pouvoir pathogène expérimental aussi élevé que les souches responsables du Syndrome d'été. Si certaines souches de *V. nigripulchritudo* à pouvoir pathogène très élevé ont été trouvées dans des sites où le syndrome ne s'est jamais déclaré, leur fréquence d'apparition et leur abondance dans les différents milieux sont plus élevées dans les bassins touchés de manière récurrente. Le portage du pathogène (= nombre de colonies par individu échantillonné) est corrélé aux mortalités, de même que la prévalence. Cette observation suggère que ces sites seraient fortement contaminés alors que les autres ne le seraient pas (encore ?). Le scénario le plus probable du processus d'enzootisation est que la répétition de pratiques zootechniques considérées aujourd'hui comme risquées (augmentation des densités sans mesures techniques compensatoires) auraient conduit à des conditions délétères pour les crevettes qui ont été fragilisées. Les crises répétitives (mais pas encore typiques du syndrome d'été) auraient progressivement sélectionné le *Vibrio* très pathogène qui a permis l'émergence de la maladie. A son tour, la maladie aurait causé la multiplication du nombre des *Vibrios* très virulents. La transmission de ces formes très pathogènes d'un élevage à l'élevage suivant aurait été facilitée par des conditions environnementales (zones d'accumulation des boues, sols insuffisamment ou pas travaillés lors d'assècs trop courts) permettant, élevage après élevage, l'enzootisation sur le site de la ferme berceau des souches les plus pathogènes. Une fois la maladie devenue enzootique, il est difficile de l'éradiquer, comme le montrent les nombreux essais réalisés depuis 10 ans sur le site touché. L'évolution spatiale de la maladie suggère aussi que ce sont principalement des causes micro-environnementales ou intra-fermes et s'inscrivant dans la durée, qui seraient responsables de l'extension du syndrome d'été. En conséquence, ce qui s'est passé sur le site de la ferme Sea-Farm

peut se reproduire dans d'autres fermes si des précautions particulières ne sont pas prises.

### 5.2.3. Déclenchement des syndromes

Le déclenchement du syndrome 93 et du syndrome d'été est le résultat d'une rupture d'équilibre entre la crevette et les pathogènes, rupture provoquée par l'action simultanée ou décalée de plusieurs composantes environnementales sur ces deux compartiments. Mais selon la maladie, elles n'agissent pas de la même manière.

Pour le syndrome 93, la température est le facteur central. Elle agit directement sur la crevette et permet l'expression de la virulence de *V. penaeicida*. Les autres facteurs environnementaux (instabilité de la colonne d'eau, eutrophisation, fonds de bassins inappropriés), moins exacerbés en hiver qu'en été, ne joueraient qu'un rôle aggravant. La température est une variable macro-environnementale qui varie à l'échelle de la Calédonie et sur laquelle l'aquaculteur a peu de prise. En conséquence si l'on veut maîtriser les effets du syndrome 93 il faudra mettre en œuvre en priorité toutes les actions permettant d'assurer le confort physiologique des animaux avant et pendant des fluctuations thermiques en limite inférieure de préférendum thermique. Pour le syndrome d'été au contraire, la température n'aurait qu'un rôle secondaire par rapport aux facteurs qui vont influer sur la richesse du milieu. Elle accélère tous les processus biologiques mais cet effet ne devient dangereux que si le milieu est excessivement chargé en matières organiques réactives dont les produits de dégradation vont à la fois exacerber la productivité du bassin et agir sur le bien-être de la crevette. L'équilibre entre la crevette et le pathogène est alors rompu et la maladie se déclare (Goarant *et al.*, 2004b). Cet équilibre dépend aussi des souches de *Vibrio* présentes dans le système, dont la pathogénicité est très variable selon les souches chez *V. nigripulchritudo*, alors qu'elle semble constante chez *V. penaeicida*.

Là où cet équilibre est rompu depuis plusieurs années par l'enzootisation de la maladie, le retour à la situation antérieure risque d'être long (et cher !). Mais dans les fermes encore non atteintes, la réduction ou l'élimination des zones où le sédiment est doublement suspecté du risque écologique et du risque pathologique devrait diminuer la probabilité d'apparition, et donc d'enzootisation, du syndrome d'été.

Il existerait une certaine réversibilité quand la cause d'un stress cesse si les animaux n'en subissent pas d'autres à court terme. Mais il existe probablement des seuils au-delà desquels toute réversibilité est impossible. D'où la nécessité, d'agir préventivement sur les facteurs dont l'aquaculteur a la maîtrise pour rester, quoi qu'il arrive, en deçà de ces seuils.

## 5.3. Saisonnalité des survies et notion de différentiel de survie

### Survies saisonnières

L'analyse des résultats de la filière crevetticole calédonienne sur 17 ans (figure 68) montre que indépendamment de toute maladie les survies finales obtenues en bassins dépendent du mois d'ensemencement.

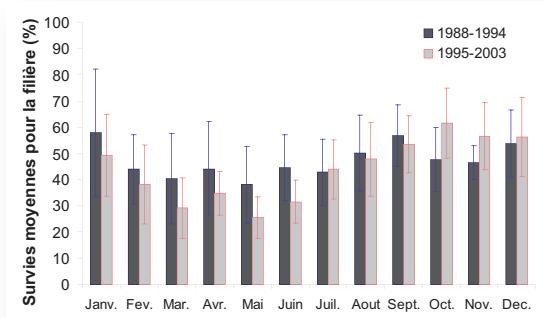


Figure 68 - Caractère saisonnier des survies en bassins.

Cette saisonnalité-dépendance est en fait la résultante des interactions extrêmement complexes de nombreux paramètres avant et après introduction des animaux.

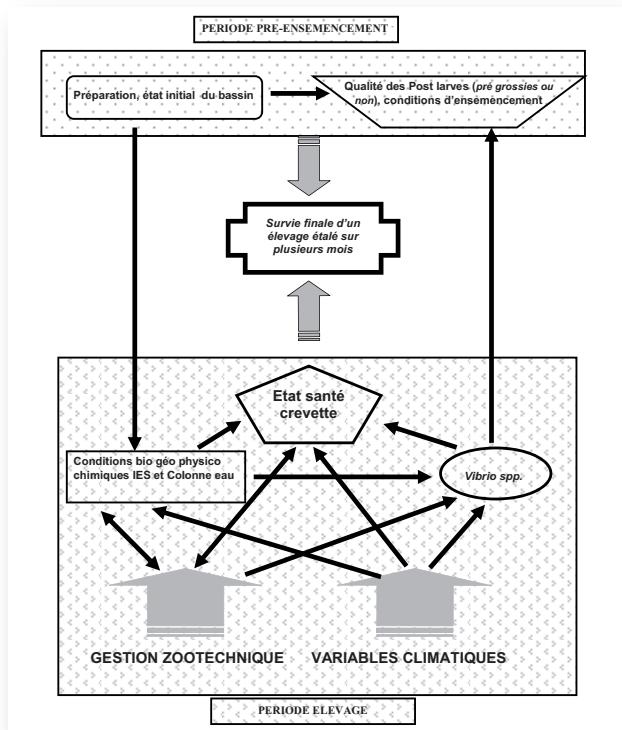


Figure 69 - Schéma conceptuel des différents paramètres influençant la survie finale d'un élevage semi-intensif durant plusieurs mois.

*La survie finale d'un élevage dépend principalement de la qualité intrinsèque de la post-larve, des pertes remarquables (hors mue) à certaines phases critiques telles que l'ensemblment et les pêches ainsi que des mortalités multifactorielles (hors mue) intervenant tout au long du cycle. Durant l'élevage, l'état de santé de la crevette et/ou sa capacité de résister aux maladies dépend de l'équilibre entre l'hôte, les pathogènes et l'environnement (incluant les pratiques zootechniques).*

Malgré cette complexité (figure 69), les survies obtenues sur les périodes 1987 - 1994 (pré-syndrome 93) et 1995 - 2003 montrent des profils saisonniers similaires pour l'ensemble de la filière. Les survies les plus faibles correspondent aux mois d'ensemblment de mars à juin. Les plus fortes coïncident avec les mois de septembre à janvier. Il apparaît que les survies des mois « critiques » de mars à juin ont chuté à des niveaux encore plus bas après 1993, justifiant le choix des éleveurs de ne plus ensemencer à ces périodes (figure 70).

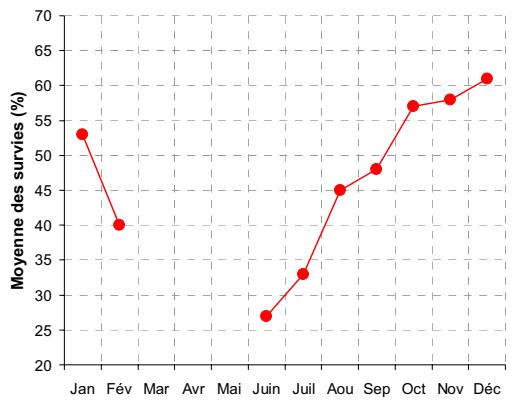


Figure 70 – Moyennes des survies finales en relation avec le mois d'ensemencement sur 9 campagnes consécutives d'une ferme intensive (207 élevages-base Stylog) qui n'ensemence plus aux mois critiques mars, avril et mai.

## Notion de « différentiel de survie »

Compte tenu du caractère saisonnier du paramètre survie, l'analyse objective des résultats d'une ferme n'a de sens que si elle est examinée pour chaque élevage et rapportée à une moyenne mensuelle. Une ferme qui ensemence 5 bassins en octobre (survie 57 %) et 5 bassins en décembre (survie 62 %) l'année n, puis 4 bassins en février (survie 40 %), 2 en juin (survie 27 %) et 4 en septembre (survie 47 %) l'année n+1, connaîtra une baisse de rendement très significative mais normale. Analysée sur la seule base du chiffre de production de ces dix bassins, l'origine de cette chute pourrait être interprétée par l'exploitant comme une sévérité exacerbée d'un syndrome ou d'une autre cause d'où la notion de différentiel de survie. Il mesure l'écart entre la survie mensuelle moyenne de la filière sur une durée représentative et celui de la ferme en question. Ainsi, à titre d'exemple, une survie de 51% prise isolément n'a aucun sens. Elle peut traduire une performance exceptionnelle pour un ensemencement de juin (moyenne 27 % ; différentiel : + 24 %) mais elle peut aussi signifier un résultat médiocre pour un ensemencement de décembre (moyenne 62 % ; différentiel : - 11 %).

## Capacité de production

Par ailleurs la comparaison des performances d'élevages, même pour une saison donnée, sur l'unique critère de survie ne constitue pas une très bonne référence sauf si elle est faite pour des densités d'ensemencement voisines.

En effet, il existe une assez bonne corrélation entre la survie finale et la densité initiale pour un mois donné et pour un système d'exploitation donné (non aéré, aération de secours, aéré). Globalement, plus la densité initiale est forte moins bonne sera la survie finale (figure 71).

De sorte que 30 % de survie finale obtenue pour un élevage ensemencé à  $25/m^2$  l'année n ( $25/m^2 * 30\% \text{ survie} * 20 \text{ g poids final} = 150 \text{ g}/m^2$ ) suivi d'un 44 % de survie pour une densité initiale de  $17/m^2$  l'année n+1 ( $17/m^2 * 44\% \text{ survie} * 20 \text{ g poids final} = 150 \text{ g}/m^2$ ) ne doit pas être perçu comme une amélioration significative de résultat  $44 \% >>> 30 \%$  (en relation avec les conditions environnementales ou la sévérité du syndrome par exemple). Pour un calibre pêché similaire de 20 g par exemple, la production est identique soit  $150 \text{ g}/m^2$  ou 15 tonnes sur un bassin de 10 hectares. Mais les bilans comptables sont différents notamment en raison du surcoût des post-larves (2 500 000 pl vs 1 700 000 pl à 1,40 Fcfp soit - 1 120 000 Fcfp sur un bassin de 10 ha) et d'un indice de conversion probablement plus fort.

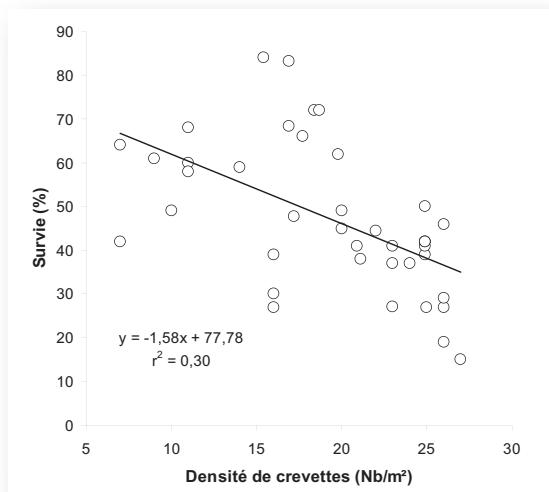


Figure 71 – Relation entre la densité d'ensemencement et la survie finale pour des élevages démarrés en février (données GFA, 4 fermes 1996 - 2004).

Pour un mois d'ensemencement donné, l'agrosystème bassin présente une capacité de production optimale. Ainsi dans l'exemple ci-dessous, pour des élevages démarrant en février, la charge plafond avoisine les 225 g/m<sup>2</sup> et 18/m<sup>2</sup> semble être la densité la plus pertinente. Il appartient à chaque ferme d'établir l'aptitude culturelle de ses bassins en fonction du mois d'ensemencement et de choisir la densité initiale appropriée (figure 72).

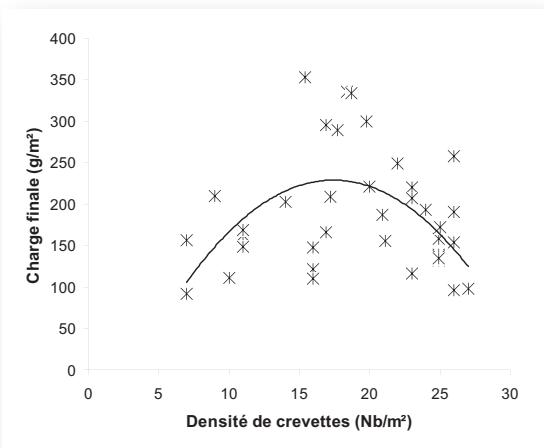


Figure 72 - Relation entre la densité d'ensemencement et la capacité de production pour des élevages démarrés en février (données GFA, 4 fermes 1996 - 2004).

## 6. Compétiteurs et prédateurs

### 6.1. Recensement des principaux organismes

Un certain nombre d'organismes ont été répertoriés (Tableau 54) au cours de ces 25 dernières années comme pouvant interférer négativement à des degrés divers sur le résultat d'élevage de la crevette *L. stylirostris* en bassin de terre en Nouvelle-Calédonie.

Tableau 54 - Liste des principaux organismes répertoriés comme pouvant interférer sur le résultat d'élevage.

Prédateurs	Compétiteurs	Toxicité	Nuisibles
Poissons	Poissons	Méduses pélagiques	Tarets
Oiseaux	Crabes	et benthiques	Isopodes
Homme	Opistobranches	Anémones	Crabes

## 6.2. Toxicité

### Méduses

#### Colonne d'eau

A certaines époques de l'année, particulièrement en saison chaude, les bassins peuvent être envahis par des coelenterés : méduses vraies (Photo 26) et/ou siphonophores. Ces animaux, fréquemment identifiés dans le zooplancton, passent à l'état de larves à travers les filtres d'entrée (vide de maille  $\approx 700 \mu\text{m}$ ).

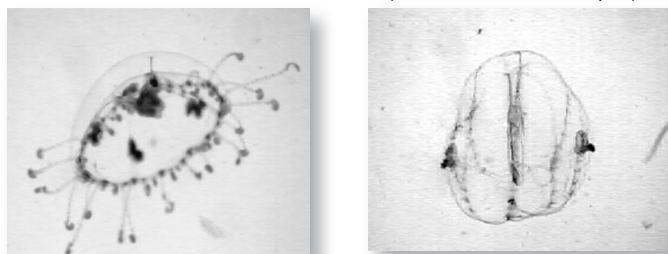


Photo 26 – Coelenterés – Hydroméduse : Famille Campanulariidae (à gauche) et Cténophore cydippide (Pleurobrachia) (© J. Herlin)

Bien que les quelques essais de stabulation de ces organismes avec des post-larves de *L. stylirostris* réalisés à la SASV ou *in situ* sur les fermes n'aient jamais été concluants notamment avec les siphonophores, les crevetticulteurs redoutent leur apparition. L'importance des mortalités sur les exploitations touchées par les hydroméduses (familles Campanulariidae, Calyptidae, Hydractiniidae, Olindidae) sont contradictoires : 43, 46 et 46% de survies (valeurs légèrement inférieures aux moyennes saisonnières  $\approx 50 - 52\%$ ) pour des bassins ensemencés en aout 2003 et 60% (résultat conforme à la saison) pour un bassin ensemencé en novembre 2002 (Herlin, 2003). Leur prolifération, selon la profession, est souvent le résultat d'une mise en eau trop longue (retard d'arrivée de post-larves par exemple) et/ou le maintien trop tardif d'une maille trop fine sur le filtre de sortie qui empêche leur élimination par le renouvellement.

#### Fond

Deux années consécutives, 1993 et 1994, une ferme de Calédonie (Rapport d'activité SASV, GIE RA, 1993) a connu une prolifération dans ses bassins de méduses benthiques de diamètre compris entre 3 et 5 cm (appartenance supposée à la famille des Cassiopeidae). Des survies médiocres comprises entre 1 et 20% ont été enregistrées par cette entreprise sur les bassins incriminés (Rapport d'activité SASV, GIE RA, 1994). Il faut signaler toutefois que cette ferme obtenait des survies aléatoires depuis sa création en 1986 hors présence de méduses. La difficile éradication de ces invertébrés s'est faite progressivement en les piquant une par une avec la pointe d'une flèche de fusil marin (bassin de plusieurs hectares, canal de plusieurs centaines de mètres de longueur). En 2004, une seconde entreprise a été envahie par des méduses benthiques de couleur sombre atteignant 15 cm de diamètre. Elles ont été identifiées comme des spécimens de méduses acalèphes ou scyphoméduses séméostomes (Photo 27) (Herlin, 2004). Une survie catastrophique de 1 à 2% a été enregistrée sur un des deux bassins où ces coelenterés pullulaient. Cette prolifération aurait été favorisée par une mise en eau anormalement longue du bassin (plusieurs semaines) en raison d'un report de post-larves. Néanmoins, dans le

second bassin alimenté par le même canal où un élevage synchrone du premier a eu lieu, il n'y a pas eu de développement de méduses et la survie finale a été bonne ( $\approx 60\%$ ).

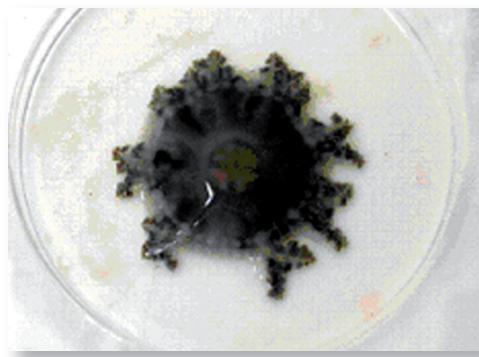


Photo 27 - Scyphoméduse séméostome (© J. Herlin)

## Anémones

En 1993, la SASV a subi une première infestation par des anémones identifiées comme appartenant au genre *Aiptasia* (Photo 28), animaux ne dépassant pas quelques millimètres de diamètre. Sur les quatre bassins mitoyens alimentés par le même drain, les trois bassins dans lesquels se sont développées ces anémones ont présenté des survies de 0,24 et 26% tandis que le quatrième a produit une survie de 72% (Fiche biotechnique 93-09 SASV GIE RA). En 2002, la SASV a connu un second épisode d'invasion par *Aiptasia* (plusieurs individus/m<sup>2</sup>). Des essais de toxicité ont été réalisés en aquarium en maintenant des crevettes au contact des anémones (Herlin, 2002). Ils ont confirmé que des spécimens de *L. stylostris* de taille aussi importante que 18 g étaient hypersensibles à la toxine des actinies.



Photo 28 – *Aiptasia* anémone toxique identifiée à la SASV en 2002

## Moyen de lutte

En 1993, du sulfate de cuivre en poudre a été épandu (dose 0,5 - 1,5 g/m<sup>2</sup>) sur le fond des bassins et a permis l'éradication des anémones sans toutefois connaître son interaction sur les crevettes. En 2002, des tests d'empoisonnement sur *Aiptasia* ont été réalisés en aquarium, en présence de crevettes, avec différentes teneurs de sulfate de cuivre CuSO<sub>4</sub> (0,2 - 1 g/m<sup>3</sup>). Cette gamme de poison a été sans effet sur *L. stylostris*. Les actinies ont été sensibles à toutes les concentrations même aux plus faibles. Mais leur éradication n'a été totale et irréversible qu'après application d'une dose de

$\text{CuSO}_4$  de 0,7 g/m<sup>3</sup> sans changement d'eau pendant 24 heures (Herlin, 2002).

L'emploi de sulfate de cuivre est toutefois une entreprise délicate. Hirono *et al.*, (1991) rapportent que des concentrations en sulfate de cuivre supérieures à 0,6 ppm sont susceptibles de stresser les crevettes *L. vannamei*. Les ions Cu<sup>2+</sup> libérés par la dégradation de CuSO<sub>4</sub> présentent une forte affinité pour les ions carbonates et forment un précipité insoluble. L'accumulation de ce composé dans les sédiments peut s'avérer毒ique pour les crevettes et/ou la méiofaune. Il est donc recommandé d'utiliser des produits type *Copper control®* où le cuivre est présent sous une forme chélatée ce qui résout le phénomène de précipitation. De plus, le liquide s'emploie à des doses plus faibles (Clifford, 1992). Ce produit est toutefois d'un coût beaucoup plus élevé et donc d'emploi rédhibitoire sur des bassins de plusieurs hectares.

## Controverse

Dans des cas d'invasion par des espèces supposées nocives rapportés par les éleveurs, on est en droit de se demander si les survies finales enregistrées sont liées véritablement à un empoisonnement par les animaux incriminés (anémones ou méduses) ou aux conditions d'élevages (forte biomasse de crevettes). Les conditions expérimentales de testage de toxicité sont souvent exacerbées. Les crevettes et les invertébrés toxiques sont maintenus à des concentrations supérieures respectivement d'un facteur 3 ou 4 et d'un facteur 10 ou 20 de celles du bassin d'élevage.

Dans le cas des invasions de méduses ou d'anémones, des bassins mitoyens alimentés par le même canal ont donné des survies médiocres avec prolifération de ces animaux et des survies correctes en absence de ceux-ci, ce qui laisse à penser à un phénomène de cause à effet. On peut également supposer que les mortalités de crevettes sont intervenues avant pour des raisons diverses et que les très faibles densités résultantes de crevettes aient facilité par la suite le développement des méduses et/ou des anémones.

En effet, les anémones du genre *Aiptasia* appelées *glass anemones* se développent très communément sur les parois des aquariums et sont considérées comme nuisibles en aquariophilie. Mais elles sont très facilement éliminées en introduisant des crevettes peppermint *Lysmata wurdemanni* qui les dévorent extrêmement rapidement. On peut supposer que le même sort soit réservé à la moindre anémone et/ou méduse benthique juvénile (quelques millimètres) en présence de crevettes de l'espèce *L. stylostriatus* extrêmement voraces à des densités communes de 20-40/m<sup>2</sup> dans un bassin de terre.

## 6.3. Préation

### 6.3.1. Poissons et autres

Le meilleur moyen de contrôler la préation (et la compétition) par les poissons est la prévention. Si un soin particulier est mis à leur élimination au cours de l'assèchement (séchage des flaques et évitement des remontées des marées hautes par le moine de sortie) et au moment des opérations de changements de filtres d'entrée en cours d'élevage, les poissons n'interfèrent pas sur le bon déroulement des élevages. Des circonstances exceptionnelles tel que le débordement du canal dans les bassins en cas de cyclone et/ou la rupture de la maille d'entrée peuvent conduire à l'introduction de prédateurs de grande taille, préjudiciable notamment en début d'élevage à la survie des juvéniles. Ceci est le cas des fermes industrielles qui vidangent rarement leur canal d'aménée (production continue) (Tableau 55).

## Phénomène marginal en Nouvelle-Calédonie

La préation par les poissons peut être considérée comme un phénomène marginal ayant peu d'ampleur sur les fermes de Nouvelle-Calédonie contrairement à ce qui

est observé ailleurs (Anon., 1978 ; Clifford, 1997). La plupart des exploitations familiales et intermédiaires vident leur canal à chaque fin de campagne de pêche. Par ailleurs, les pales des pompes immergées éliminent les plus gros organismes (crabes et poissons) en agissant comme de véritables hachoirs et ne laissent passer que des alevins. De sorte que peu de prédateurs potentiellement dangereux sont présents et/ou atteignent des tailles respectables. Certains aquaculteurs n'hésitent pas à retirer les filtres d'entrée au cours des derniers mois d'élevage pour améliorer le renouvellement d'eau de leurs bassins, sans se soucier de l'éventuelle introduction de carnassiers.

Tableau 55 - Liste des principales espèces de poissons prédateurs, compétiteurs et autres recensées dans le canal d'alimentation d'une ferme industrielle.

Prédateurs potentiels		Compétiteurs potentiels		Autres	
Nom vernaculaire	Nom scientifique	Nom vernaculaire	Nom scientifique	Nom vernaculaire	Nom scientifique
Poisson sabre	<i>Chirocentrus dorab</i>	Poisson banane	<i>Albula glossodonta</i>	Anchois	<i>Stolephorus sp.</i>
Murène	<i>Strophidon sp</i>	Poisson lait	<i>Chanos chanos</i>	Hippocampe	<i>Hippocampus kuda</i>
Congre gris	<i>Conger cinerus</i>	Gobie	<i>Amblygobius spp</i>	Poisson couteau	<i>Aeoliscus strigatus</i>
Poisson chat	<i>Plotosus lineatus</i>	Relégué	<i>Terapon jarbua</i>	Poisson cocher	<i>Heniochus acuminatus</i>
Poisson pêcheur	<i>Antennarius sp.</i>	Poisson violon	<i>Terapon thermops</i>	Poisson ballon étoilé	<i>Arothron stellatus</i>
Loche à taches	<i>Epinephelus caeruleopunctatus</i>	Apogon	<i>Apogon kiensis</i>	Poisson ballon rayé	<i>Arothron manilensis</i>
Loche crasseuse	<i>Epinephelus polyphemus</i>	Bossu d'herbe	<i>Lethrinus harak</i>	Scatophage	<i>Sactophagus argus</i>
Mère loche	<i>Epinephelus malabaricus</i>	Mulet à queue bleue	<i>Crenimugil crenilabis</i>	Lune d'argent	<i>Monodactylus argenteus</i>
Loche aérolier	<i>Epinephelus areolatus</i>	Mulet à grosses	<i>Chelon macrolepis</i>	Platax	<i>Platax teira</i>
Loche à taches	<i>Epinephelus coioides</i>	Baleinier	<i>Sillago ciliata</i>	Chirurgien à nageoire	<i>Acanthurus xanthopterus</i>
Carangue bleue	<i>Caranx melampygus</i>	Picot	<i>Siganus argenteus</i>		
Carangue jaune	<i>Gnathanodon speciosus</i>	Picot gris	<i>Siganus canaliculatus</i>		
Rouget paletuviers	<i>Lutjanus argentimaculatus</i>	Tilapia noir	<i>Oreochromis spp.</i>		
Dorade à tâche noire	<i>Lutjanus fulviflamma</i>				
Jaunet	<i>Lutjanus vitta</i>				
Lutjan à queue bleue	<i>Lutjanus russelli</i>				
Loche casteix	<i>Diagramma pictum</i>				
Barracuda	<i>Sphyraena barracuda</i>				
Tarpon	<i>Elops maculatus</i>				
Tarpon à filament	<i>Megalops cyprinoides</i>				
Cro cro	<i>Pomadys argenteus</i>				
Anguille*	<i>Anguilla marmorata</i>				

L'identification du matériel ichthyologique (plusieurs centaines de kg) a été réalisée à l'occasion de l'assèchement complet du canal de 6 km de long qui n'avait jamais été vidé depuis 7 années (Rivaton, Grandperrin, Della Patrona, non publié).

\*Répertoriée après inondation de la ferme par le cyclone Anne en 1988.

## Empoisonnement

Le moyen le plus efficace pour éradiquer les poissons est l'assèchement total du bassin et du canal ce qui n'est pas toujours possible. Un ou deux jours avant la remise en eau et après avoir fait le maximum pour assécher le bassin, les poissons peuvent être éliminés par l'utilisation de poison. Il faut au préalable fermer le plus hermétiquement possible à l'aide d'un film polyane, de bandes de géotextile voire d'argile, les entrées et sorties d'eau. L'enpoisonnement concerne toutes les collections d'eau susceptibles d'abriter des compétiteurs et/ou des prédateurs. Il est nécessaire de commencer par les moines d'entrée en traitant en premier la partie

adjacente au canal. La procédure se poursuit en appliquant le produit à l'aide d'un pulvérisateur à main en suivant les caniveaux de drainage du bassin jusqu'au moine de sortie. Il est recommandé d'enlever les cadavres.

Le chlore et la chaux vive ou éteinte ne sont pas des produits efficaces pour éliminer les poissons et les crabes.

### **Roténone**

Le produit le plus communément employé par les éleveurs de Nouvelle-Calédonie est la roténone (de Roten, le nom du chimiste qui a isolé la molécule). La roténone  $C_{25}H_{22}O_6$  est une molécule organique naturellement produite par certaines plantes tropicales telles que *Derris elliptica*, *Lonchocarpus nicou*, *Tephrosia vogelirri*, etc. Elle se présente sous l'aspect d'une poudre blanche cristalline. La roténone est soluble dans l'acétone, le trichloréthylène, le chloroforme et certains solvants organiques mais non dans l'eau sous sa forme purifiée. La roténone est utilisée principalement comme insecticide en agriculture. En aquaculture, elle est employée sélectivement pour éliminer les poissons et pas les crevettes. Toutefois, les doses mortelles spécifiques pour les deux groupes ne sont pas très différentes. Ce poison agit efficacement sur le zooplancton et la méiofaune (Neves, 1975). Le mode d'action de la roténone sur les animaux à sang froid est bien connu (Corbett *et al.*, 1984). Elle agit au niveau des mécanismes de la respiration (bloquage du transporteur d'oxygène ATP destiné à la mitochondrie).

La roténone est plus efficace en eau douce qu'en eau salée.

Le produit commercialisé contient généralement 4 à 5% de composé actif. La concentration létale est de l'ordre de 0,2 mg/L de roténone pour la plupart des poissons et du double pour les anguilles particulièrement résistantes (Anon., 1978). Il faut donc estimer au préalable la masse d'eau de la portion du caniveau (longueur x largeur x profondeur) à traiter par rapport à la dilution et au volume du pulvérisateur employé.

Clifford (1997) recommande un délai de traitement de 12 h pour obtenir une éradication complète des prédateurs et compétiteurs. Il est conseillé d'effectuer l'empoisonnement en fin d'après midi car la majeure partie de la roténone, photosensible, sera détruite par l'exposition au soleil.

Chez l'homme, la Roténone a longtemps été considérée comme non toxique au point de ne pas faire l'objet d'un classement toxicologique. Or très récemment des données nouvelles ont été apportées par des équipes de recherches aux USA travaillant sur les substances neurotoxiques (Betarbet *et al.*, 2000 ; Giasson et Lee, 2000). Il s'avère que l'exposition chronique à de faibles doses répétées de roténone provoque la maladie de Parkinson.

En attendant que le statut légal de la roténone en Nouvelle-Calédonie tienne compte de ces nouvelles connaissances, il faut obliger les utilisateurs à prendre les mêmes précautions que pour l'utilisation d'un insecticide chimique dangereux (gants, masques, combinaison, etc.).

### **Saponine**

Il existe une alternative à la roténone. Il s'agit de la saponine. Un glycoside de saponine ou simplement saponine est issu de la combinaison chimique d'un sucre et d'un stéroïde. Les saponines ont reçu leur nom par ce qu'elles produisent une mousse semblable à celle du savon quand on les agite dans l'eau (lat. *sapo* = savon). La propriété de cette liaison explique en premier lieu son caractère détergent. Les saponines donnent naissance à des mousses généralement stables qui provoquent aussi la lyse (dissolution de cellules ou de tissus sous l'influence d'agents chimiques, physiques ou biologiques) des globules rouges.

### Teaseed cake

Les saponines sont très fréquentes dans les végétaux supérieurs, surtout dans les tissus riches en substance nutritive, comme les racines, les tubercules, les feuilles, les fleurs et les graines. Le composé le plus fameux utilisé comme piscicide, le *teaseed cake*, est extrait des graines du *Camellia spp.*. La saponine constitue le composé le plus actif connu pour tuer sélectivement les poissons dans les bassins en eau, sans éradiquer les crevettes ou autres organismes utiles à la production naturelle. Elle est 50 fois plus toxique pour les poissons que pour les crevettes (Anon., 1978).

### Holothurine

Certaines espèces de bêches de mer sécrètent en cas de danger des poisons à effet hématologique. Le poison des holothuries se compose de plusieurs composants chimiquement proches différents d'espèce à espèce mais pas moins biologiquement actifs. Dans tous les cas examinés de mortalités de poissons des glycosides similaires à la saponine ont été rendus responsables de la toxicité. Il s'agit de substances actives en surface, qui modifient ou détruisent les membranes biologiques. La capacité de désintégration des globules rouges constitue la mesure de ce caractère, qui est particulièrement importante en ce qui concerne les poissons des holothuries. En plus des cellules sanguines, les cellules du système nerveux périphérique sont également irrémédiablement endommagées. Des essais avec du jus de bête de mer provenant du bouillon de cuisson et des exsudats des sacs de stockage des spécimens vivants entreposés dans les ateliers itinérants des pêcheurs locaux ont conclu à une efficacité certaine sur l'élimination des poissons dans les bassins crevetticoles à l'assèc (Della Patrona, 1988). En revanche, les tests de co-culture d'holothuries *Holothuria scabra* et de crevette *L. stylirostris* réalisés à la SASV (Purcell *et al.*, 2006) n'ont jamais conduit à des mortalités accidentelles de cette dernière espèce.

## 6.3.2. Oiseaux

Les fermes aquacoles, situées en bordure de mangrove, abritent un nombre important d'oiseaux d'espèces variées dont certaines se sont bien adaptées à cette ressource nouvelle et abondante et consomment régulièrement ou occasionnellement des crevettes des élevages.

### **Prédateurs**

Six espèces peuvent être considérées –mais à des degrés très divers- comme des prédateurs-chasseurs de cheptel. Il s'agit du Cormoran pie ou canard japonais *Phalacrocorax melanoleucus melanoleucus*, du Bihoreau cannelle ou héron de nuit *Nycticorax caledonicus caledonicus*, de la Sterne huppée *Sterna bergii cristata*, de la Mouette argentée ou mouette australienne *Larus novaehollandiae forsteri*, de l'Aigrette à face blanche *Egretta novaehollandiae*, de l'Aigrette des récifs *Egretta sacra albolineata* et du Balbuzard pêcheur *Pandion haliaetus*. La première espèce, diurne peut se rassembler à proximité et autour des bassins en groupes de plus d'une centaine d'individus. Le Bihoreau cannelle est crépusculaire et nocturne et n'arrive sur les bassins qu'à la tombée de la nuit par groupes d'une dizaine par bassin (Della Patrona, 1989).

### **Régimes alimentaires**

Les canards japonais et les bihoreaux cannelle se nourrissent dans les bassins presque exclusivement de crevettes tandis que les sternes et les mouettes exercent une prédation moins spécifique sur ces crustacés, complétant leur régime par des poissons commensaux des bassins, ou par des crustacés divers (figure 73).

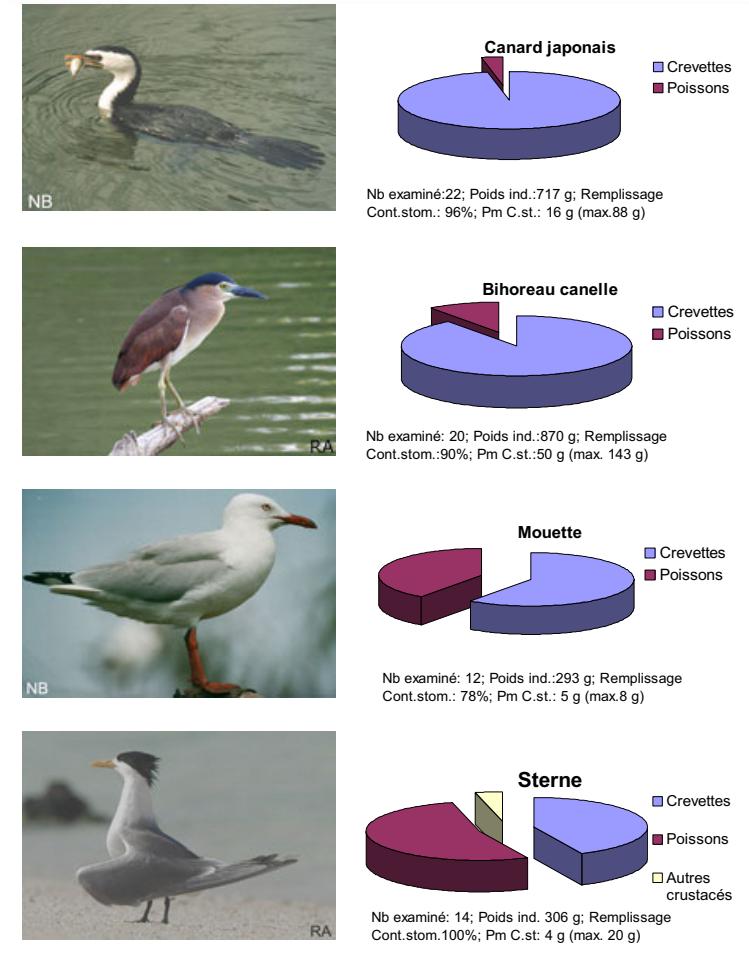


Figure 73 – Régimes alimentaires des principaux oiseaux (Della Patrona, 1989 ; photos avec l'aimable autorisation de la Société Calédonienne d'Ornithologie : NB Nicolas Barré; RA Robert Aublin).

## Activité journalière et saisonnière

Les canards japonais pêchent tout au long de la journée avec toutefois une fréquence accrue au lever et au coucher du soleil (absence du personnel de la ferme) (figure 74).

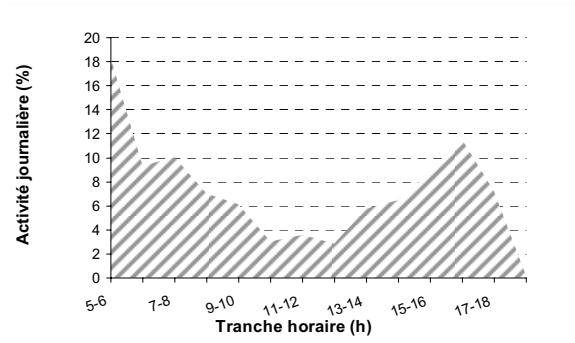


Figure 74 – Horaires préférentiels de la prédation du cormoran pie (Della Patrona, 1989).

La période la plus intense de prédation par les canards japonais, les bihoreaux

canelle et les hérons correspond à celle de leur nidification (saison chaude) (Hannecart et Letocart, 1985).

## Impact de la prédation du cormoran sur la production

### Taille des crevettes consommées

La prédation peut intervenir très peu de temps après l'ensemencement des post-larves (Tableau 56) et c'est à cette période que les canards japonais ont l'impact le plus fort. Compte tenu d'un taux de nutrition journalier extrapolé de celui du Grand cormoran *Phalacrocorax carbo* (Allerton, 1985), soit 16%, la consommation théorique d'un individu s'établirait à 3 500 post-larves/jour. Ce sont des prédateurs opportunistes qui se nourrissent de proies de toute taille. Ils peuvent chasser des post larves de crevettes de 0,02 g dès le 11<sup>ème</sup> jour après ensemencement (Bassin A) ou bien des individus d'une vingtaine de g en fin d'élevage.

Tableau 56 – Age et poids des crevettes à la première prédateur (Della Patrona, 1989).

Bassins	A	B	C	D	E	F	G	H	U	V	W	X
nombre de jours après ensemencement	11	12	14	60	31	33	73	49	18	15	31	25
poids des crevettes (g)	0,02	0,02	0,03	1,95	1,32	1,28	6,75	3,95	0,17	0,05	0,3	0,3

### Caractéristiques de la prédateur

Le cormoran avec son plumage semi imperméable est un excellent plongeur (Grémillet, 2006) et est d'une grande efficacité (Tableau 57) notamment dans la capture des post larves. Non dérangé, il peut chasser près d'une ½ h sans interruption sur un même bassin.

Tableau 57 – Efficacité de pêche du cormoran pie (Della Patrona, 1989).

	Temps séjour moyen (mn)	Durée d'une apnée (s)	Nombre crevettes ingérées (par mn)	Succès/10 tentatives
moyenne	9,7	31	0,6	2
minimum	3,0	19	0,3	1
maximum	27,0	40	1,1	5
nombre observations	82	14	54	25

La prédateur estimée du canard japonais imparfaitement contrôlée a varié de 15 à 3 690 kg sur les onze bassins suivis et a représenté environ 11% ( $\approx$ 13 tonnes) de la production de la campagne de pêche suivie par Della Patrona (1989). Ce chiffre est nettement moins élevé que ceux fournis par Anonyme (1984) et Barlow & Bock (1984) de l'ordre de 50 à 90% de la production aquacole mais qui concernaient une prédateur non contrôlée.

### Moyens de lutte

Plusieurs méthodes de prévention ont été utilisées, en vain généralement, sur les cormorans tels que épouvantails fixes ou flottants, pétards à corbeaux et canon à détonations à gaz. La pose de filets (Photo 29) s'est révélée particulièrement efficace sur les petites unités de la SASV (maximum 1500 m<sup>2</sup>) mais est irréalisable sur des



Photo 29 – Filet anti-cormoran sur un bassin de la SASV. (© J. Patrois).

bassins de plusieurs hectares.

Les moyens les plus drastiques sont la chasse au fusil calibre 12 ou 16 et/ou la glue sur les piquets en bord de digues où ces oiseaux viennent non pas se sécher les ailes après la pêche contrairement à une idée répandue mais réchauffer leur bol alimentaire grâce à la chaleur produite par le travail des muscles alaires (Grémillet, 2006).

### Bio indicateurs

La préddation aviaire ne concerne véritablement que le canard japonais voire le bihoreau cannelle. Il faut donc formellement proscrire l'élimination des autres oiseaux : aigrettes, balbuzards et également les mouettes et les sternes. Ces oiseaux - par ailleurs protégés par les réglementations provinciales - n'éliminent que les moribondes nageant en surface et ne chassent pas les crevettes en bonne santé au fond des bassins. Ils caractérisent des élevages où les crevettes sont affaiblies.

### Conclusion

L'éradication de plus de cinq cents oiseaux au cours d'une campagne de production ne peut laisser indifférent (Della Patrona, 1989). La préddation par les oiseaux est donc un facteur naturel à prendre en compte lors de la construction d'une ferme (proximité et importance de la mangrove environnante, présence de colonies, formes et dimensions des bassins, angles morts, emplacements des bâtiments, digues de circulation empruntées par le personnel, élimination des pièces d'eau saumâtres résultant de l'édification des digues offrant des possibilité de nichoirs...). Les techniques d'effarouchement devront être privilégiées dans toute la mesure du possible et les tirs s'ils doivent avoir lieu ne viser que l'espèce dont l'impact est économiquement insupportable.

#### 6.3.3. Homme

Le principal prédateur de crevettes d'élevage est l'homme. Compte tenu du prix du kg de crevette revendu sous le manteau ( $\approx 1\,000$  F CFP/kg) et de la prise par unité d'effort constitué par un épervier bien lesté jeté dans un coin propice et/ou appâté avec du granulé ( $\approx 5 - 10$  kg par coup d'épervier), les fermes sont l'objet de nombreux vols.

Les signes de vandalismes sont connus : traces de pieds au petit matin dans les zones sensibles avant l'arrivée du personnel, crevettes mortes sur les digues, déchets des prises par éperviers (balanes, algues filamenteuses, cailloux).

Dans les cas extrêmes, les vandales déchirent les mailles des filtres de sortie au sabre d'abattis ou soulèvent les filtres pour laisser échapper les crevettes dans la mangrove et les récupérer ensuite à l'épervier en aval des bassins.

Les moyens de prévention sont variables. Ils consistent à dérouler du fil de fer barbelé à mi-hauteur d'eau dans les endroits propices afin de déchirer les éperviers des voleurs. Le gardiennage est le moyen de lutte le plus efficace. La

réalisation de barrière de protection type barrière à cerf représente un coût souvent rédhibitoire. Elle est utile dans la limite où elle est complètement hermétique ce qui n'est généralement pas possible compte tenu des droits d'accès coutumiers aux sites de pêche au crabe de palétuviers ou autres tilapias.

## 6.4. Compétition

### Poissons

La principale famille de poissons qui entre en compétition pour le granulé avec *L. stylirostris* est celle des gobiidae *Amblygobius spp.* appelés lochons. On les retrouve fréquemment sur les mangeoires. Non contrôlés, ils peuvent représenter quelques centaines de kilos de biomasse sur un bassin d'une dizaine d'hectares. Une trop forte abondance est susceptible de détériorer l'indice de conversion. Les autres familles représentées par les mulets (*Mugilidae*), les poissons lait (*Chanidae*), et les tilapias (*Cichlidae*) sont suspectées de consommer du granulé bien que leurs contenus stomacaux n'en révèlent généralement pas la trace. Ils entrent néanmoins pour partie en compétition pour la production naturelle avec *L. stylirostris*. Les deux premiers groupes sont souvent introduits intentionnellement par certains éleveurs dans un but de consommation personnelle à la récolte finale mais également parce qu'ils sont supposés retravailler le sédiment par remise en suspension des boues en cours d'élevage et réduire les tapis de cyanophycées. Ils causent cependant des problèmes en venant balayer le granulé déposé sur les mangeoires pour contrôler le taux de nutrition, masquant de fait la présence de restes sur celles-ci pour le zootechnicien. Leur élimination par des sennes de maille suffisamment grandes pour ne pas piéger les crevettes et/ou par des nasses relevées plusieurs fois par jour est assez efficace. Les mulets et les poissons-lait ont tendance à se rassembler devant les moines d'entrée rendant leur capture à l'épervier grosse maille assez aisée. Les tilapias creusent des nids de plusieurs dizaines de centimètres de diamètre qui peuvent dans certains cas piéger quelques crevettes à la vidange finale. Ces poissons perturbent également le bon déroulement des vidanges finales en empêchant la sortie des dernières crevettes devant le moine de pêche. Ils peuvent représenter plusieurs centaines de kilos.

### Crabes batailleurs

Les crabes batailleurs *Portunus pelagicus* pénètrent à certaines saisons par les ouvrages d'entrée à l'état de post-larves produites par des géniteurs qui se développent dans les canaux des grandes fermes non régulièrement asséchés. Ils entrent en compétition pour le granulé, les cadavres et les mues du cheptel. Leur prédatation sur *L. stylirostris* en cours d'élevage n'est pas véritablement avérée. Les bassins dans lesquels sont récoltés des centaines de kg de crabes batailleurs ne démontrent pas des survies notablement plus faibles mais plutôt des indices de conversion plus élevés. Certaines fermes valorisent ce compétiteur en vendant ce produit rare mais très apprécié du consommateur local. L'autre espèce de crabe trouvée en plus faible nombre dans les bassins est le crabe de palétuviers *Scylla serrata*. Exceptionnellement, en fin d'élevage on peut récolter une ou plusieurs centaines d'individus dans un bassin de dix hectares. Cette manne est une valeur ajoutée (800-1 000 F CFP/kg) à la production de crevettes.

### Lièvre de mer

La présence de lièvre ou limace de mer *Bursatella leachii* (Photo 30) en début d'élevage est préalablement signalée par des chapelets de couleur verte ou spaghetti d'œufs collés au fond et sur les digues de bassins. Suite à une croissance très rapide de l'ordre de la semaine, le bassin est rapidement envahi par des animaux de quelques centimètres de long pouvant atteindre des densités voisines de un

individu/m<sup>2</sup>. Ces animaux peuvent entrer en compétition avec les post-larves pour les fines d'aliment et le microphytobenthos. Les éleveurs sont souvent inquiets de leur présence en raison de leur nombre et de leur taille. Mais ces opistobranches, brouteurs très efficaces des tapis de cyanophycées, sont ensuite rapidement éliminés par *L. stylrostris*. Cette crevette très carnivore dès qu'elle atteint une taille suffisante attaque ce mollusque qui constitue de ce fait une source de nourriture fraîche supplémentaire.



Photo 30 – Le lièvre de mer, *Bursatella leachii* (© Andrew Spurgeon, NZ Mollusca)

## Autres

Les escargots *Cerathidae* et les crevettes *Caridae* entrent en compétition avec *L. stylrostris* pour la production naturelle et pour le granulé. Leur nombre n'atteint jamais des proportions telles qu'il justifie une éradication systématique (Anon., 1978).

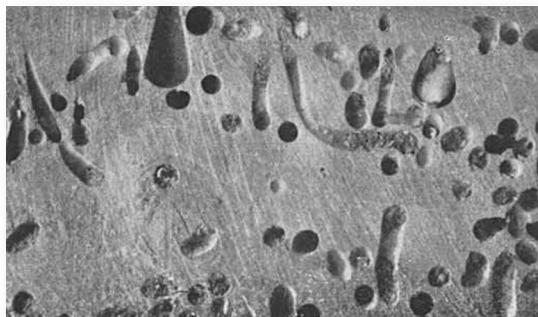
Les crevettes *Callianassidae*, *Callichirus armatus*, peuvent coloniser le bassin mais n'ont jamais été observées à des densités de plusieurs dizaines par m<sup>2</sup> comme signalées par Clifford (1997) impactant lourdement sur la production du cheptel.

En règle générale, le maintien d'une importante biomasse de ces groupes de compétiteurs tout au long de l'élevage est souvent une indication d'une médiocre survie initiale de *L. stylrostris*.

## 6.5. Nuisibles

### Xylophages marins

Il s'agit des animaux qui attaquent le bois en particulier les batardeaux et les cadres des ouvrages d'entrée et de sortie. La détérioration du bois dans l'eau de mer est causée par deux groupes d'organismes marins : des mollusques et des crustacés. Les mollusques appartiennent aux genres *Teredo*, *Bankia* et *Nausitora* de la famille des *Teredinidae* et aux genres *Martesia* et *Pholas* de la famille des *Pholadidae*. Parmi les Crustacés, les genres les plus importants, *Limnoria* et *Sphaeroma*, sont des Isopodes : l'action de ces animaux, peu visible en surface, fragilise les batardeaux ([Photo 31](#)) *a fortiori* ceux qui sont soumis à la pression la plus forte (situés en profondeur). Une planche qui éclate au niveau d'un moine d'entrée ou de sortie peut avoir des conséquences très sérieuses sur l'introduction de prédateurs du canal dans le bassin

Photo 31 – Galeries de *Pholadidae* dans un batardeau

ou la perte de cheptel.

Certains bois offrent une meilleure résistance aux invertébrés xylophages que d'autres. La résistance des essences à ces mollusques ne dépend pas que de leur densité ou de leur dureté. Leur contenu en silice (goya rouge) voire en substances toxiques est également important (Anon., 1978). La plus ancienne protection du bois est la créosote mais le goudron reste le moyen le plus efficace pour lutter contre les tarets. Il est souhaitable de peindre le bois avant utilisation avec une peinture bitumineuse industrielle relativement liquide type SIKA Aquafondation® dont il faut vérifier la non toxicité pour les crevettes au préalable.

### Petits crabes

Lorsqu'ils pullulent (bassin mal traité ou ensemencement via canal), les crabes de petite taille *Charybdis* sp., *Thalamita* sp. et/ou les juvéniles de *Portunus pelagicus* (1-2 cm) endommagent les mangeoires en déchirant la toile moustiquaire qui les composent. Leur éradication se fait au coup par coup en les éliminant lors des relevés des mangeoires. On peut rencontrer exceptionnellement de l'ordre de la dizaine d'individus par mangeoire.

## Chapitre 4

# La conduite des élevages au quotidien



# 1. Introduction

Le crevetticulteur calédonien est soumis au quotidien à un certain nombre d'incertitudes qui rendent sa gestion zootechnique imprécise. Plusieurs questions se posent à lui :

- comment estimer, en début d'élevage, le potentiel de production d'un bassin quand on ne dispose pas de critères d'appréciations de la qualité du fond ?
- comment savoir si le cheptel est en bonne santé ?
- comment appliquer un taux de nutrition lorsque que l'on connaît le poids individuel mais pas le nombre des animaux à nourrir ?
- comment régler un pompage lorsque l'on ne connaît pas précisément le tonnage de crevettes présent dans le bassin ?
- comment recalculer une ration après avoir constaté une mortalité de quelques centaines d'individus au bord alors qu'il est impossible de décompter les milliers qui ont disparu sur le fond ?

A défaut de pouvoir un jour répondre à ces questions, les grands principes de gestion sont les suivants :

- tout faire tout pour se mettre au départ (densité initiale, préparation du bassin) dans des conditions qui ne dépasseront pas ou peu les capacités des outils zootechniques disponibles (renouvellement, aération) ou la capacité de production du bassin pour le système mis en place;
- s'imposer une organisation journalière de travail de routine rigoureuse et simplifiée sur la base de priorités et de normes connues :
  - contrôle oxygène ;
  - action sur aération ;
  - action sur renouvellement ;
  - contrôle et nettoyage des filtres ;
  - nourrissage ;
  - restes sur mangeoires ;
  - réajustement ration ;
  - préparation des pêches ;
  - échantillonnage ;
  - changement de filtres.
- toutes les autres tâches secondaires ne doivent pas être entreprises tant que le travail de routine n'est pas parfaitement achevé et interprété ;
- ne pas actionner brutalement les leviers zootechniques (aliment, renouvellement, fertilisation) dans un écosystème en équilibre très instable ;
- penser écosystème : Interactions (couplage) + Inertie (délai de reprise) ;
- anticiper toujours très largement (cyclones, grèves, pannes du transporteur, retard écloserie, etc.) tous les approvisionnements : post-larves, aliment, mazout, essence, eau, les besoins en matériel et personnels pour les pêches et les travaux lors de l'assèche ;
- adopter un bon sens paysan et une gestion « en bon père de famille », les performances les plus rentables sont celles qui durent.

Les procédures présentées dans ce chapitre synthétisent les expériences acquises par

le suivi quotidien d'élevages ensemencés à partir de post-larves ou d'animaux prégrossis sur les bassins de 8 - 12 ha de quatre fermes privées et sur ceux de 0,2 à 3 ha à la Station Aquacole de Saint Vincent sur la période de 1988 à 2004. Elles représentent les enseignements tirés d'environ 170 élevages de géniteurs extensifs ( $0,5 - 4/m^2$ ), 90 élevages hyperintensifs de prégrossissement ( $75 - 245/m^2$ ), 225 élevages de grossissement non aérés et aérés ( $15 - 40/m^2$ ). Elles sont également documentées à partir de faits marquants vérifiés et constatés *in situ* sur les fermes opérées par des aquaculteurs dont le sérieux ne peut être mis en cause. Elles sont validées par les résultats récents de recherches menées en 2006 et 2007.

#### Penser écosystème !

Il faut toujours avoir à l'esprit qu'un bassin de crevettes n'est pas une simple cuvette dans laquelle on met de l'eau, des crevettes, de l'aliment et parfois de l'air pour les aider à respirer.

C'est au contraire un écosystème, certes simplifié par rapport à un écosystème naturel (on parle parfois d'agrosystème), mais qui possède encore les propriétés fondamentales de tout écosystème : des compartiments qui interagissent entre eux (on parle de couplage entre ces compartiments) et ce, avec des délais qui peuvent être variables et parfois très longs.

Schématiquement un bassin à crevettes est composé de trois étages : la colonne d'eau, l'interface eau + sédiment et le sédiment. Au sein d'un compartiment donné, les déchets propres à ce compartiment (sels minéraux, phyto et zooplancton, bactéries, ...) interagissent, mais ils agissent aussi sur les déchets des autres compartiments (matière organique, méiofaune, crevettes, ...). En conséquence, toute action de l'aquaculteur sur la colonne d'eau aura bien évidemment des répercussions sur des variables de la colonne d'eau mais aussi sur celles de l'interface et du sédiment. De même toute action sur le sédiment aura des conséquences sur l'interface et sur la colonne d'eau. Mais les conséquences de ces actions ne sont pas toutes immédiates. Par exemple, si une aération permet instantanément d'augmenter la teneur en oxygène de la colonne d'eau et donc tout aussi instantanément d'améliorer les conditions de respiration des animaux, elle permettra aussi sur le long terme, si elle est répétée régulièrement, une meilleure oxydation de la matière organique sur le fond. Inversement, un surnourrisage chronique peut entraîner à terme des accumulations de matière organique sur le fond si une aération suffisante n'est pas installée en parallèle pour oxyder ces excès de MO au fur et à mesure de leur production.

Penser écosystème revient donc à prendre conscience que l'aquaculteur n'est pas maître de tous les compartiments de son bassin et qu'en voulant favoriser autre mesure un compartiment, en vue d'une meilleure productivité, il risque, à son insu, d'en modifier/développer d'autres non désirés. De plus, compte tenu des délais de réponse parfois longs, il doit agir préventivement pour éviter de se trouver dans une situation où il sera trop tard pour contrôler quoi que ce soit

## 2. Préparation des bassins

### 2.1. Cas d'un bassin neuf

#### 2.1.1. Incidences des travaux initiaux

La construction d'une ferme s'apparente souvent à une course contre la montre avec une date butoir qui est celle d'une des deux productions d'écloserie annuelles les plus favorables ; la stratégie étant de réaliser le meilleur résultat économique dès le premier cycle. Dans la précipitation, certains principes de précaution sont bien souvent ignorés.

Il s'agit de recommandations de bon sens. Avant d'ensemencer le bassin, il faut éliminer tous les risques potentiels de pollution inhérents à la construction des digues et des ouvrages en béton : récipients de vidanges ou de liquide hydraulique des engins, sacs de ciment et adjuvant hydrofuge, etc.

A cette fin, il est recommandé de faire un rinçage global des installations en même temps que l'essai hydraulique final des installations. Il permet d'évacuer tous les objets flottants accumulés durant la construction (plusieurs mois) de la

prise d'eau en mer (racines de palétuviers, troncs entiers, *etc.*), du canal principal (racines et souches d'arbres, *etc.*) et des les bassins (souches de palétuviers morts, planches de coffrages, salicornes, *etc.*). Ces débris peuvent endommager les pompes, les filtres des moines d'entrée et/ou de sortie lors du remplissage des bassins.

Le lessivage est aussi utile pour éliminer les flaques d'eau croupie résiduelles du canal et des bassins qui n'auraient pas été correctement resurfacées, ou éventuellement souillées par des hydrocarbures (Photo 32).



Photo 32 – Flaque d'eau de mer souillée par du carburant d'une pelle rétro envasée.

*Malgré le rinçage des marées et du remplissage de la ferme, le premier élevage de ce bassin a donné une survie catastrophique de 8% du fait de la toxicité avérée sur les post-larves de l'hydrocarbure absorbé par le sédiment. Le résultat de l'élevage suivant (49% de survie vs 66% moyenne des 4 autres bassins de la ferme) indique que la pollution était encore latente*

Le remplissage préalable des enceintes est indispensable pour minimiser les effets de lixiviation du matériau des digues (carrière de schiste créée pour les travaux) et des ouvrages en béton (généralement à peine achevés).

La lixiviation correspond à la percolation lente de l'eau à travers le matériau, accompagnée de la dissolution des matières solides qui y sont contenues. Par exemple, l'eau peut ainsi se charger en substances toxiques lors de la traversée du schiste composant les digues et produire un lixiviat acide ( $\text{pH} \approx 3-4$ ) préjudiciable à la productivité naturelle lors de la mise en eau (Photo 33), puis aux post-larves en absence de lessivage efficace. D'où l'intérêt de vérifier le pH en pied de digue lors du premier remplissage des bassins.



Photo 33 – Phénomène de lixiviation lors de la première mise en eau d'un bassin.

*Le lixiviat du schiste rose provenant d'une carrière d'extraction nouvelle présente une acidité très forte,  $\text{pH}=3,5-4$ , illustrée par le dépôt blanchâtre (algues mortes). L'eau du bassin prend une coloration bleu turquoise transparente, caractéristique. Les survies de ces premiers élevages réalisés à la SASV, récoltés à 48 jours, ont été de 1%, 18%, 28% et 42%.*

L'impact d'un ciment sur son environnement, en tant que produit fini, se situe au niveau de son contenu en métaux lourds qui peuvent provenir des matières premières, ou des fuels. Les autres entrées de métaux lourds peuvent provenir soit d'ajouts de matières lors du broyage du ciment, ou lors de l'ajout de gravier

et autres additifs lors de la préparation du béton. Le transfert des métaux lourds du ciment vers le milieu se réalise par diffusion dans une phase liquide. La lixiviation est fonction principalement du pH, elle augmente en pH acide et est limitée en pH basique. Le transfert d'éléments nocifs du ciment vers l'environnement revêt trois formes :

- le ciment non utilisé, état dans lequel il se trouve dans son sac ;
- le ciment frais, après adjonction d'eau ;
- le ciment sec, une fois durci.

Les sacs de ciment présentent plusieurs recommandations de sécurité (type R), ainsi qu'un avertissement sur le contenu en chrome.

## 2.1.2. Fertilité du site

Sur certains sites, une partie plus ou moins importante (10 à 50%) de la surface des bassins est gagnée en amont du ressaut limitant les vases salées. Ces zones décapées n'ayant jamais été au contact des marées et parfois présentant de faibles teneurs en matière organique réactive ne développent peu ou pas de tapis algal. Les premiers élevages (Tableau 58) conduisent souvent à de faibles survies où l'on note du cannibalisme. On observe dans ces conditions des phénomènes de blocages de mue : les post-larves et ou les juvéniles présentant un double céphalothorax en capuchon caractéristique. Dans de telles conditions, il est donc fortement souhaitable d'effectuer une mise en eau assez longue et une procédure de fertilisation minérale (voire organique) à des doses fortes pour tenter de faire pousser un tapis algal sur ces endroits stériles (Photo 34).



Photo 34 – Aspect d'un bassin à fond de schiste stérile.  
(© A. Leturc).

Tableau 58- Résultats commentés (sur la base du différentiel de survie saisonnière) des premiers élevages d'une ferme qui a connu des problèmes de stérilité initiale des fonds de ses bassins.

Résultats commentés des premiers élevages de 1992							
Bassin	Ensemencement	Durée (j)	Densité	Pm pondéré (g)	Survie (%)	I.c	Commentaires
1	15/11/1991	230	25,1	21,9	48	2,9	
2	15/11/1991	244	28,6	25,9	27	3,3	
3	18/11/1991	231	30,3	25,7	37	3,0	
4	19/11/1991	245	31,8	30,0	18	3,2	
5	25/11/1991	214	23,2	25,0	25	2,7	
6	04/12/1991	245	30,3	23,9	65	2,2	Survies et Indices tout à fait normaux.
10	20/02/1992	235	19,0	22,7	46	3,0	
7	24/02/1992	246	30,6	23,8	69	2,1	Survies exceptionnelles pour le mois d'ensemencement. Excellents I.c
9	02/03/1992	235	19,2	24,3	68	2,1	
8	25/05/1992	224	23,0	20,2	38	2,4	Survie faible mais normale pour le mois d'ensemencement. Bon I.c

Il semble possible de réhabiliter certains bassins particulièrement stériles édifiés sur des schistes en apportant de la terre végétale, comme l'ont montré les expérimentations réalisées par Della Patrona et Herblard (non publié) ([Tableau 59](#)).

Après l'édition des digues, les futurs bassins présentent souvent d'aval en amont :

- une zone herbeuse à *Salicornia australis* ;
- une zone recouverte d'un voile algare apparaissant sous forme de plaquettes desquamées (en présence de matériel argileux) ;
- une zone nue ou le feutrage d'algues filamenteuses disparaît en raison de la granulométrie plus grossière.

[Tableau 59 – Essai de réhabilitation d'un sédiment stérile à l'aide de terre végétale rapportée \(Della Patrona et Herblard, non publié\).](#)

Traitements	Densité initiale	Survie finale (%)	Pm final (g)	I.c	Rendement	MAO mg C g <sup>-1</sup> (± écart-type)
terre végétale rapportée	17,8 Pl/m <sup>2</sup>	46,5	19,3	1,94	4,7 t/ha/an	0,636 ± 0,191
témoin	17,9 Pl/m <sup>2</sup>	37,2	20,9	2,14	4,1 t/ha/an	0,469 ± 0,183
schiste	17,8 Pl/m <sup>2</sup>	34,4	22,3	2,26	4,0 t/ha/an	0,411 ± 0,260

(Sources : 6 bassins de 1500 à 3000m<sup>2</sup> édifiés en isolant certaines zones d'un bassin de 10 ha présentant des survies anormalement faibles sur 4 élevages consécutifs et en apportant 15 cm de terre végétale).

Les aquaculteurs se posent alors la question de savoir s'ils doivent ou non éliminer les végétaux des bassins. Dans les élevages de *L. vannamei*, espèce omnivore qui utilise mieux la production naturelle que *L. stylirostris* plus carnivore, il est recommandé de faire des apports de matière organique d'origine végétale sous forme de sous-produits de cultures hachés le plus finement possible (Clifford, 1994). Traditionnellement, les salicomes sont raclées, mises en tas puis brûlées à la fin du chantier. L'élimination des plaques de cyanophycées est parfois opérée à la main (cas d'une ferme). Plus communément, elles sont laissées en place mais sont coupées en morceaux à l'aide des lames du rotavator. Les comparaisons objectives des fermes ayant opté pour l'une ou l'autre des solutions montrent qu'il n'y a aucune incidence des différents traitements sur la survie finale du premier élevage ([Tableau 60](#)).

Tableau 60 – Incidences du maintien ou de la suppression des aires à salicunes ou des plaquettes de cyanophycées sur les performances du premier élevage.

Suppression des plaquettes de « cyanophycées »							
Bassin	Ensemencement	Durée (j)	Densité	Pm pondéré	Survie (%)	I.c	Commentaires
1	31/03/1995	185	38,2	22,7	67	1,7	Survies exceptionnelles pour le mois d'ensem. Excellents I.c
2	31/03/1995	194	29,0	24,0	70	1,7	
3	04/04/1995	189	35,0	23,2	63	1,8	
6	10/08/1995	195	31,0	19,1	48	2,3	Survies normales. Bons I.c
7	11/08/1995	159	34,0	18,9	54	2,0	
8	27/09/1995	158	33,0	23,4	44	1,7	Survies moyennes à médiocres. Très bons I.c
4	08/08/1995	156	37,0	18,4	30	2,0	
5	09/08/1995	188	31,0	20,4	38	2,0	

Maintien des plaquettes de « cyanophycées »							
D	11/02/2004	197	21,0	27,0	73	2,1	Survies exceptionnelles pour le mois d'ensem. Excellents I.c
E	12/02/2004	192	21,0	27,3	85	1,8	

Suppression des salicornes 1/10ème surface							
Ferme n°1	02/02/2001	153	18,0	21,6	37	2,8	Survie un peu faible pour le mois. I.c fort mais typique Synd.93
Ferme n°2	24/01/2003	144	18,0	28,2	55	1,6	Survie normale. I.c exceptionnel

Maintien des salicornes 1/3 surface							
A	17/12/2003	219	21,0	28,0	84	1,9	Survie exceptionnelle. Très bon I.c
B	16/01/2004	196	21,0	28,9	64	1,9	Survie normale. Très bon I.c

Il est à noter que les salicornes perdurent tout au long de l'élevage et servent de support au développement de la méiofaune.

### 2.1.3. Labour

Il n'est pas conseillé d'effectuer un labour profond qui risquerait de détériorer l'assise fertile du fond du bassin. En effet, initialement, le bassin ne présente aucune accumulation de matière organique facilement oxydable dont il faut accélérer la décomposition et/ou la minéralisation. En revanche, la plupart des éleveurs passent la herse en surface (1-3 cm) afin de fragmenter les tous premiers centimètres (0-3 cm) en petites mottes mais pas de les réduire en poudre. L'augmentation de la surface résultante est favorable à la colonisation par la méiofaune. Les anfractuosités constituent des abris supposés être favorables à la tranquillité des post-larves qui s'y cachent.

## 2.2. Préparation inter élevage de routine d'un bassin

On a vu précédemment l'importance que revêt le travail du sol dans le fonctionnement de l'écosystème bassin. La préparation de la période inter élevage commence à la vidange finale de l'élevage précédent voire avant.

### 2.2.1. Organisation

Le personnel de la ferme est souvent fatigué à la fin du cycle en raison du rythme soutenu des récoltes partielles. De sorte que la tentation est grande de mettre l'effectif en congés dès la vidange finale en pensant que l'essentiel de la charge de travail est passé. De fait, les trois à quatre semaines suivant la vidange finale représentent une phase capitale dans la réussite de l'assec.

N.B : la période optimale de congés pour le personnel affecté à un bassin commence quelques jours après l'ensemencement des post-larves en raison des faibles quantités de granulé concassé à distribuer, l'absence de relevé de mangeoires,

l'absence de brossage des filtres (pas de renouvellement), l'absence d'échantillonnage, etc.

Le zootechnicien devra établir une *check-list* du matériel et du *timing* des opérations à effectuer pour chaque bassin, planifier l'embauche éventuelle de personnel supplémentaire pour la réalisation des drains et/ou la venue d'une pelle rétro pour l'extraction des accumulations dans les caniveaux disposés au vent (cf. fig. 7).

Il est important de noter pour chaque bassin le détail des opérations d'assèchement et de préparation des bassins.

### 2.2.2. Timing

Tout le matériel nécessaire au travail de l'assec doit être prêt bien avant la vidange finale :

- planches d'entrée et de sortie repeintes ;
- feuille de polyane et rouleau de géotextile en stock ;
- filtre de rechange munis des mailles adaptées au démarrage de l'élevage ;
- rouleaux de mailles de différentes dimensions ;
- matériel de labour (tracteur révisé, herse, grille, rotavator fonctionnel) ;
- motopompes révisées, tuyaux en bon état, réservoirs pleins de carburant ;
- pulvériseur à roténone fonctionnel ;
- matériel pour creuser les drains.

### 2.2.3. Assèchement

La première des mesures est de garantir grossièrement les fuites du canal en eau dans le bassin en colmatant avec de la boue les planches du moine d'entrée situées dans la moulure la plus proche du canal. Il est recommandé ensuite de débarrasser les parois de l'ouvrage hydraulique et les feuillures de toutes les balanes et algues filamenteuses, de racler la boue et les cailloux accumulés à l'intérieur et de mettre de la roténone pour éliminer ou faire fuir les éventuels poissons et crabes qui affectionnent ces endroits. Dans un second temps, il faut assurer une meilleure étanchéité en enveloppant dans une feuille de polyane une série de 7 ou 8 planches neuves ou en très bon état, de hauteur adaptée à la profondeur d'eau maximale du canal. Il faut vérifier de nouveau que toutes les rainures, notamment celles de la dalle du socle, sont parfaitement propres. L'ensemble (planches + polyane) est ensuite calé dans les rainures à l'aide de bandelettes découpées au ciseau (préférable à un cutter) dans du feutre géotextile type Bidim® ([Photo 35](#)) qui permet une quasi imperméabilité de l'ouvrage. On appelle feutre géotextile un tissu formé de polypropylène aiguillé. Imputrescible, il s'avère extrêmement résistant et difficilement perforable, d'où une possible réutilisation. D'une couleur blanche grisâtre, on le trouve dans le commerce sous forme de grands rouleaux.



Photo 35 - Géotextile employé pour assurer l'étanchéité des moines d'entrée et de sortie

C'est lorsque que le bassin est encore gorgé d'eau que les accumulations à travailler suivant leur épaisseur sont à repérer à l'aide de piquets. En effet, une fois le bassin labouré sur toute sa surface, les mottes du labour masquent totalement les dépressions et/ou les accumulations qui sont à façonner différemment. C'est à ce moment qu'il convient d'y réaliser des analyses de pH, de phosphore échangeable, de DOS et de MAO pour cibler d'éventuelles interventions (cf. chapitre 2.6 : raclage, épandage d'engrais, de chaux agricole, etc.).

Il faut reprendre à la pelle les caniveaux naturels d'évacuation pour canaliser l'eau et faciliter le séchage du bassin. Il est fortement conseillé de déboucher les drains concernés par les accumulations d'origine éolienne à l'aide d'un engin de terrassement adapté et de les déposer dans un endroit où elles n'auront pas de conséquences sur l'environnement, y compris le bassin. Il est souhaitable de profiter de l'assèche pour combler les dépressions créées par l'effet du vent lorsque l'horizon découvert présente des valeurs de pH acide et/ou lorsqu'elles bloquent les crevettes lors des pêches finales.

Certains hauts de bassin présentent des résurgences d'eau douce en communication avec des fractures de la roche mère des bassins versants et/ou des talwegs situés parfois très en amont des sites. Ces fuites sont très pénalisantes pour l'assèchement des bassins. Aucune analyse d'eau n'a jamais été réalisée. Leur éventuel préjudice sur la santé des crevettes n'a pas été répertorié.

Pour les sites (la majorité sont situés sur des tannes) concernés par les remontées des marées hautes, il est conseillé, dès que le bassin ne renferme plus que très peu d'eau, soit d'équiper les moines de sortie de chatières dont la porte empêche le flux d'entrer mais laisse l'eau du bassin sortir, soit d'un jeu de planches colmatées de hauteur suffisante à mettre ou à enlever en fonction des marées. Ce montage ne pardonne aucun oubli qui réduirait à néant le fruit de plusieurs semaines voire mois d'un travail acharné d'assèchement, *a fortiori* en période de saisons des pluies.

La même opération de nettoyage et d'étanchéification de l'ouvrage est ensuite réalisée. A partir de ce moment, il devient nécessaire de mettre en place des motopompes pour limiter les inévitables fuites, percolations et renards du canal et des bassins mitoyens. Les panneaux filtrants ne sont disposés que la veille du remplissage. En effet, la maille fine de 700 µm qui les équipe peut être déchirée plus facilement en cours d'assèche qu'en eau.

## 2.2.4. Préparation du sol

Dès qu'un engin adapté peut travailler en sécurité sans s'embourber (Photo 36), la préparation du sol peut commencer selon les préconisations faites au chapitre précédent pour accélérer la décomposition bactérienne des boues. La contrainte de portance des engins et le séchage plus ou moins rapide selon les zones du bassin compliquent les interventions. Dans l'absolu, il conviendrait de pouvoir travailler chaque partie au moment précis où la croûte du sédiment devient friable, c'est-à-dire entre la plasticité et le durcissement, et ainsi provoquer son émissionnement optimal.



Photo 36 - Equipement du travail des fonds de bassin, tracteur 16-24 ch léger et chasse neige utilisés en Nouvelle-Calédonie.

La préparation du bassin se fait en fonction de l'importance des accumulations. Sur la majorité de la surface, les horizons à travailler sont peu épais. De sorte que les herses munies de dents de faible hauteur (modèle flexible ou rigide spatulé) sont les outils les mieux adaptés. Les cultivateurs ou les *chisels* munis de dents particulièrement pénétrantes sont à proscrire car ils peuvent déstructurer complètement les horizons du tanne (fissuration verticale, soulèvement et dislocation du profil original sur plusieurs dizaines de centimètres). L'emploi d'engin de tassement et d'émiétage est délicat à cause du risque de glaçage (semelle de labour). Les rouleaux plombeurs lisses enfoncent les mottes sans beaucoup les réduire. Les modèles *cruskills* réalisent un meilleur émiètement et un moindre tassement.

La reprise des zones épaisses (5-30 cm) se fait à l'aide de cultivateurs rotatifs de type rotavator munis de lames pliées en équerre ou incurvées. Ces appareils peuvent se révéler très performants quand utilisés à bon escient. Ils nécessitent une très bonne connaissance de leur effet qui est complexe. Celui-ci va dépendre du modèle (axe horizontal ou malaxeur), du nombre de couples de lames par flasque, de la vitesse de rotation (140-230 tr/mn), de la vitesse d'avancement (2-5,5 km/h), de l'inclinaison du tablier (abaissé ou relevé) et de la profondeur du travail (hauteur de relevage). Les lames découpent et disloquent la bande de terre. Si la vitesse de rotation est rapide par rapport à la vitesse d'avancement, il peut y avoir un lissage du fond et la formation d'une semelle (figure 75). Si au contraire la rotation est lente par rapport à l'avancement, elles arrachent les morceaux de terre qu'elles découpent et le lissage du fond disparaît. Elles projettent les mottes et les pulvérissent d'autant plus que la vitesse de rotation est grande, le sol sec et le volet arrière (tablier) abaissé.

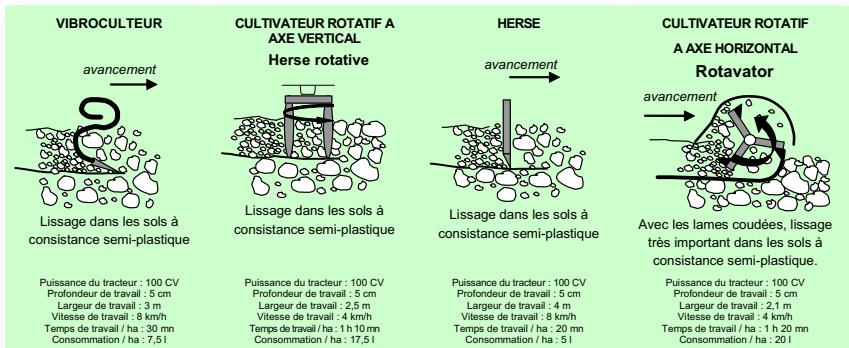


Figure 75 – Les outils pour le travail du sol : de gauche à droite en fonction de l'épaisseur croissante des accumulations (avec l'aimable autorisation de la DDR).

Il a été montré dans le chapitre précédent l'importance du taux d'humidité sur la

vitesse de dégradation bactérienne de la matière organique. Les quelques pluies significatives doivent donc être mises à profit pour effectuer de nouveaux passages d'engins dans les zones d'accumulation.

Peu de temps avant le remplissage, la dernière opération d'élimination des compétiteurs et/ou prédateurs clôt la préparation du bassin (voir chapitre précédent).

## 2.3. Mise en eau

### 2.3.1. A quelle vitesse remplir le bassin ?

La montée rapide ou lente de l'eau du bassin est sujette à controverse. Villalon (1991) recommande un remplissage progressif alors que d'autres auteurs (Clifford, 1997 ; Chien, 1992) conseillent le contraire afin de créer le plus rapidement possible un effet ombrage afin de limiter le développement d'un tapis algal indésirable.

Dans la pratique, il faut trois à quatre jours minimum pour arriver à un niveau 100 % de remplissage pour un bassin de plusieurs hectares équipé de filtres d'entrée à maille de 500 à 1 500 µm (communément 700 µm). La durée est dépendante de la puissance des pompes et du remplissage ou du renouvellement de routine des autres bassins ainsi que des matières en suspension de l'eau du canal qui peuvent déchirer les panneaux filtrants.

Lorsque l'on a le choix, il est préférable d'effectuer le remplissage à pleine marée haute en considérant que l'eau y est de meilleure qualité qu'une eau ayant séjourné sur un platier peu profond ou dans une baie boueuse confinée pendant une basse mer.

Il convient d'examiner les valeurs des paramètres de base, oxygène dissous, pH et en particulier la salinité qui augmente très souvent par phénomène d'évaporation. Il est souhaitable de se faire communiquer au préalable par l'écloserie la valeur approchée de la salinité de ses nurseries. Il convient alors de baisser le niveau du bassin quelques jours avant la date de l'ensemencement et de le remonter pour adapter la salinité. On peut également laisser se vider le bassin par percolation et/ou évaporation sans compléter son niveau au cours d'une dizaine de jours puis de le remonter les deux ou trois derniers jours afin de sauvegarder la production naturelle.

### 2.3.2. Quelle est la durée optimale de mise en eau avant ensemencement

Il est fortement recommandé de fertiliser le bassin pendant cette période en suivant notamment la procédure simplifiée de Villalon (1991). Il a été vu précédemment le gain de poids qui résultait de cette opération, en particulier en saison fraîche.

Il n'est pas conseillé de mettre en eau puis de revider un bassin (ayant déjà été en production) avant l'introduction des post-larves sauf retard de livraison entraînant un ajournement de plusieurs semaines. Cette action provoquerait un lessivage des sels nutritifs relargués par la dégradation bactérienne de la MO qui servent à favoriser le bloom initial de phytoplancton. La conséquence probable est un démarrage lent de l'efflorescence lors du deuxième remplissage avec un retard de croissance prévisible des post-larves.

### 3. Ensemencement des post-larves

#### 3.1. Cas particulier : innovation zootechnique concernant les phases nurserie et prégrossissement

##### 3.1.1. Introduction

La phase de nurserie permet classiquement de faire grossir en milieu contrôlé les post-larves de Pl 8 à Pl 20-25, c'est-à-dire de leur sortie d'écloserie jusqu'à leur ensemencement en bassin terre. Elles sont alors plus résistantes pour affronter leur nouvel environnement. Pour les besoins de la génétique, identification de différents lots ou familles par marquage à la silicium colorée, il a fallu prolonger la phase de nurserie par une seconde dite de prégrossissement jusqu'à ce que les animaux atteignent un poids supérieur à 1 g dans des bacs de 500 et 1 600 litres adaptés à la gestion de lots d'effectifs réduits (Peignon *et al.*, 2007).

##### 3.1.2. Gestion au quotidien

Les bacs sont équipés d'une crépine de surface à joint caoutchouc munie d'une toile qui retient les crevettes. La taille de la maille 500, 800 et 1000 µm, chaussettes interchangeables, est adaptée à la taille des post-larves.

##### Renouvellement, bullage et nettoyage

En nurserie, le renouvellement d'eau est appliqué de manière séquentielle. Le changement d'eau, 100 % en 3 h, a lieu tous les après-midi lorsque l'eau du réseau est la plus chaude. L'aération par diffuseur est stoppée. Après avoir attendu quelques minutes, le temps que les post-larves remontent vers les parois et la surface, un siphonage rigoureux permet de récolter les accumulations dans un tamis. Après nettoyage des crépines, le bullage est remis. Il faut alors séparer les déchets des postlarves à remettre dans le bac. En début d'élevage, cette opération est très délicate du fait de la petite taille des animaux.

En prégrossissement prolongé, à partir de Pl 40, le renouvellement d'eau administré est plus important, soit 250 % par jour, et s'étend sur la période 8 h à 15 h. Des débits de 100 % par jour en continu permettent un développement significatif du phytoplancton, mais sans qu'une amélioration significative de la survie ait été observée.

##### Alimentation

###### Alimentation proies vivantes (artémia)

En complément de l'aliment inerte, sont distribués environ 500 nauplii d'artémia par Pl et par jour jusqu'à Pl 25. Les nauplii d'artémia du jour sont répartis pour moitié l'après-midi après le changement d'eau et pour le restant, artémia de 24h, le lendemain matin.

###### Alimentation inerte

En nurserie, on utilise un aliment du commerce, Higashimaru ®, de taille variable (200 à 800 µm) en fonction de l'âge des post-larves. La ration quotidienne est donnée en 3 repas. Les restes sont contrôlés afin d'ajuster la ration par rapport à la distribution théorique de référence conforme au tableau 61.

En prégrossissement prolongé, on emploie de l'aliment type grossissement concassé tamisé sur maille de 1 mm afin d'éliminer la fine. Il rentre progressivement dans la ration jusqu'à se substituer totalement à l'aliment spécial nurserie à partir de Pl 40. La phase de transition est de 10 jours. La vérification de la consommation et le siphonage sont réalisés quotidiennement. Le besoin total prévisionnel en aliment est, pour obtenir 1 000 Pl de 1 g (à Pl 40), d'environ 2 kg répartis selon la taille de particule.

Tableau 61 - Distribution de référence, progression de 20% jour, changement de taille des particules, besoin prévisionnel (Peignon et al., 2007).

Age PI (j)	Ration journalière pour 1000 PI (g)	Taille des particules ( m )	Poids cumulé pour chaque taille de particule pour 1 000 PI (g)
PI 8	0,10	200 - 300	3
PI 18	0,62	400	5
PI 25	2,22	400 - 500	40
PI 30	5,52	500 - 800	500
PI 40	34,20	800 - 1 000	1 450

### 3.1.3. Conclusion

Les principales difficultés de ces types d'élevage sont la gestion et le contrôle de l'alimentation afin d'éviter soit le cannibalisme soit les accumulations de matières organiques réduites. Plusieurs séries d'élevage ont été nécessaires pour aboutir à une stratégie fiable et préciser les modalités de gestion des bacs de nurserie et de prégrossissement, jusqu'à PI 25 - 30 d'une part et jusqu'à une taille compatible avec le marquage d'autre part. Dans ce type de bac on a pu mesurer une progression journalière de la ration allant jusqu'à 20 % (notée PJ 20 %), avec une température variable de 21 à 28°C, et une densité moyenne de 5 PI/L. La ration (PJ 20 %) a été appliquée sur les 20 premiers jours de l'élevage. Ensuite elle a été ajustée en fonction des restes. Les survies ne sont pas affectées par la différence de densité (5 PI/L et 20 PI/L). Pour un prégrossissement en vue du marquage, la densité de 3 PI/L semble adaptée avec une survie moyenne de 66% sur 39 jours.

## 3.2. Préparation

### 3.2.1. Plongée d'inspection finale

Avant l'introduction des post-larves il est impératif d'effectuer une plongée avec une bouteille pour une inspection de l'état général du bassin et notamment des filtres de sortie :

- vérification de l'intégrité de la maille des filtres de sortie. On note trois défauts fréquents : déchirure par une pointe de schiste provenant de l'éboulement de la digue, fente issue d'un coup de cutter lors du montage du panneau, maille moustiquaire coupée trop courte ou non clouée latéralement ;
- vérification de l'impossibilité pour les plus petites des post-larves de pouvoir se faufiler dans l'espace situé entre le panneau filtrant et la gorge du moine ;
- vérification du bon calage du panneau filtrant dans sa feuillure basale (gros caillou coincé au fond de la rainure mettant le panneau cadre en porte-à-faux) ;
- vérification de l'absence de compétiteurs et de prédateurs et éventuellement pose de nasses ou de sennes.

### 3.2.2. Détermination de l'emplacement des transferts

Le responsable des bassins doit déterminer à l'aide de piquets les zones les plus favorables à l'ensemencement des post-larves en tenant compte de plusieurs critères et trouver le meilleur compromis entre :

- profondeur ;
- exposition au vent, à la houle ;
- état du fond ;
- accès au camion transporteur ;
- distance minimale des moines d'entrée et de sortie.

Il est préférable d'ensemencer les animaux en plusieurs endroits distincts afin

d'éviter une trop forte concentration (1,5 - 2,5 millions d'individus) sur une petite surface (dizaines de m<sup>2</sup>). Celle-ci engendre un fort cannibalisme des animaux ayant le plus rapidement récupéré vis-à-vis des individus stressés, retardataires ou en mue le temps que s'effectuent la dispersion et/ou le démarrage de la prise de nourriture. Il est préférable de ne pas entreprendre de renouvellement le jour de l'ensemencement de crainte d'apparition de phénomènes de concentrations d'animaux dans les buses des moines d'entrée conduisant à des hypoxies et/ou des agrégations sur les mailles de sortie provoquant leur mort par écrasement.

### 3.2.3. Pré nourrissage

Certains aquaculteurs distribuent de l'aliment la veille de l'ensemencement pour servir de démarrage à la production naturelle (fertilisation organique). Il est préférable de distribuer des fines d'aliment le jour même de l'ensemencement afin de garder les valeurs nutritives intactes et d'éviter le lessivage. Il est souhaitable qu'au moment du transfert dans le bassin, les animaux aient immédiatement à disposition de l'aliment à volonté et de granulométrie adaptée (fines et pas concassé ou granulé entier) sous peine de voir se développer du cannibalisme. Sauf exception, la méiofaune n'est pas quantitativement suffisante pour subvenir aux besoins de juvéniles présents en très fortes concentrations (centaines ou milliers d'individus/m<sup>2</sup>) dans l'aire de l'ensemencement. La distribution à la main de la ration du premier jour (plusieurs dizaines de kg de fines d'aliment) prend beaucoup de temps (environ 2 h). Il est intéressant de synchroniser (téléphone portable), le démarrage de l'alimentation au départ du camion transporteur de post-larves de l'écloserie souvent assez distante (2 - 4 heures de route). La répartition de l'aliment doit respecter celle de la biomasse des post-larves qui se déplacent plus ou moins vite selon la température. Il est commun de distribuer le premier jour 50 % de la ration (10 kg/ha) sur les deux ou trois points de transfert, puis 25 % à proximité immédiate le long des digues et le reste sur la moitié du bassin la plus proche ([figure 76](#)).

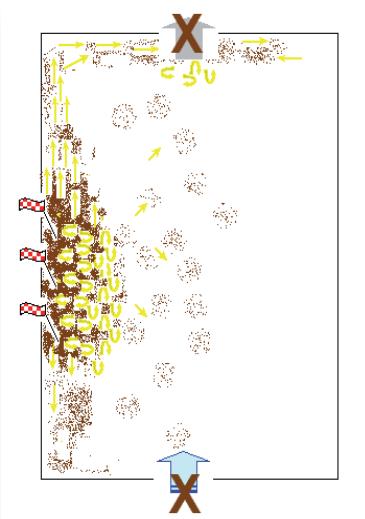


Figure 76 - Répartition de l'aliment de type fines (marron), en fonction des points d'ensemencement (drapeau damier), des entrées et sortie d'eau et du déplacement prévisible des post-larves (flèches jaunes) le jour de l'ensemencement.

Le second jour, 25 % de la ration (7,5 kg/ha) est étalé sur le ¼ à proximité immédiate des points d'ensemencement où la concentration des animaux est encore plus élevée que dans le reste du bassin et 75 % sur le reste de la surface. La gestion

de l'alimentation des 36 premières heures consiste à éviter le cannibalisme alors qu'après cette période, elle évolue vers la recherche d'une répartition homogène des post-larves en les appâtant avec l'aliment aux quatre coins du bassin.

### 3.2.4. Matériel de transfert

Le biologiste doit vérifier l'état du matériel de transport : surpresseur d'air (plus secours), plein des réservoirs des groupes électrogènes portables, étanchéité de la cuve (couvercle et vanne), fixation de la cuve de transport. Il doit prévoir un tuyau de vidange de diamètre et de longueur adéquats, muni d'un flotteur. En effet, le flux de post-larves doit se faire dans la colonne d'eau (pas dirigé près du fond), au-delà du pied de digue et sans que les animaux ne soient écrasés dans le tube.

Il doit y avoir à poste un oxymètre, un thermomètre, un réfractomètre et un pH-mètre afin de noter les paramètres de l'eau du bassin et de la cuve de livraison. Il faut également disposer de plusieurs seaux pour effectuer une éventuelle acclimatation.

## 3.3. Suivi à l'écloserie et lors du transport

### 3.3.1. Pêche des nurseries

Il est fortement conseillé au biologiste de participer à la pêche des nurseries qui alimenteront son bassin. Il est souhaitable de vérifier l'historique de l'élevage larvaire et de s'enquérir du déroulement de la phase de nurserie (survies). Il est intéressant d'observer l'état du fond des nurseries (présence de restes moisissus, mues, mortes).

Il peut participer au comptage des post-larves ([Photo 37](#)) et ainsi inspecter *de visu* le comportement des larves (nage, cannibalisme) et leur santé (dispersion de taille, vacuité des tubes digestifs, mortes, mues, mucus). Il est utile d'examiner les densités des post-larves, les teneurs en oxygène dissous, la température, l'abondance des proies vivantes (artémias) et des microparticules à chaque étape de comptage et de transferts.



Photo 37 – Comptage des post-larves à l'écloserie

Il est très important de contrôler la teneur en oxygène dissous dans les cuves au moment du départ.

### 3.3.2. Transport

Les normes de concentration préconisées sont d'environ 500 Pl/L (Villalon, 1991). Ces densités peuvent varier en fonction de la température saisonnière, de la taille et de l'âge des animaux (grosses ou petites Pl 20 - 25).

Il est fortement conseillé au biologiste de suivre le camion ([Photo 38](#)) tout au long du trajet et de pouvoir joindre la ferme en cas de problème (téléphone portable).



Photo 38 – Camion de transport de post-larves

Il est impératif d'effectuer un bref arrêt toutes les demi-heures afin de vérifier la teneur en oxygène des cuves qui doit toujours dépasser les 4 mg/L.

Il est primordial que les opérations de pêche, de transport et de transfert soient opérées le plus tôt possible dans la journée afin d'éviter les plus fortes chaleurs.

### 3.3.3. Transfert

A l'arrivée à l'emplacement du transfert dans le bassin, le biologiste doit vérifier qu'il n'existe pas de différences trop importantes entre les paramètres de l'eau du bassin et de la cuve (ce dont il a dû impérativement s'informer au préalable notamment en cas de fortes pluies). Dans la littérature il est préconisé d'attendre une heure pour acclimater de 3 % et de 1 °C. Dans la pratique on acclimate grossièrement les larves en ajoutant une dizaine de seaux d'eau du bassin dans la cuve. On privilégie généralement un transfert quasi immédiat avec un stress de manipulation le plus faible possible. Au vu des densités dans le bassin ( $20/m^2$ ) et dans la cuve ( $500\ 000/m^3$ ), on considère que plus tôt les post-larves seront dans le bassin mieux elles se porteront.

Quelques opérateurs ajoutent l'équivalent d'une boîte d'artémias fraîchement éclos au moment du transfert pour assurer un minimum de proies vivantes réputées plus salutaires pour des animaux stressés.

Certaines fermes préparent des cages tests pour contrôler la survie (Photo 39). D'autres disposent des *happas* récipiendaires (Photo 40) pour estimer la mortalité dans la cuve de transport.



Photo 39 – Ensemencement d'une cage test pour vérifier la survie 24 ou 48 h après



Photo 40 – Happa récipiendaire pour estimer la mortalité dans la cuve de transport.

## 3.4. Plongée d'observation et tests de survie

Il est important de noter pour chaque bassin toutes les observations faites sur les conditions de transfert ainsi que les informations retenues des plongées.

### 3.4.1. Plongée

En début d'après midi, le biologiste doit effectuer une longue plongée d'inspection (préférentiellement en bouteille plutôt qu'en apnée). Il est recommandé à celui-ci d'éviter de piétiner avec les palmes la zone d'ensemencement où les post-larves

peuvent être encore très concentrées, notamment dans les caniveaux situés en pied de digue. Il est intéressant de noter le déplacement des animaux. En saison chaude, des animaux en bonne santé parcourent plusieurs centaines de mètres en quelques heures. En saison fraîche, les post-larves demeurent plus longtemps concentrées aux points d'ensemencement et ont tendance à s'enfouir sur place. Le cheminement commun des larves les conduit du point d'ensemencement vers les moines de sortie en suivant les digues. Elles pénètrent moins profondément vers le milieu du bassin (vide optique) au cours du premier jour.

En absence de *happa*, il est important d'inspecter le nombre de mortes résultant du transfert aux points d'ensemencement ainsi que dans le reste du bassin. Si quelques milliers de mortes à l'endroit de l'ensemencement ne sont pas trop préoccupantes, plusieurs dizaines/m<sup>2</sup> à l'intérieur du bassin peuvent constituer un sujet d'inquiétude. Les cadavres de couleur blanche (mortes fraîches) ou rose (mortes anciennes) sont assez faciles à observer.

Il est primordial de surveiller l'activité, le comportement, la couleur, la vacuité du tube digestif des post-larves notamment en essayant de les toucher du bout des doigts. Un animal en bonne santé est transparent avec un tube digestif bien rempli et présente une réaction de fuite immédiate par saccades. Généralement, on ne distingue qu'un nuage de poussière qui décolle sans arriver à voir l'animal. Une post-larve de mauvaise qualité est opaque avec un tube digestif vide et se laisse toucher du bout des doigts sans trop réagir.

On peut vérifier que les animaux s'alimentent bien en observant les fèces (filaments beige clair) que l'on distingue bien sur le tapis algal ou sur les animaux en train de déféquer.

Le biologiste en profite pour vérifier la bonne répartition de l'aliment distribué le matin dans le bassin et éventuellement en rajouter dans la zone d'ensemencement.

Du fait de l'ajout d'aliment en grande quantité et de l'abondance de proies potentielles (les post-larves), les compétiteurs et autres prédateurs sont mieux visibles. Leur présence doit déclencher une intervention pour les contrôler.

Il est très important d'apprécier la couleur, l'épaisseur et la répartition du tapis algal benthique.

Il est n'est pas inutile d'aller contrôler de nouveau l'échappement éventuel des post-larves au niveau des moines de sortie.

### **3.4.2. Test de la qualité intrinsèque des post-larves**

Les résultats des cages de survie sont vérifiés 24 ou 48 h sur quelques dizaines de post-larves. Dans la grande majorité des cas, les survies de ces animaux pourtant confinés et mis à jeun sont proches de 100% même au-delà de 72 h. En effet, les conditions environnementales de ces enceintes positionnées dans la colonne d'eau sont plus favorables que celles rencontrées à l'interface eau sédiment (IES) au niveau des accumulations. Néanmoins, en cas de survie de moins de 70 %, on peut légitimement s'inquiéter de la qualité intrinsèque des post-larves *a fortiori* si elle est corroborée par des mortalités ou des comportements anormaux observés en bassin.

## **4. Suivi de la phase zéro à un gramme**

Le passage de la crevette au poids de un gramme (et la ration associée) est une étape importante et particulièrement bien suivie par les crevetticulteurs calédoniens car il permet de faire un premier point sur la survie du bassin.

## 4.1. Fertilisation

### 4.1.1. Stimulation de la croissance par la fertilisation

Quelle que soit la température du milieu d'élevage, les taux de croissance de *L. stylorostis* sont systématiquement supérieurs dans les bassins fertilisés par des applications raisonnées d'engrais azoté et phosphaté (Della Patrona *et al.*, 2004b) (figure 77).

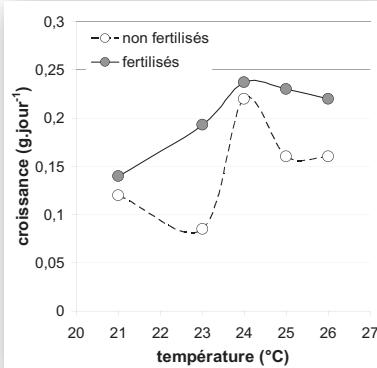


Figure 77 - Taux de croissance de *L. stylorostis* suivant la température moyenne de l'eau des élevages fertilisés et non fertilisés.

L'effet fertilisation est nettement plus important sur les trois à quatre premières semaines d'élevage pendant lesquelles le taux de croissance de l'animal est le plus élevé. Si à 28 °C un adulte croît de 18 à 19,5 g et un juvénile de 0,01 g à 0,5 g sur une semaine, soit des vitesses de croissances respectives de 0,22 g/j et de 0,06 g/j, cette façon d'évaluer la croissance ne doit pas masquer le fait que le premier augmente son poids de 8 % et le second de 98 % sur la même période.

La fertilisation permet un gain de poids relatif très important compris entre 50 et 100 % sur les 30 premiers jours, durée moyenne de la phase 0 - 1 g (figures 78 et 79). Cet effet est d'autant plus grand que les températures sont basses, en relation avec la disponibilité de la production naturelle.

Cette importance est souvent minimisée par les aquaculteurs qui ne prennent en compte que l'écart absolu de poids réel (à 30 jours il n'est effectivement que de 0,67 g ± 0,24 (n = 28) pour des animaux d'environ 1 g), différence considérée comme négligeable en comparaison des écarts (biais d'échantillonnage) enregistrés en cours d'élevage pour des animaux de taille commercialisable (18 - 35 g). Mais, ce n'est pas le gain en terme de poids qu'il faut prendre en compte pour apprécier l'importance de l'ajout d'engrais, c'est le gain en terme de jours (figures 78 et 79).

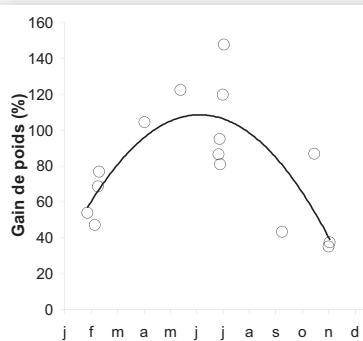


Figure 78 -Effet de la saison sur le gain de poids à 30 jours.  
Sources : 15 séries comparatives synchrones à la densité comprise entre 16,9 et 28,6/m<sup>2</sup> (SASV non publié).

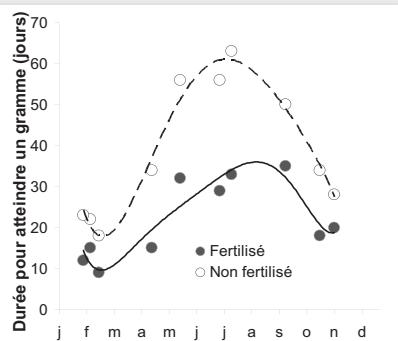


Figure 79 - Importance de la fertilisation minérale azotée et phosphatée sur la croissance initiale exprimée en nombre de jours pour atteindre 1 g. Sources : 24 séries comparatives synchrones d'élevage à la densité comprise entre 18,2 et 23,5/m<sup>2</sup> (SASV non publié).

L'avance de 10 jours gagnés sur la phase 0 - 1 g en novembre (saison chaude) grâce à la fertilisation se maintient au cours des trois mois suivants (si l'on continue à fertiliser). Elle se traduit alors par un gain de poids de  $10 * 0,225$  g/j (vitesse de croissance de croisière en saison chaude) soit 2,25 g, écart très significatif à la fin du quatrième mois d'élevage (figure 80). Le gain de poids d'un bassin fertilisé démarré en saison fraîche est de ce fait beaucoup plus important que celui obtenu en saison chaude.

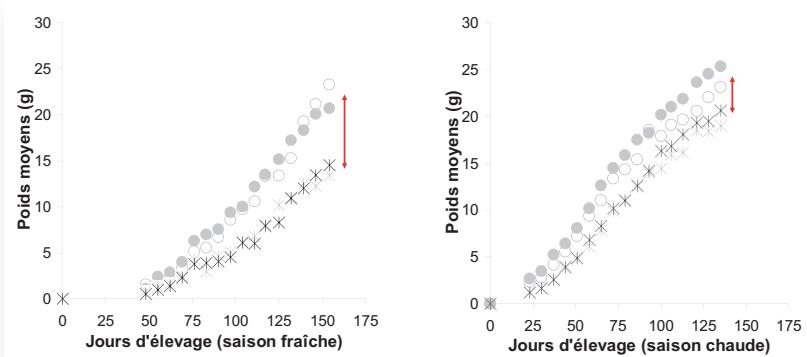
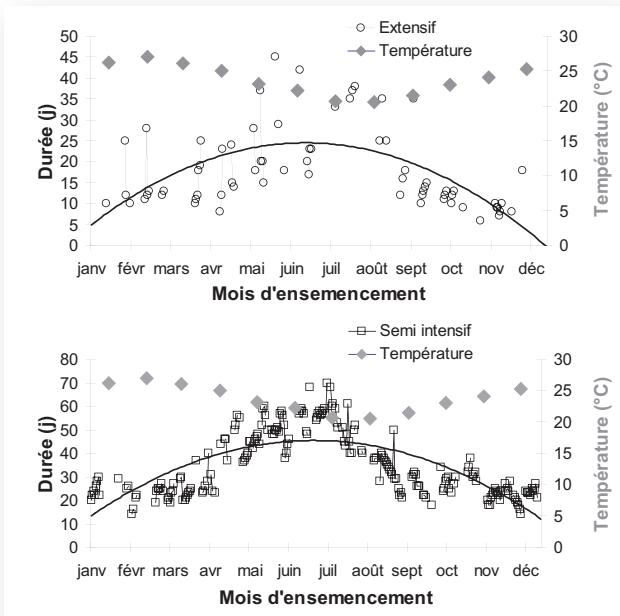


Figure 80 – Gain de poids final obtenu en pratiquant une fertilisation en aveugle à base d'urée et de TSP, respectivement 9 kg et 0,6 kg/ha/semaine (rapport azote/phosphore= 91atg-N/at-g P) dès la mise en eau et jusqu'à la récolte finale.

(Sources : Della Patrona et al., (2004b)).

## 4.2. Effets de la densité et de la température sur la croissance

Les données ont été compilées pour illustrer la relation densité-température-croissance sur la période 1988 à 1996 lorsque les élevages étaient encore lancés à toutes les saisons (figure 81). Sans surprise, la durée de la phase 0 à un gramme est réduite aux densités les plus faibles et aux températures les plus élevées.



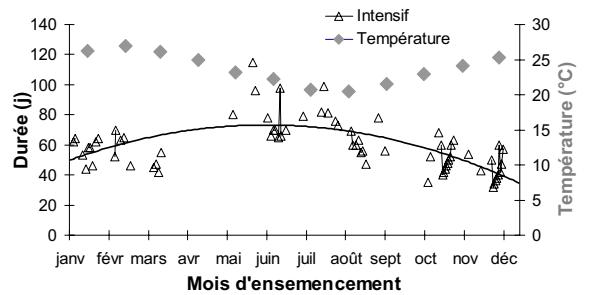


Figure 81 - Effet de la densité (extensif : 1 – 4 Pl/m<sup>2</sup> ; semi-intensif : 15 -30 Pl/m<sup>2</sup> ; intensif : 120 - 240 Pl/m<sup>2</sup>) et de la température moyenne de l'eau sur la croissance (exprimée par la durée de la phase 0 à 1 g) de *L. stylostris*. L'échelle des ordonnées pour la durée est différente à chaque graphe. L'échelle des abscisses correspond à la date d'ensemencement.

(Sources : A : 72 élevages pré-géniteurs 1-4 pl/m<sup>2</sup>, B : 339 élevages grossissements 15-30 pl/m<sup>2</sup> et 89 élevages prégrossissements 120-240 pl/m<sup>2</sup> sur la période 1988 à 1996).

## 4.3. Nourrissage

### 4.3.1. Généralités

#### Ajustement de la ration

Au cours de la phase 0 à 1g, pour des densités initiales de l'ordre de 18 à 25/m<sup>2</sup>, le nourrissage s'effectue en fonction de la surface du bassin et moins en fonction de la biomasse de crevettes. Les rations résultantes des taux de nutrition théoriques ne permettent pas de couvrir l'ensemble du bassin. La prise en compte du tonnage du cheptel présent s'effectue plutôt pour des élevages à 35 - 40/m<sup>2</sup>. L'ajustement de la ration doit se faire d'après le résultat des observations effectuées en plongées car les mangeoires (voir plus loin) ne sont pas utilisables. En effet, la granulométrie des fines et du concassé utilisés lors de cette phase ne permet pas la rétention de l'aliment sur la maille moustiquaire tendue sur les mangeoires.

Les restes de fines ne sont pas aisés à distinguer sur le fond du bassin même par les biologistes les plus expérimentés. Lorsque le phytoplancton devient dense, que le sédiment présente une texture et une couleur proche de celle du granulé (sol beige clair granuleux) et/ou qu'un épandage de croûte calcaire a été réalisé, on peut facilement confondre un fragment d'aliment avec du sédiment. Généralement, la confirmation de restes se fait lorsque des juvéniles sont aperçus en train de s'en nourrir (pas toujours le cas). Il est fortement conseillé de fixer des repères (piquets plantés) à des distances raisonnables sur un parcours qu'un plongeur pourra parcourir en ½ ou ¾ d'heure.

#### Répartition

Les fines sont distribuées à la main et une petite poignée est jetée sur ces emplacements (piquets ou bouées). Sur certaines fermes, un ouvrier à l'aide d'une bouteille plastique coupée en forme d'entonnoir, prélève les fines dans une poubelle de 60 L posée dans le bateau et les jette dans les remous du propulseur. Les avantages de cette méthode sont sa rapidité et elle ne nécessite qu'une personne. L'inconvénient est que certains lots d'aliment comportent un fort pourcentage de farines qui flottent en surface. Dans d'autres entreprises, les fines sont préalablement mélangées dans une poubelle avec un peu d'eau du bassin pour obtenir une pâte d'une certaine texture. Pendant qu'un ouvrier pilote, le second jette l'aliment sous forme de petites boulettes qui coulent directement au fond. Un des inconvénients de cette pratique est la répartition inégale des fines.

Le granulé sous forme de concassé est distribué à l'aide d'un silo (voir détail plus loin).

## Types de granulé

L'aliment est disponible sous trois principales formes : poudre ou fines, concassé ou rondelles et granulé entier. Les provendiers peuvent fournir des granulométries intermédiaires à la demande.

De l'ensemencement au poids de 0,5 g, on utilise des fines. De 0,5 à 1,2 g on distribue du concassé. Au-delà de 2 g, seul le granulé entier est utilisé. Il est recommandé d'effectuer une transition progressive sur quelques jours des différentes granulométries au moment des poids repères de 0,5 et 1,2 g. Certains opérateurs choisissent de passer le plus rapidement possible au granulé entier ( $\approx 0,7$  g) afin d'effectuer au plus tôt un meilleur contrôle de l'alimentation sur mangeoires (scénario n°1). D'autres choisissent de prolonger plus longtemps la distribution des formes les plus fines (scénario n°2) afin d'assurer une meilleure répartition de l'aliment sur la surface du bassin (la surface d'épandage d'un kg de concassé est environ 5 - 10 fois supérieure à celle du granulé entier) et de pourvoir aux besoins des queues de lot ou des plus faibles (scénario n°2).

## Stratégies de nourrissage

Bien que de nombreux travaux aient été réalisés à la SASV sur l'importance de la méiofaune comme aliment naturel des crevettes, elle n'est pas quantitativement suffisante sur certains sites particuliers pour soutenir à elle seule les biomasses mises en jeu par des densités de 18 - 40/m<sup>2</sup>. Il est donc préférable de nourrir le bassin au cours de cette phase plutôt que de prendre le risque de ne pas le faire et que se développe du cannibalisme.

En effet, il n'est pas utile d'économiser sur les quantités de fines et de concassé au cours de cette période (sans toutefois verser dans l'excès inverse). En effet, les quantités cumulées de fines ( $\approx 500$  kg) et de concassé ( $\approx 2000$  kg) distribuées au cours du premier mois d'élevage sur un bassin de 10 ha (scénario n°2) représentent seulement l'équivalent de trois jours de distributions (800 - 1000 kg/j) opérées lorsque les crevettes atteignent 17 g. Si on souhaite faire des économies d'aliment, il faut le faire sur la période des fortes rations journalières peu avant la première pêche partielle ce qui conduit de plus à une épargne de la qualité environnementale du bassin.

### 4.3.2. Taux de nutrition

Les quantités d'aliment distribuées pendant la phase de démarrage des bassins dépendent de la saison (température) et de leur richesse en production naturelle. Néanmoins, les protocoles standards suivants ont donné entière satisfaction sur les différents sites testés pour les saisons fraîche et chaude (tableaux en annexe 3 et 4 et figure 82).

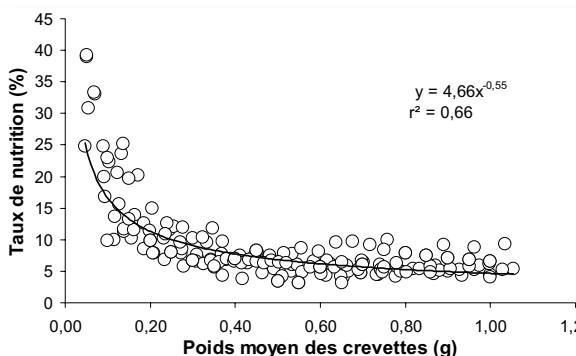


Figure 82 – Taux de nutrition pratiqués au cours de la phase 0 à 1 g sur les élevages de saison chaude.

(Sources : 10 élevages ensemencés en octobre-novembre sur la période 1997-2002 (18 - 21/m<sup>3</sup>) ayant conduit à des survies comprises entre 60 et 75%. Les taux de nutrition réels pratiqués au cours de la phase 0 - 1 g se déroulant en saison chaude sur plusieurs sites ont été déterminés par calculs a posteriori à partir des tonnages finaux obtenus en considérant une survie à 1 g de 90%. La gestion de l'alimentation est basée sur la demande du bassin au cours des dix premiers jours puis s'oriente progressivement vers un forçage de l'élevage pour passer à une ration équivalente à 5% de la biomasse au moment du passage au gramme en considérant une survie de 90%).

### 4.3.3. Suivi du tapis benthique

A défaut de pouvoir analyser l'abondance spatiotemporelle de la méiofaune et du microphytobenthos, ce qui n'est pas envisageable sur une ferme, les aquaculteurs suivent de très près l'évolution du tapis benthique en plongée. Ces observations effectuées tous les jours puis tous les deux, trois jours se limitent à trois ou quatre semaines en saison chaude et cinq à six semaines en saison fraîche. Le type de tapis et son évolution renseignent sur les conditions de l'espace vie des juvéniles et sur la bonne adéquation du nourrissage avant la pose des mangeoires.

#### Composition globale

Ce feutrage algal est caractérisé par un enchevêtrement de *Cyanophycées* (*Oscillatoria* spp. ; *Spirulina* spp. ; *Lyngbia* spp. ; *Pseudoanabaena* spp.) et de *Diatomées* (*Navicula* spp. ; *Nitschia* spp. ; *Chaetoceros* spp. ; *Pleurosigma* spp. ; *Gyrosigma* spp.) auxquelles sont associées des bactéries, des protistes (dinoflagellés, protozoaires) et des animaux qui en font sa richesse pour les crevettes. Sur ce tapis s'accumulent les détritus provenant des blooms de phytoplancton, de zooplancton et du cheptel (mues, fèces, restes d'aliment).

#### Développement initial

Le développement initial du tapis benthique diffère en fonction de la granulométrie (Tableau 62) et du pourcentage de matières organiques du sédiment (Tableau 63) (Anonyme, 1978).

Tableau 62 – Développement du tapis benthique en fonction de la texture du sol (Anonyme, 1978).

Exemples de sédiment	Sables %	Limons %	Argiles %	Texture du sol	Développement du tapis benthique
1	28	22	50	Argileux	Très abondant
2	15	44	42	Limono argileux	Abondant
3	63	14	23	Limono sableux	Faible
4	79	10	11	Sableux	Très faible

Tableau 63 – Développement du tapis benthique en fonction de la teneur en MO (Anonyme, 1978).

Teneur en matières organiques (%)	Développement du tapis benthique
>16	Très abondant
9 - 15	Abondant
7 - 8	Faible
6	Très faible

#### Types de tapis benthiques

Dans les zones réduites (caniveaux, moines de sortie, accumulations) on trouve un tapis benthique caractéristique de couleur vert bouteille (amas de *Lyngbia* spp. et *Trichodesmium* spp. en paquets de nouilles) (Photo 41) qui présente des bulles de gaz. En grattant légèrement sous cet amas on provoque un dégagement d'un nuage de suie noire qui sent généralement l'hydrogène sulfure. Le développement de ce tapis sur l'ensemble du bassin est strictement à éviter. Il traduit des conditions environnementales benthiques défavorables à la crevette. Lorsque c'est le cas, on assiste à un décollement inévitable de celui-ci par gros lambeaux où sont attachées

des plaques épaisses de sédiment réduit. Soit les lambeaux de *Trichodesmium* spp. retombent sur le fond et y pourrissent, soit ils s'agglutinent en bord de digue, soit ils colmatent les filtres de sortie en risquant de les faire éclater (Cook et Clifford, 1998). Certains aquaculteurs expérimentés arrivent à s'en débarrasser en évitant de distribuer de l'aliment sur les zones contaminées, en sous nourrissant le cheptel et en fertilisant à bon escient la colonne d'eau pour favoriser sa disparition par effet ombrage du phytoplancton.

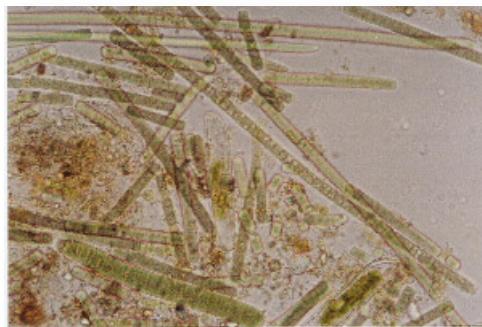


Photo 41 – Composition d'un tapis de cyano (*Oscillatoria* spp. ; *Lyngbia* spp.) en paquet de nouilles.

Sur les fonds sablo-limoneux non réduits (hauts de bassin, zones exposées au vent), on n'observe généralement qu'une fine pellicule ou des écailles de couleur beige clair ou vert pâle qui ne perdurent que quelques jours.

L'ensemble de la surface du fond de type argilo limoneux est généralement recouvert en début d'élevage par un tapis de couleur vert pomme uniforme de faible épaisseur qui renferme des bulles de gaz. Lorsque l'on écorche cette pellicule du doigt on vérifie que le sédiment sous jacent est clair (gris ou beige) et n'y adhère pas fermement.

En cas de nourrissage adéquat, ce tapis commence à se décoller par petits morceaux dès les deux ou trois premiers jours après introduction des animaux. Puis, les post-larves le déchiquêtent dans les quelques jours qui suivent. Au bout d'une dizaine de jours, en saison chaude, le tapis est percé d'auréoles de plusieurs dizaines de centimètres où l'on distingue comme des nids de post-larves sur le sédiment raboté par la bioturbation. Au bout de quinze jours le tapis benthique a complètement disparu ou ne se maintient qu'à l'état de petites écailles dans les dépressions résultant du labour.

Un surnourrissage s'accompagne par des observations préliminaires de restes frais puis jaunis d'aliment assez visibles sur le feutrage algal. Lorsque le phénomène s'accentue, on constate que les fines s'incorporent au tapis en lui donnant une coloration vert gris. Le tapis devient plus épais et prend l'aspect d'une moquette râche. On note des taches de mois de couleur grise caractéristique où, lorsque l'on racle du doigt, on fait apparaître le fameux nuage de suie noire. On note souvent à ces périodes des quantités importantes de grosses fèces, de mues, voire des mortes indiquant que les animaux sont surnourris et n'assurent plus le nettoyage du bassin. Lorsque de telles conditions prévalent, le tapis n'a toujours pas disparu au bout d'un mois et on y remarque des voiles blanchâtres au centre desquels on trouve des amas de granulé gris en train de pourrir. Si l'aquaculteur ne prend pas des mesures au cours de l'élevage pour endiguer le phénomène, il encouragera au long des six mois suivants l'apparition et le maintien d'un tapis épais de type vert bouteille à *Trichodesmium* spp. qui réapparaîtra désormais dès le démarrage de l'élevage suivant.

## 4.4. Renouvellement

Le gramme est atteint au bout de trois à dix semaines suivant la saison, soit une biomasse finale de l'ordre de 20 à 30 g/m<sup>2</sup>. De sorte que sur la base de la formule de Clifford (1992) :

$$\% \text{ renouvellement journalier} = \frac{\text{kg crevettes}}{\text{m}^2} * (100 \times \text{FR})$$

avec **FR** : facteur de renouvellement de 0,8 - 1,2 en semi-intensif

Le renouvellement à appliquer oscillerait sur la période entre 0 et 3%.

Dans la pratique, un apport d'eau plus important est souvent nécessaire pour compenser la baisse du niveau du bassin à cause des percolations et pour contrebalancer l'élévation de la salinité suite à une forte évaporation.

Du fait des fortes quantités d'aliment distribuées et souvent mal consommées sur cette période (200 à 350 kg/ha) et de la présence d'accumulations, il est parfois observé des pics de MES très importants et également des relargages d'ammoniac. Ainsi il est préférable d'effectuer tous les trois à quatre jours des renouvellements séquentiels journaliers de 15 à 20 %. L'effet chasse d'eau d'une forte vidange est plus efficace qu'un apport d'eau faible sur plusieurs jours pour l'épuration du fond.

## 4.5. Echantillonnage

### 4.5.1. Dispersion de taille

Les populations de post-larves ou juvéniles introduites dans le bassin sont très hétérogènes (petites, moyennes, grosses). On peut schématiser l'étalement des tailles par une courbe en cloche ou de Gauss (figure 83). Plus la courbe est étroite et plus la population est homogène ou encore plus le coefficient de dispersion sera faible.

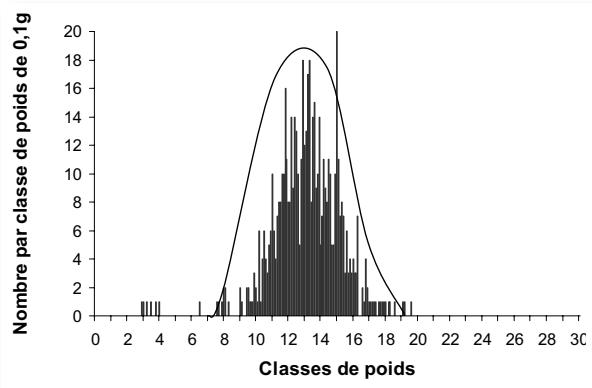


Figure 83 – Fréquence de distribution des poids individuels d'une population de *L. stylostris* en cours d'élevage (coefficients de dispersion = 16,13% ; n = 591 ; poids moyen = 13,12 g ; écart type = 2,15 ; variance = 4,63 ; bassin J SASV 11/02/2003).

Contrairement à ce que l'on pense en général, la dispersion des animaux est plus forte en début qu'en fin d'élevage (figure 84). De sorte qu'il est important de prendre un soin très particulier dans les premiers échantillonnages pour déterminer précisément le passage au gramme qui sert de référence pour comparer les élevages.

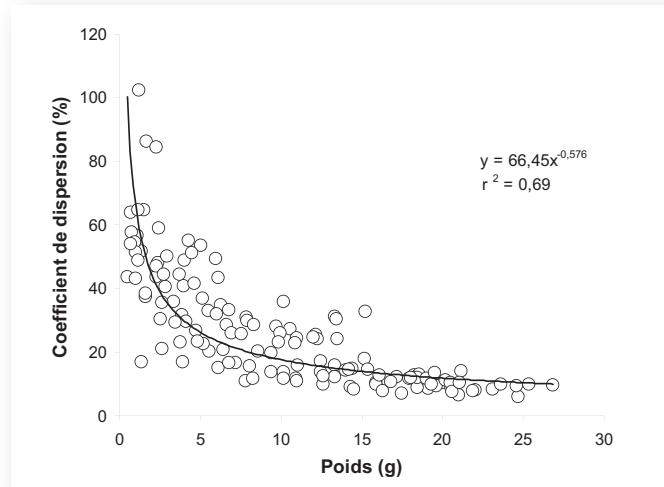


Figure 84 – Evolution de la dispersion de poids des populations de *L. stylirostris* en cours d'élevage.  
(Sources : 136 échantillonnages hebdomadaires réalisés sur 8 élevages (densités comprises entre 18 et 22/m<sup>3</sup>) ensemencés en saison fraîche et en saison chaude en conditions fertilisées et non fertilisées : SASV non publié).

#### 4.5.2. Engins de pêche

Certains opérateurs accordent peu d'importance au premier échantillonnage et le réalisent à l'aide d'un épervier à grosse maille dès qu'ils pensent avoir dépassé le gramme.

Il est préférable de standardiser le délai et les engins de pêche pour avoir de meilleurs repères d'une année sur l'autre et d'un bassin à un autre. Le premier échantillonnage après l'ensemencement est exécuté au bout de deux à trois semaines en saison chaude et de quatre à cinq semaines en saison fraîche. Pour ce premier point, quelques fermes se fabriquent un chalut dont les ailes sont constituées de maille moustiquaire. Ce premier trait de chalut est réalisé sur une vingtaine de mètres en bord de digues sur un fond plat sans cailloux, zone qu'il est intéressant de conserver d'une année sur l'autre. Cet engin de pêche minimise le poids individuel réel car la plupart des grosses crevettes s'en échappent. La CPUE (Capture Par Unité d'Effort) est très peu fiable.

Le second échantillonnage est accompli une semaine plus tard à l'aide du même chalut mais également à l'aide d'un épervier de maille 10 mm sur les cinq zones définies du bassin (voir détail plus loin). Ce modèle servira d'un bout à l'autre de l'élevage. La première CPUE de l'épervier est sous-estimée car de très nombreuses petites crevettes passent au travers de la maille. Le poids moyen est calculé en faisant la moyenne des deux engins de pêche et servira de point repère pour le passage à 1 g. Un double échantillonnage peut être réalisé la semaine suivante si le poids trouvé est très inférieur au gramme. Ensuite, seul l'épervier de maille 10 mm est utilisé.

#### 4.6. Survie à un gramme

La survie à un gramme est généralement déterminée approximativement par rétro-

calcul à la vidange finale lorsque le nombre exact des animaux récoltés est connu.

L'analyse des résultats des filières géniteurs et de prégrossissement montre une influence majeure de la température sur la survie du premier mois (voir § effet de la température sur la survie). De sorte que l'on fixe arbitrairement les chiffres de survie de 80 - 95% et de 70 – 85 % au moment du passage au gramme respectivement en saison chaude et en saison fraîche.

Pour obtenir une meilleure précision, il convient de standardiser sur tous les élevages et pour une ferme donnée :

- la méthode de nourrissage et de réajustement des rations/restes ;
- la pratique d'échantillonnage.

En recoupant les informations obtenues sur l'élevage considéré (**Tableau 64**) concernant la vitesse de croissance (poids échantillonnes correctement à trois ( $\approx 0,8$  -  $1,3$  g) et quatre semaines ( $\approx 1,5$  -  $2,2$  g)), le taux de nutrition au passage à 1 g (ration précisément consommée à cette période  $\approx 4,5$  -  $5,5\%$ ) et les prises par épervier des deux premiers sondages à celles acquises à la même saison sur d'autres bassins déjà récoltés, on peut avoir une idée plus précise du nombre d'animaux présents toutes choses étant égales par ailleurs (capacité de production intrinsèque de l'enceinte, saison)).

Tableau 64 – Exemple de recouplement d'informations pour l'estimation de la survie à un gramme

*La stricte normalisation des densités, du système de capture et du contrôle du nourrissage permettent de montrer que sur le bassin en cours : bien que ① les rations maxi passées soient identiques à celles de A et B 2005, ② les poids moyens plus élevés (effet densité sur la croissance plus forte que A et B 2005), ③ les prises par épervier moins nombreuses (abondance plus faible que A et B 2005) ④ + ② + ③ confortent la survie présumée aux alentours d'un gramme et donnent une bonne tendance pour la survie finale.*

<b>BASSIN B RESULTAT 2005</b>		
	J <sub>21</sub>	J <sub>28</sub>
CPUE épervier	75	85
ration (kg/ha/jour)	7,5	12,5
poids moyen (g)	1,1	1,8
survie 1 g	80%	
ensemencement	Octobre	
survie finale	57%	
densité	19 - 21/m <sup>2</sup>	

<b>BASSIN A RESULTAT 2005</b>		
	J <sub>21</sub>	J <sub>28</sub>
CPUE épervier	100	115
ration (kg/ha/jour)	7,5	12,5
poids moyen (g)	0,8	1,5
survie 1 g	90%	
ensemencement	Novembre	
survie finale	72%	
densité	19 - 21/m <sup>2</sup>	

<b>BASSIN A EN COURS</b>		
	J <sub>21</sub>	J <sub>28</sub>
CPUE épervier	70	75
ration (kg/ha/jour)	7,5	12,5
poids moyen (g)	1,3	2,2
survie 1 g supposée	70 - 75% ??	
ensemencement	Décembre	
survie finale	=50-55%	
densité	19 - 21/m <sup>2</sup>	

## 5. Suivi quotidien de l'élevage jusqu'à la première pêche

### 5.1. Alimentation

#### 5.1.1. Stockage aliment et conservation

##### Rappel

La qualité du granulé se détériore avec le temps au cours du stockage. Afin que le cheptel bénéficie des ingrédients au maximum de leur qualité nutritive intrinsèque, il est conseillé d'utiliser le granulé le plus rapidement possible. Les facteurs environnementaux comme le taux d'humidité, la température, la lumière et l'oxygène influencent la qualité de la nourriture artificielle. Ils provoquent des modifications chimiques des principaux composants et/ou une diminution de leur teneur. Ils agissent indirectement sur la prolifération des insectes, des champignons et autres nuisibles (Roessink, 1989). Les principaux facteurs qui induisent des baisses de qualité et/ou de quantité de granulé sont :

- la pluie, la condensation et les fortes températures ;
- le feu et les nuisibles (rats, souris, cochons, oiseaux, etc.) ;
- la présence et la multiplication des insectes (charançons, cafards, etc.) ;
- le développement de champignons (mycotoxines) ;
- les réactions enzymatiques et le phénomène oxydatif de rancissement.

#### Principes de bases

##### Local

Il est nécessaire d'acquérir un conteneur reconditionné, un silo ou de construire un bâtiment, endroit propre, bien aéré et fermant à clé. Il faut éviter les zones en contrebas où des flaques d'eau peuvent se former. Il faut s'assurer que le toit soit bien étanche (ou fixé, cf. silo) et que le plancher soit situé au-dessus du niveau d'une éventuelle inondation (pluie cyclonique). Il doit disposer de points d'entrée d'air pour assurer une ventilation. Des fenêtres ne sont ni nécessaires ni recommandées. Les ouvertures d'air doivent être positionnées en bas du côté des vents dominants et en haut du côté opposé. Il est recommandé d'orienter le local longitudinalement par rapport aux alizés (sud-sud est). Il faut s'assurer que tous les points d'entrée soient grillagés afin d'éviter l'entrée des rongeurs et des oiseaux. Le principe de base est plus sec et plus frais est le local, meilleure est la conservation du granulé. Il est très vivement conseillé d'employer un ou plusieurs chats pour contrôler les rongeurs.

Le bon sens recommande que le local ne serve pas de lieu de rangement à d'autres produits incompatibles tels que la roténone, le chlore, les engrains, la peinture, l'essence, l'huile des propulseurs, etc.

##### Livraison

Il est important de planifier très en avance les besoins auprès du provendier, les livraisons d'aliment par le transporteur et la rotation des stocks au cours du cycle de production. Les arrivages de granulé doivent être soigneusement inspectés notamment en cas de pluies. Des sacs mouillés pendant le transport conduisent à des développements bactériens et de champignons produisant des toxines (aflatoxines). Quelques sacs pris au hasard doivent être examinés. Les sacs percés et/ou infestés d'insectes doivent être mis de côté pour être échangés. Il est conseillé de vérifier épisodiquement leur poids (25 ou 30 kg ± maxi 500 g !) ainsi que le

pourcentage de fines qu'ils contiennent. Il ne faut pas stocker de trop grandes quantités d'aliment (plusieurs mois) du fait de la perte des propriétés nutritionnelles, notamment des vitamines, exacerbée en conditions de confinement, températures élevées et fort taux d'humidité. Généralement, ce phénomène est prévu et compensé par les provendeurs qui incorporent des teneurs plus élevées en vitamines et anti-oxydants et emploient les formes les plus stables de ces ingrédients. Ils ajoutent également, en concentrations importantes, des agents anti-fongiques. Néanmoins, il est important que les sacs soient protégés du soleil (camions bâchés). Car un important pourcentage de vitamines peut être perdu en quelques minutes par exposition directe des sacs aux U.V. (Jory *et al.*, 2001). Cependant, il faut prévoir une marge de sécurité qui dépend principalement de la consommation hebdomadaire mais qui prend en compte les conditions d'accès du site (distance de la ferme à l'usine d'aliment, état de la piste/route) qui est fonction des conditions météorologiques qu'il faut anticiper

### Gestion du stockage

Il faut maintenir le local propre en balayant très régulièrement les murs et le plancher. Les grains tombés au sol et contaminés doivent être éliminés. Les sacs récents déchirés doivent être utilisés en premier. Il est impératif de nettoyer le local avant chaque nouvel arrivage. La gestion de base est d'utiliser en premier les sacs qui ont été stockés depuis le plus longtemps. En principe, le granulé doit être utilisé dans les trois quatre semaines qui suivent sa fabrication et ne doit pas être conservé plus de deux ou trois mois. Les sacs doivent être rangés soigneusement sur des palettes en bon état (vérifier au préalable les clous qui dépassent, les planches cassées) afin d'éviter tout contact avec le sol. Idéalement, les piles doivent être à une distance d'environ 45-50 cm des murs pour permettre une ventilation adéquate, le nettoyage et la pose des pièges à rongeurs. Il est conseillé de ne pas empiler plus de dix sacs. Il faut maintenir séparés et clairement identifiés les différents types d'aliment. Une attention particulière doit être apportée en cas d'utilisation d'aliments médicamenteux. Il faut organiser le stockage pour éviter les trop nombreuses manutentions des sacs qui doivent se faire en douceur. Bien que les sacs soient solides ils ne sont pas indestructibles. Par ailleurs, elles peuvent conduire à des productions croissantes de fines (grains cassés) qui constituent autant de pertes de chiffre d'affaires. Il est recommandé d'interdire au personnel de dormir, de boire ou de manger sur les piles de sacs. Il est préférable que du personnel spécialisé soit employé pour la désinsectisation (vaporisation, fumigation) afin de ne pas contaminer les sacs car les crevettes sont très sensibles aux insecticides.

### Bassin

Suivant les fermes, la ration journalière est transportée en une ou plusieurs fois du dock au bassin. Il convient alors de déposer les sacs dans un endroit adapté en conservant les mêmes précautions (protection du contact avec le sol et de la pluie) et de ne pas les laisser en plein soleil (UV) pendant plusieurs heures. Il n'est pas conseillé de remplir les silos des bateaux trop à l'avance dans la journée (surtout par jour de pluie) et notamment le soir pour le lendemain. Il convient d'examiner l'intérieur de la cuve avant de distribuer. Des fuites accidentelles d'eau du toit à l'usine conduisent parfois à la présence d'agglomérats dans les sacs qui bouchent ensuite les évacuations des réservoirs à granulés. Par ailleurs, des restes d'étiquettes et/ou de fils des coutures des sacs sont également problématiques en cours d'opération.

Il est important d'archiver les différents lots d'aliments qui sont distribués chaque jour sur chaque bassin en conservant les étiquettes des sacs. Outre la vérification du fait que la quantité d'aliment prévue a bien été distribuée sur le bassin, cette

démarche permet de pouvoir relier la qualité de l'aliment (N° de lots) à certains événements, forte baisse de croissance ou mortalité des crevettes (comme dans le cas d'un surdosage d'insecticide malathion décrit par Della Patrona, 2000).

## Composition proximale et tenue à l'eau

Des analyses portant sur la composition proximale des ingrédients, sur la présence de mycotoxines et sur les teneurs en insecticides doivent être réalisées plusieurs fois par an.

Par le passé, d'importants problèmes de liants ont conduit à des indices de conversion anormalement élevés (Della Patrona, 2005). Aujourd'hui, la formulation et le *process* des provendiers locaux conduisent à une bonne stabilité à l'eau du granulé. Il est cependant nécessaire d'effectuer des contrôles de routine sur différents lots. Les exigences des aquaculteurs en la matière sont très variables, la durée au bout de laquelle ils souhaitent qu'un granulé reste entier varie entre 2 et 14 h. Il est important de ne pas faire l'amalgame entre le contenu et la forme du granulé. Si la forme d'un granulé n'est toujours pas altérée au bout d'une dizaine d'heures, il se produit cependant une perte extrêmement rapide des nutriments après son immersion (Cuzon *et al.*, 1982) ([Tableau 65](#)).

Tableau 65 – Pertes de nutriments d'un granulé après immersion d'une heure.

Nutriments	Teneur initiale	Teneur au bout d'une heure	Pertes (%)
matière sèche (%)	100	81	19
protéines (%)	52	41	21
hydrates de carbone (%)	16	8	50
vitamine C (mg/kg)	3 089	332	89
thiamine (mg/kg)	29,5	0,7	98
riboflavine (mg/kg)	55	7,5	86
pyridoxine (mg/kg)	14	1	93
panthothenate (mg/kg)	100	5,9	94
niacine (mg/kg)	120	17	86
inositol (mg/kg)	4 000	1 928	52
choline (mg/kg)	3 368	1 385	45

De sorte qu'une tenue à l'eau de 2 heures, qui correspond à un granulé possédant encore quelques vertus nutritives, semble amplement suffisante sachant que la plupart des attractants auront déjà été dilués (Fox *et al.*, 2001). La gestion de l'alimentation du cheptel, sur la base d'observations de restes de consommation de granulé ayant séjourné de 4 à 14 h, a peu de sens si ce n'est de chercher à enrichir le bassin par une fertilisation organique hors de prix.

Les tests de tenue à l'eau s'effectuent très simplement en déposant au fond d'un verre d'eau de mer une dizaine de granulés entiers. On vérifie ensuite la couleur de l'eau et l'intégrité des grains tous les ¼ heures (la première heure) puis toutes les ½ heures la deuxième voire troisième heure. Si au bout de la première demi-heure, l'eau se colore en jaune-marron et/ou la majorité des granulés éclatent en éponge, le lot doit être remplacé par le provendier.

### 5.1.2. Distribution sur bassin

#### Engins de distribution

Au cours de ces vingt dernières années plusieurs engins ont été utilisés. Dans les unités de plusieurs hectares, les granulés ont été distribués à la pelle ou à la main, à l'aide d'un silo, ou d'un épandeur à moteur thermique à partir d'embarcations

motorisées (Photo 42). Sur des enceintes plus réduites, des *blowers* montés sur des véhicules tout terrain ont montré un certain potentiel. Plusieurs prototypes d'engins amphibies et d'hydroglisseurs ont également été testés.



Photo 42 – Catamaran aluminium et son silo amovible sur une ferme familiale. Intérêts : facilités à charger, à maintenir propre, confort. Inconvénients : prix, manœuvrabilité pour remonter les mangeoires, une unité/bassin.

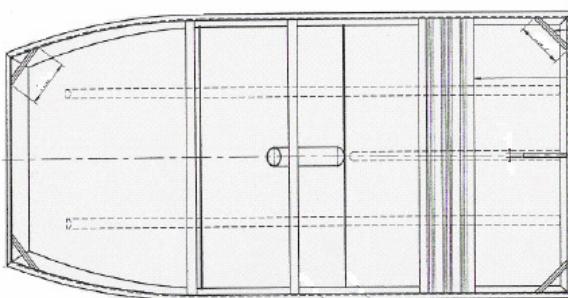
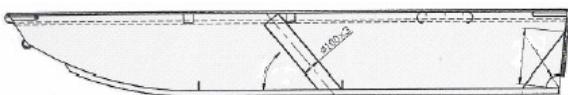


Figure 85 – Plan d'une plate aluminium avec déversoir dans un puit central avec inclinaison optimale. Intérêts : fonctionnalité, fiabilité, stabilité et répartition. Inconvénients : une unité/bassin, difficultés à maintenir propre, reprise des fines par le propulseur, plate non réutilisable.

A l'heure actuelle, les fermes sont équipées de catamaran en aluminium de 3,8 - 4,0m x 2,0 m ou d'embarcations en aluminium 3,2 - 3,5 m x 1,5 - 1,7 m (figure 85), fibre ou bois fibré à fond plat, plate ou en « aile de mouette » de 3 à 3,75 m sur chacun de leur bassin. Les bateaux sont munis de silos de contenance comprise entre 200 et 400 L. Compte tenu du poids des embarcations (>100 kg), de l'opérateur (75 kg) et du silo (200 kg), la motorisation nécessaire est d'environ 15 ch (moteur 2 temps, rarement 4 temps). Bien que gourmand en matériel (un/bassin), en personnel, en carburant, en logistique (transport, chargement) et en temps, ce système de distribution demeure le plus fiable.

Afin de faciliter le chargement et la durée de vie des embarcations, la plupart des fermes sont équipées de pontons dont la hauteur est calculée pour faciliter le chargement du silo tout en ayant une posture ergonomique. D'autres ne disposent que de rampes de mises à l'eau sommaires qui sont plus contraignantes pour les hommes (problèmes lombaires) et le matériel (fond de la plate).

## Points de vigilance

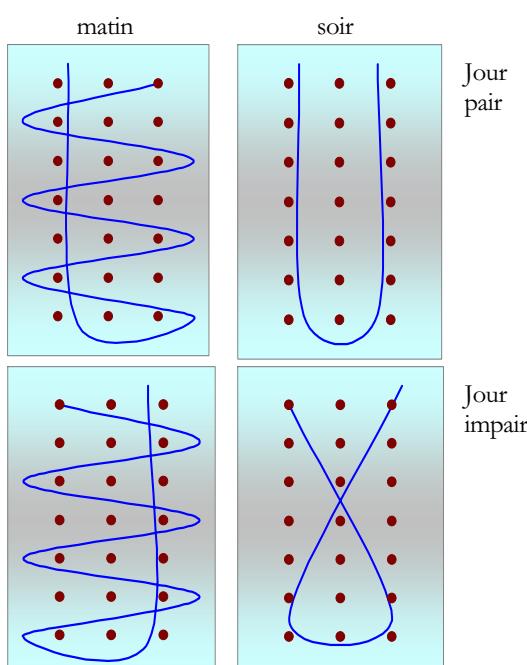
Afin d'améliorer la longévité des propulseurs, il est possible de placer un déflecteur sur l'embase ce qui empêche une reprise des fines d'aliment. Il est judicieux de disposer d'un stock important de bougies, de goupilles et d'hélices de rechange pour faire face aux pannes les plus communes. Il est impératif de disposer d'un propulseur de secours prêt à l'emploi (rodé). A la fin de la saison, il convient de faire systématiquement changer la pompe à eau en routine, système de refroidissement qui préserve d'un serrage, cause la plus fréquente de mort du moteur. Il faut également bien régler l'assiette du propulseur en conditions de fonctionnement standard afin de ne pas le faire forcer.

On rappelle que le choix d'un modèle tige courte ou tige longue de propulseur se fait en fonction du tableau arrière ( $\pm 30 - 40$  cm) du bateau et non pas de la profondeur du bassin ( $\pm 70 - 120$  cm).

Compte tenu des éventuels problèmes d'électrolyse, il ne faut pas laisser d'objets métalliques dans les embarcations en aluminium, *a fortiori* celles dont l'épaisseur de tôle est inférieure à 1,5 mm.

Il est recommandé de nettoyer soigneusement l'intérieur du bateau après chaque distribution (seau d'eau, écope, éponge) afin d'éliminer tous les granulés qui y pourrissent rapidement. Le nettoyage de l'intérieur du silo, des vannes et des déversoirs est opéré en fin de journée afin qu'ils soient secs et propres pour le lendemain.

## Epannage



*L. stylirostris* a tendance à se répartir de manière non homogène et à se concentrer en bancs notamment dans les bassins peu profonds (Clifford, 1998). De sorte que la bonne répartition du granulé est essentielle pour limiter ce phénomène de grégarisme ou *clustering/patching* qui induit un stress favorable à l'apparition des *black spots* et aux vibrioses (Villalon, 1991). En début d'élevage, il est conseillé de distribuer l'aliment sur toute la surface du bassin en suivant des chemins de distribution adéquats repérés par des piquets

(figure 86) (Clifford, 1992 ; Zendejas, 1994).

Figure 86 – Propositions de chemins de distribution d'aliment qui diffèrent d'un jour à l'autre et du matin à l'après-midi. Les points représentent les emplacements des piquets (Clifford, 1992, Zendejas, 1994).

Au fur et mesure que l'élevage progresse, des zones d'accumulations peuvent (ré)apparaître ce qui peut provoquer des modifications du comportement alimentaire de *L. stylostriatus* dans le temps et dans l'espace. Ce phénomène intervient également après les pêches partielles qui perturbent la distribution des animaux, les crevettes évitant de se nourrir dans les zones où se produisent des dégagements de substances toxiques telles que H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> ou NO<sub>2</sub> (Jory *et al.*, 2001). Ces changements qui deviennent très sensibles en fin d'élevage doivent inciter l'éleveur à modifier les trajets de distribution d'aliment en conséquence.

La bonne répartition nécessite également un bon réglage de la vanne d'ouverture du silo. Cette vanne doit être étalonnée au préalable en fonction des doses à distribuer et du temps nécessaire compte tenu de l'organisation du travail. On considère que 75 - 100 kg est la quantité minimale d'aliment que l'on peut arriver à distribuer uniformément sur un bassin de 10 ha, la durée optimale variant entre ½ h et 1 h ¼ pour épandre une ration comprise entre 100 et 225 kg (pose des mangeoires exclue).

Afin d'éviter le gaspillage de granulé, il est recommandé de ne pas effectuer de passages en bateau à moins d'une dizaine de mètres des digues (caniveaux, pente des digues), d'une vingtaine de mètres des moines de sortie (zones réduites), dans les zones peu profondes des hauts de bassins (schiste dur) ou accumulations (bris d'hélice, remous de boues toxiques, peu ou pas de crevettes).

### **5.1.3. Fréquence et horaires de distribution**

#### **Mode de nutrition des pénéides**

Le comportement des crevettes *L. stylostriatus* observé au cours des nombreuses heures en plongée fait inévitablement penser à celui des poules dans une basse-cour. Ces animaux passent leur temps à gratter le sédiment pour y trouver de la nourriture, seuls ou par petits groupes, se disputant les mortes, les mues ou autres détritus organiques. Le démarrage du propulseur annonçant la distribution de granulé provoque un réflexe pavlovien de surexcitation. L'ensemble de la biomasse des crevettes se met à émettre des cliquetis et à agiter les antennes. Elles se précipitent en masse derrière la plate pour essayer d'attraper un granulé, lâchant alors la mue ou la morte qu'elles étaient en train de dévorer. En effet, la partie antérieure de l'œsophage des crevettes pénéides possède un très petit volume de sorte qu'elles doivent se nourrir constamment pour subvenir à leurs besoins (Jory *et al.*, 2001). En conditions de bassins, *Farfantepenaeus subtilis* présente un estomac vide moins de quatre heures après la prise d'un repas (Nunes et Suresh, 2001).

Il convient donc de fractionner la ration journalière des pénéides d'élevages en plusieurs repas afin d'améliorer le taux de conversion, la croissance et de réduire les accumulations de granulés non consommés qui détériorent les conditions de l'espace vie de l'animal.

#### **Intérêt du nourrissage de nuit**

On pense souvent que les pénéides sont plus actives la nuit. Ainsi, certains aquaculteurs ont été tentés (Della Patrona, 2005), et d'autres le sont encore, de nourrir la nuit dans le but d'améliorer la croissance et/ou l'indice de conversion.

D'un point de vue expérimental, Roberston *et al.*, (1993a) ont montré qu'un nourrissage de jour conduisait à une croissance légèrement supérieure à celle obtenue de nuit chez *L. vananmei* à 40/m<sup>2</sup>. A l'opposé, Scura (1995) rapporte une croissance 60% plus forte chez la même espèce nourrie de nuit.

Dans la pratique, le surcoût de la main d'œuvre de nuit et de son encadrement, les risques avérés d'accidents corporels et de bris de matériel (collisions, piquets, digue,

aérateurs), la moins bonne répartition opérée de nuit apparaissent rédhibitoires.

Compte tenu de ces résultats contradictoires obtenus chez *L. vannamei*, espèce la plus proche de *L. stylirostris*, et des risques encourus, il ne semble pas justifié de distribuer la nuit.

## Fréquence de nourrissage

### Réflexions préalables

Il est communément admis par les aquaculteurs que les indices de conversion, la croissance, la pollution du bassin sont minimisés avec l'augmentation du nombre des rations par jour. Cette réflexion est notamment étayée par les essais menés en conditions expérimentales hyper intensives ( $120 \text{ Pl/m}^2$ ) avec jusqu'à 18 distributions par jour (Gauquelin, 1996). De sorte que les aquaculteurs ont été tentés par le passé (Della Patrona, 2005) et certains le sont encore aujourd'hui de mettre en place le maximum de distributions dans la journée voire la nuit. Mais comme le souligne Tacon (1996), il faut extrapoler prudemment à un bassin de terre en conditions semi intensives, des essais menés en aquarium à l'échelle de la semaine sans production naturelle à des densités hyper intensives où les restes de granulés sont siphonnés. Le nombre de rations doit rester dans le domaine du raisonnable compte tenu de la taille des bassins et des moyens pour les alimenter.

Concrètement, on doit recentrer le débat sur la question suivante : existe-t-il un effet significatif sur les paramètres zootechniques entre deux, trois, quatre, voire cinq ou six rations journalières?

### Eclairage par la littérature

Deux publications semblent apporter un bon éclairage d'une bonne réponse sur l'effet de la fréquence de nourrissage sur la qualité de l'eau et la croissance des pénéides.

Dans cette étude (Tableau 66), il apparaît que le nombre de rations journalières influe sur la vitesse de croissance de *L. vannamei*. La différence est sensible entre une ration et quatre mais peu évidente entre deux et quatre. Les animaux poussent plus vite lorsqu'ils sont nourris le jour plutôt que la nuit.

Tableau 66 – Poids final, gain de poids hebdomadaire, taux de croissance instantané et survie de *L. vannamei* nourrie une, deux et quatre fois le jour ou la nuit (Robertson *et al.*, 1993a).

(Sources : crevettes de poids initial de 6,7g dans des cages en bassins de terre à  $40/\text{m}^2$ , durée 8 semaines).

Nombre et période de nourrissage	Poids final (g)	Gain de poids sur la semaine (g)	Taux de croissance instantané (%/jour)	Survie (%)
1 - jour	$16,6 \pm 0,7$	$1,24 \pm 0,07$	$1,63 \pm 0,08$	$75,6 \pm 11,5$
1 - nuit	$16,4 \pm 1,0$	$1,21 \pm 0,11$	$1,60 \pm 0,11$	$74,0 \pm 08,8$
2 - jour	$17,2 \pm 0,7$	$1,32 \pm 0,07$	$1,69 \pm 0,07$	$75,2 \pm 08,9$
2 - nuit	$16,5 \pm 0,8$	$1,23 \pm 0,09$	$1,62 \pm 0,09$	$73,0 \pm 12,5$
4 - jour	$17,4 \pm 0,6$	$1,34 \pm 0,06$	$1,71 \pm 0,06$	$78,2 \pm 12,0$
4 - nuit	$17,3 \pm 0,7$	$1,33 \pm 0,07$	$1,70 \pm 0,07$	$73,2 \pm 08,2$
0	$8,3 \pm 0,6$	$0,20 \pm 0,05$	$0,12 \pm 0,04$	$61,4 \pm 09,0$

Le test présenté dans le tableau 67 montre qu'il n'y a aucun effet de la fréquence de nourrissage effectué entre trois et six fois/jour sur la croissance, la survie ou l'indice de conversion de *P. monodon*. Il confirme également les observations de Velasco *et al.*, (1999) qui n'ont pas trouvé de différence significative entre une et quinze rations journalières chez *L. vannamei* (0,5 g) en culture hyper intensive type *zero water exchange*.

Tableau 67 - Poids final, gain de poids hebdomadaire, biomasse finale et survie de *P. monodon* nourrie de trois à six fois le jour (Smith *et al.*, 2002).

(Sources : bac 2500 L, densité 25/m<sup>3</sup>, durée 8 semaines, aération).

Nombre de rations/jour	Poids initial (g)	Poids final (g)	Gain de poids sur la semaine (g)	Survie	Biomasse finale par bac (g/m <sup>3</sup> )	Indice de conversion
3	5,6	16,8	1,4	84	353	2,1
4	5,5	16,8	1,4	85	357	1,9
5	5,6	17,2	1,5	84	360	2,0
6	5,6	16,9	1,4	84	357	2,1
± SEM	0,05	0,28	0,04	3,4	45	0,1

La littérature semble indiquer qu'il n'existe pas de différences flagrantes entre nourrir de deux à six fois par jour.

## Plaidoyer pour une standardisation du nombre de ration et du relevé des mangeoires

### Système traditionnel

Dans le tableau de nourrissage de Clifford (1997) (Tableau 68), et dans le contexte social d'Amérique centrale avec un emploi bon marché, on constate que le nombre de rations augmente avec les quantités croissantes de nourriture ce qui semble cohérent. Néanmoins, ceci demande une très bonne organisation du travail. En effet, dans le cas de fermes qui présentent plusieurs bassins ensemencés à des dates différentes, le biologiste pourra être amené à gérer du personnel qui distribue un bassin A en 3 fois (8h 10h30 et 15 h en Nouvelle-Calédonie) et un bassin mitoyen B en 4 fois (7h30 9h30 13h30 et 15h30 en NC), soit des horaires rapidement incompatibles pour un travail en binôme (contexte social de Nouvelle-Calédonie ; main d'œuvre chère).

Tableau 68 – Stratégie de nourrissage selon Clifford (1997).

Période d'élevage	Horaires	Ration	% ration totale
0 - 30 jours	08h00	A	50
	15h00	B	50
31 - 90 jours	08h00	A	30
	15h00	B	40
	22h00	C	30
91 jours à la vidange	08h00	A	20
	11h00	B	20
	15h00	C	35
	22h00	D	25

La proposition de Clifford (1997) fait abstraction du relevé des mangeoires. Si on considère qu'elles sont remontées après la première et/ou après la seconde ration, on note que le contrôle de l'alimentation porte alors sur des fractions de la ration journalière (RJ) totale très variables : 50 %, 30 % et 20 % de la RJ (relevé n°1) et/ou sur 50 %, 70 %, 40 % de la RJ (relevé n°2) du début à la fin de l'élevage. Ce qui ne permet pas de standardiser au cours de la durée de l'élevage un système d'évaluation approchée (boîte noire) de la consommation du cheptel et donc un réajustement rapide et proportionné des rations.

Par ailleurs, les horaires décalés des distributions vont fournir au biologiste des retours d'informations des mangeoires dispersés dans la journée. La perception fine de la consommation du cheptel et le réajustement subséquent le jour même deviennent alors un véritable casse-tête, *a fortiori* si le relevé des mangeoires porte sur des pourcentages de rations journalières différents et/ou des temps de relevé variables.

### Quelques propositions

Dans le contexte de la Nouvelle-Calédonie, il semble peu raisonnable d'essayer de dépasser quatre rations journalières. Il peut donc sembler paradoxal de comparer les stratégies en deux, trois ou quatre rations car elles conduisent toutes les trois aux

mêmes indices de conversion, vitesses de croissance et pollution du milieu, en conditions expérimentales.

Toutefois, prenons l'exemple concret de la distribution de 450 kg à répartir sur un bassin de 10 hectares. On rappelle que 45 kg/ha/jour est la limite à partir de laquelle le bassin peut connaître des problèmes de teneurs en oxygène (Boyd, 1995a). Selon Hopkins *et al.*, (1991), l'introduction d'une telle ration dans le bassin nécessiterait déjà, ce qui n'est pas respecté dans les fermes, 3,3 ch/ha d'aération pour maintenir une teneur de 3,5 mg/L à 28 °C à l'aube. Cette ration est atteinte dès la fin du second mois d'élevage, vers le poids de 7 - 8 g pour un bassin de saison chaude ensemencé à 20/m<sup>2</sup> qui présente une très bonne survie.

## En deux rations

### Répartition : type 1/2 - 1/2

Remontée des mangeoires le matin sur 50 % de la ration journalière, 2 h après distribution.

9h	15h
225 kg	225 kg

### Répartition : type 1/3 - 2/3

Remontée des mangeoires l'après midi sur 1/3 de la RJ, 4 h après ou le lendemain, 16 h après distribution.

9h	15h
150 kg	300 kg

Avantage : permet d'économiser de la main d'œuvre et du personnel par rapport à 3 et 4 distributions/jour.

Inconvénients : dès le deuxième mois, on inflige au bassin des rations ponctuellement très importantes conduisant (hors aération) à des DBO subséquentes extrêmement fortes. Dans le cas d'une ventilation en 4 rations/j, la ration maximale apportée (225 - 250 kg) ne serait apportée qu'au quatrième mois d'élevage. Il devient rapidement impossible de distribuer des quantités (> 225 kg) en une seule fois (capacité du silo, puissance propulseur). Dans la répartition type 1/3 - 2/3, la deuxième ration se transforme rapidement en une double ration cumulée. Après avoir vidé son silo chargé au maximum, l'ouvrier, soit recharge à partir de sacs stockés dans le bateau (surcharge dangereuse + sacs mouillés), soit revient à l'embarcadère pour repartir immédiatement. La durée de la distribution devient très longue et la portée des informations sur l'observation des restes sur mangeoires de moins en moins précise. La seconde répartition ne permet pas un réel contrôle de l'alimentation du fait des durées de relevé trop importantes 4 h et/ou 16 h. Elle s'apparente à un nourrissage *ad libitum*.

## En trois rations

### Répartition égale : type 1/3 - 1/3 - 1/3

Remontée des mangeoires le matin sur 1/3 de la RJ, 2 h après et/ou l'après midi sur 1/3 RJ, 2 h après distribution.

#### Cas n°1

8h	10h30	15h
150 kg	150 kg	150 kg

### Répartition inégale

Remontée des mangeoires le matin 2 h après la première ration et/ou l'après midi après la deuxième ration.

#### Cas n°2

8h	10h30	15h
125 kg	100 kg	225 kg

#### Cas n°3

8h	10h30	15h
225 kg	100 kg	125 kg

#### Cas n°4

8h	10h30	15h
175 kg	100 kg	175 kg

Avantage : pas de réelle économie de main d'œuvre et de personnel *vs.* 4/jour mais un confort d'organisation. Il vaut mieux faire bien en trois que mal en quatre rations.

Inconvénients : les rations mises en jeu sont conséquentes (150 - 225 kg) et conduisent à des DBO prématurément fortes. L'interprétation des restes sur mangeoires et le réajustement de la ration peuvent devenir rapidement complexes complexes si on oscille au jour le jour :

- entre une gestion à répartition égale (cas n°1) et inégale (cas n°2 à 4) ;
- entre une interprétation après le premier ou le second relevé de mangeoires.

#### Cas n°1 : épargne environnementale

La ventilation en trois  $\frac{1}{3}$  minimise l'effet « forte DBO » et soulage la capacité de digestion du bassin. Les observations de restes sur les mangeoires sont peu informatives de l'appétit des animaux. Le relevé du matin, ( $\frac{1}{3}$  de la ration journalière RJ), sous-estime et le second ( $\frac{2}{3}$  RJ) surestime la consommation. Deux observations quotidiennes de mangeoires sont donc impératives mais représentent un luxe (temps) que peu de fermes peuvent se permettre.

#### Cas n°2 : réserve pour la nuit

Cette stratégie est basée sur le fait que l'on suppose que les animaux vont rester sans manger toute la nuit (absence supposée d'une production naturelle prenant le relais). De sorte que l'on en met un peu plus plus à la dernière ration. Une quantité plus importante de nourriture le soir va conduire à une DBO nocturne exacerbée (respiration phytoplanctonique additionnelle). Le relevé du matin ( $<\frac{1}{3}$  RJ) n'a aucun intérêt sauf de retrouver des restes de la veille (gestion en surnourrissage !). Le second est informatif sur la consommation de 50 % RJ ventilée en deux rations mais ne préfigure pas des restes que l'on pourrait observer sur la ration du soir (225 kg) donnée en une seule fois.

#### Cas n°3 : fringale du matin

Cette stratégie est basée sur le fait que l'on suppose que les animaux sont restés sans manger toute la nuit. De sorte que l'on en met un peu plus à la première ration. Une quantité plus importante de nourriture le matin est souvent très problématique en saison chaude où les teneurs en oxygène sont communément sub-optimales (2-3 mg/L). Le relevé du matin est un bon indicateur de la consommation du cheptel (50% RJ en une seule ration) et limite la nécessité d'une seconde observation.

#### Cas n°4 : intermédiaire

L'effet « forte DBO » est minimisé par rapport aux cas n°2 et 3 mais plus important  
Elevage de la crevette *Litopenaeus stylirostris* en Nouvelle-Calédonie

que dans le cas n°1. Les observations de restes sur les mangeoires sont moins informatives (38 % RJ et 62 % RJ) que dans les cas 2 et 3 mais plus que dans le cas n°1. Deux observations quotidiennes de mangeoires sont nécessaires.

## En quatre rations

Un seul relevé de mangeoires à midi sur 50 % de la ration journalière 1h - 1h30 après distribution.

### Cas n°1

7h30	9h30	13h30	15h30
150 kg	100 kg	100 kg	100 kg

### Cas n°2

7h30	9h30	13h30	15h30
100 kg	100 kg	100 kg	150 kg

### Cas n°3

7h30	9h30	13h30	15h30
125 kg	100 kg	100 kg	125 kg

### Cas n°4 : ¼ - ¼ - ¼ - ¼

7h30	9h30	13h30	15h30
113 kg	100 kg	100 kg	125 kg

Avantage : permet la meilleure épargne environnementale du bassin avec des faibles rations ponctuelles, une appréciation plus fine, cohérente et standardisée de la consommation du cheptel et un réajustement plus rapide et mesuré des rations. Peu de temps après la fin de la phase 0 à un gramme (fin du nourrissage sur aliment concassé), la quantité journalière de granulé (minimum distribué 75 - 100 kg/10 ha) permet de passer directement de deux à quatre rations. On démarre donc rapidement sur un schéma de relevé des mangeoires basé sur l'observation de la consommation matinale de 50 % de la RJ.

Inconvénients : nécessite un encadrement très strict du personnel, une réactivité très forte du biologiste, une organisation sans faille et une anticipation de tous les instants.

L'optimisation de la gestion en quatre rations va du cas n°1 à 4. Les fringales du matin (cas n°1) et réserve du soir (cas n°2) ajoutées à une peur du cannibalisme nocturne sont des suppositions sans aucun fondement. Ces stratégies empiriques conduisent à une exacerbation de la DBO et rendent confuses les interprétations des restes sur mangeoires. Le cas n°3 correspond à une gestion où l'on ne met que des sacs entiers et pas de demi-sacs, (cas n°4).

L'information fiable de la présence et de l'importance relative des restes, délivrée dès midi, permet au biologiste de recalculer immédiatement une ration pour l'après midi. Il dispose ainsi d'un large volume de manœuvre représentant 50 % de la quantité journalière et d'une capacité élevée de ventilation (deux distributions à venir pour répartir une baisse ou une augmentation). Il peut rectifier la ration du jour tout en restant proche des préconisations précitées (optimiser étalement, minimiser la DBO). Il présentera le jour suivant au cheptel la même quantité journalière mais ventilée de la manière la plus optimisée possible. La réponse des mangeoires du

lendemain portera donc sur deux jours d'observations au lieu d'un et apportera plus d'informations.

Si l'organisation de la ferme le permet, il semble préférable de nourrir en quatre plutôt qu'en trois rations pour aller dans le sens d'une meilleure qualité environnementale. L'animal qui gaspille moins d'énergie à lutter contre les stress croît plus vite. C'est néanmoins la gestion fine responsable et standardisée du contrôle de la consommation sur mangeoire qui doit prévaloir dans la stratégie de nourrissage.

## Contraintes

Les horaires de nourrissage dépendent du nombre de rations, de l'organisation du travail ainsi que de la saison.

Les contraintes qui limitent la mise en place d'un système à plusieurs rations, hors météo défavorable (vent, pluie), sont les suivantes :

- teneur en oxygène dissous < 3 mg/L le matin (ration retardée tant que la teneur n'atteint pas cette valeur) et 4 mg/L le soir (ration avancée ou allégée). Jory (1995) propose la gestion suivante ([Tableau 69](#)) pour les teneurs < 3 mg/L ;
- température > 22°C (ration reportée dans la matinée) ;
- observation standardisée des restes sur mangeoires après que 25, 50, 75 % (à standardiser suivant les fermes) de la ration journalière a été distribuée ;
- quantité à épandre (mini 75-100 kg/10 ha ; maxi capacités silo : 175-250 kg) et le temps qu'il faut pour bien le faire (minimum : ½ h, maximum : 1h<sup>1/4</sup>) ;
- les temps de pose (¼ h) et de relevé (¼ h) parfaitement exécutés des mangeoires.

Tableau 69 – Ajustement des rations en fonction de la teneur en oxygène dissous (Jory, 1995).

Teneurs en oxygène dissous (mg/L)	Ajustement des rations
3,0	Pas de changement
2,5 - 3,0	Réduire la ration de 50% et ne distribuer que l'après-midi
< 2,5	Ne pas nourrir ce jour
< 2,0	Ne pas nourrir ce jour et faire une forte vidange

En considérant que les deux paramètres environnementaux, oxygène dissous et température, soient sub optimaux, les quantités à distribuer sur un bassin de 10 hectares se répartissent comme indiquées dans les tableaux suivants ([Tableaux 70, et 71](#)). Cette organisation (horaire matin 7h30 - 12h/ pose 12h - 13h30 / soir 13h30 - 16h45) privilégie la standardisation de la pose et du relevé des mangeoires et de leur parfaite exécution (1h à 1h ½ après la distribution matinale de 50 % de la ration totale quotidienne pendant tout l'élevage) pour une interprétation optimale des restes et/ou du réajustement de la ration.

Tableau 70 – Relation ration/nombre de demi-sacs et sacs entiers (Bien que la plupart des fermes disposent de silos, ce tableau permet de calculer approximativement la ration en fonction du nombre de sacs)

Ration (kg)	Nombre de sacs
50	2
63	2 + 1 moitié de sac
75	3
88	3 + 1 moitié de sac
100	4
113	4 + 1 moitié de sac
125	5
138	5 + 1 moitié de sac
150	6
163	6 + 1 moitié de sac
175	7

Elevage de la crevette *Litopenaeus stylostris* en Nouvelle-Calédonie

188	7 + 1 moitié de sac
200	8
213	8 + 1 moitié de sac
225	9
238	9 + 1 moitié de sac
250	10

Tableau 71 – Relation quantité journalière à épandre et ventilation des distributions. Réajustement de 5%.

RATION (Kg)	07H30	09H30	13H30	15H30	Augmentation 5%
150		75		75	158
163		75		88	171
175		88		88	185
188		88		100	197
200		100		100	210
213		100		113	224
225		113		113	237
238		113		125	250
250		125		125	263
263		125		138	276
275		138		138	290
288		138		150	302
300	75	75	75	75	315
313	75	75	75	88	329
325	88	75	75	88	342
338	88	75	75	100	355
350	100	75	75	100	368
363	100	75	75	113	381
375	100	88	88	100	395
388	100	88	88	113	408
400	100	100	100	100	420
413	100	100	100	113	434
425	113	100	100	113	447
438	113	113	100	113	461
450	113	113	113	113	475
463	113	113	113	126	488
475	126	113	113	126	502
488	126	113	113	138	515
500	126	126	126	126	529
513	126	126	126	138	542
525	138	126	126	138	554
538	138	126	126	150	567
550	138	138	138	138	580
563	138	138	138	150	592
575	150	138	138	150	605
588	150	138	138	163	618
600	150	150	150	150	630
613	150	150	150	163	644
625	163	150	150	163	657
638	163	150	150	175	670
650	163	163	163	163	685
663	163	163	163	175	697
675	175	163	163	175	710
688	175	163	163	188	723
700	175	175	175	175	735
713	175	175	175	188	749
725	188	175	175	188	762
738	188	175	175	200	775
750	188	188	188	188	790
763	188	188	188	200	802
775	200	188	188	200	815
788	200	188	188	213	828
800	200	200	200	200	840
813	200	200	200	213	854
825	213	200	200	213	867
838	213	200	200	225	880
850	213	213	213	213	895
863	213	213	213	225	907
875	225	213	213	225	920
888	225	213	225	225	932
900	225	225	225	225	945
913	225	225	225	238	959
925	238	225	225	238	972
938	238	225	238	238	986
950	250	225	225	250	998
963	250	225	238	250	1 011
975	250	238	238	250	1 025
988	250	238	250	250	1 037
1 000	250	250	250	250	1 050

## Jeûne

Le jeûne du dimanche était une pratique courante dans les années 80 en Nouvelle-Calédonie. Elle avait été instaurée du fait des difficultés de faire venir le personnel le samedi et le dimanche sur certaines fermes. Elle visait également à faire des économies de personnel et une épargne d'aliment. Elle était également fondée sur la supposition qu'au cours du jour de jeûne, le cheptel aurait la possibilité de nettoyer le bassin de tous les restes non consommés durant la semaine. Cette supposition ne résiste pas à une analyse objective. Les granulés non consommés depuis une semaine n'ont plus aucun intérêt nutritionnel et/ou sont partiellement enfouis dans la boue et/ou ne sont plus appétents. Au cours des 16 h de jeûne nocturne quotidien, (entre les distributions de 16 h jour n et 8 h jour n+1), les crevettes ont largement le temps de faire un grand nettoyage. Par ailleurs, si la dernière ration du samedi est à 15 h et la première du lundi à 8 h, le cheptel ne jeûnera pas un seul jour (24 h) mais pratiquement deux (40 h) (Clifford, 1997). Couplée à une appréciation imprécise de la biomasse cette stratégie a eu des répercussions largement ignorées sur l'enrichissement organique du sédiment et de la dégradation des performances zootechniques (Della Patrona, 2005).

L'observation fine, quotidienne et standardisée des restes sur mangeoires permet un ajustement journalier assez précis de la ration de l'ordre de +/- 5%. Cette ration est proposée par rapport à un taux de nutrition calculé sur la semaine. La confusion que peut produire l'instauration d'un jour de jeûne est montrée dans l'encadré suivant.

Soient les données biotechniques inhérentes à une biomasse de 25 000 kg ; un taux de nutrition optimal de 2,5% pour la taille des crevettes ; une ration journalière résultante de 625 kg ; un nourrissage sur 7 jours (période entre deux échantillonnages) soit 4 375 kg/semaine.

Avec un jour de jeûne, la ration journalière distribuée est 729 kg sur 6 jours et le taux de nutrition de 2,9% pendant 6 jours et 0% le 7<sup>ème</sup> jour.

**En absence totale de contrôle des restes**, le bassin sera surnourri pendant 6 jours car le taux de nutrition pratiqué est trop fort. Il est peu probable que les crevettes mises à jeûner pendant 1 jour nettoient le bassin des restes (moisis) de la semaine... Il y aura donc accumulation progressive de matière organique et enfouissement partiel de celle-ci. La croissance résultante ne sera pas optimale du fait des conditions environnementales défavorables.

**En présence d'un contrôle très strict des restes**, la ration proposée étant supérieure de 100 kg (+17%) à l'optimum pour une crevette de la taille considérée, on observera rapidement des restes (2<sup>ème</sup> jour). Le biologiste réduira la ration jusqu'à 625 kg (3<sup>ème</sup>-6<sup>ème</sup> jour). Le bassin sera sousnourri de 12% sur la semaine (3 854 kg vs. 4 375 kg). La croissance sera faible. Les animaux seront affaiblis.

### 5.1.4. Contrôle de l'alimentation

#### Généralités

A la base, les rations d'aliment sont calculées d'après des taux de nutrition fixés qui varient en fonction de la taille des animaux et de la biomasse estimée du cheptel. Le nourrissage en fonction de tableaux fournis par les provendeurs est encore pratiqué dans la plupart des pays producteurs. Ces normes peuvent prendre en compte un grand nombre de paramètres tels que l'espèce, l'aire géographique, l'âge des animaux, le calibre escompté, le degré d'intensification, la température de l'eau, l'oxygène dissous, l'appétence, la fréquence et l'horaire de distribution.

L'application stricte de ces tables de nutrition se heurte à la difficulté d'estimer le taux de survie des animaux en particulier dans des bassins de surfaces aussi importantes (plusieurs hectares). De nombreux facteurs influencent les taux de nutrition en conditions d'élevage tels que :

- conditions environnementales défavorables (basses teneurs en oxygène dissous, températures extrêmes, variations brusques du pH, augmentation des concentrations en composés toxiques provenant de la dégradation de la MO) ;

- évolutions de la production naturelle (phyto et zooplancton, microphytobenthos et méiofaune) ;
- cycle de mue.

L'alimentation du cheptel évolue en fonction de ces paramètres mais également suivant d'autres facteurs de stress agissant indépendamment ou en synergie. Ces modifications complexes du comportement alimentaire ne peuvent être détectées que par l'utilisation raisonnée des mangeoires qui constituent avec l'oxymètre et l'épervier les trois outils les plus importants de la gestion du bassin.

Les taux de nutrition sont ajustés sur la base de l'échantillonnage de la population de crevettes du bassin, du suivi des paramètres environnementaux ( $[O_2]$ ,  $T^\circ C$  et autres), de l'utilisation des mangeoires et de l'expérience (Jory *et al.*, 2001).

La fréquence du réajustement est communément de l'ordre de la semaine basée sur les échantillonnages hebdomadaires à l'épervier qui permettent de déterminer le poids individuel des animaux, d'estimer leur densité et donc leur biomasse.

## Taux de nutrition théorique et observé

Au fur et à mesure que l'animal grandit, le taux de nutrition diminue mais la quantité totale distribuée augmente avec la biomasse croissante du cheptel. Le taux de nutrition varie en fonction de la saison d'élevage (température) (figures 87 et 88).

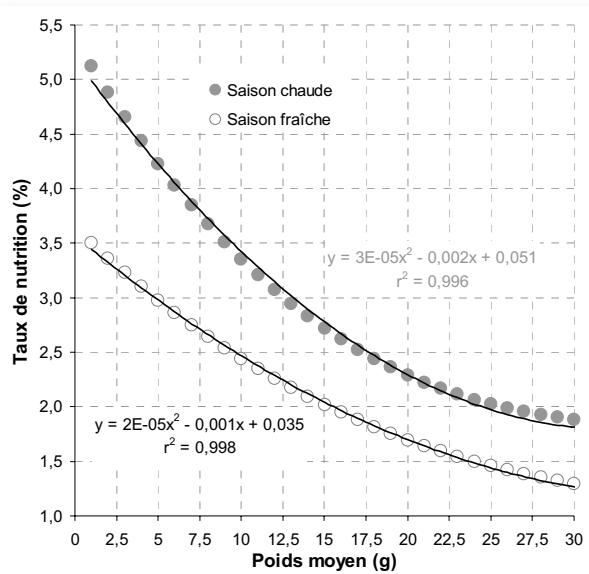


Figure 87 – Taux de nutrition théoriques de *L. stylirostris* élevée en bassin de terre en fonction des saisons.

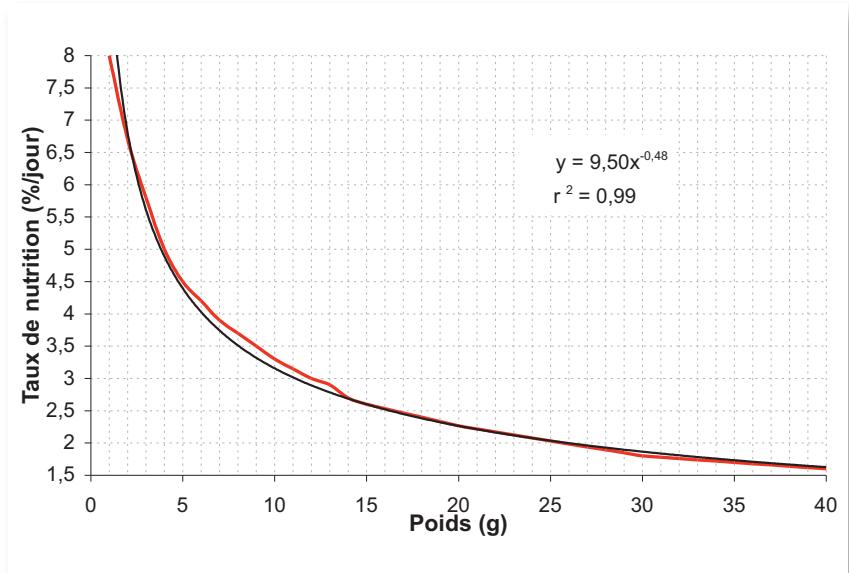


Figure 88 – Taux de nutrition observés (rétrocalculés) pour des élevages de saison chaude (en rouge, moyennes observées, en noir, courbe de tendance).

(Sources : Douze meilleurs élevages ensemencés en octobre-décembre sélectionnés (survie, vitesse de croissance, indice de conversion) sur quatre fermes semi-intensives sur la période 2001-2004).

### Vitesse de croissance observée

Dans des conditions optimales (ensemencement de saison chaude, très bonne gestion zootechnique), le gramme est atteint en 21 jours et le poids repère de 20 g en un peu plus de 100 jours dans des élevages semi-intensifs de *L. stylostomis* en bassin de terre ayant conduit à des survies supérieures à 70 % (figure 89).

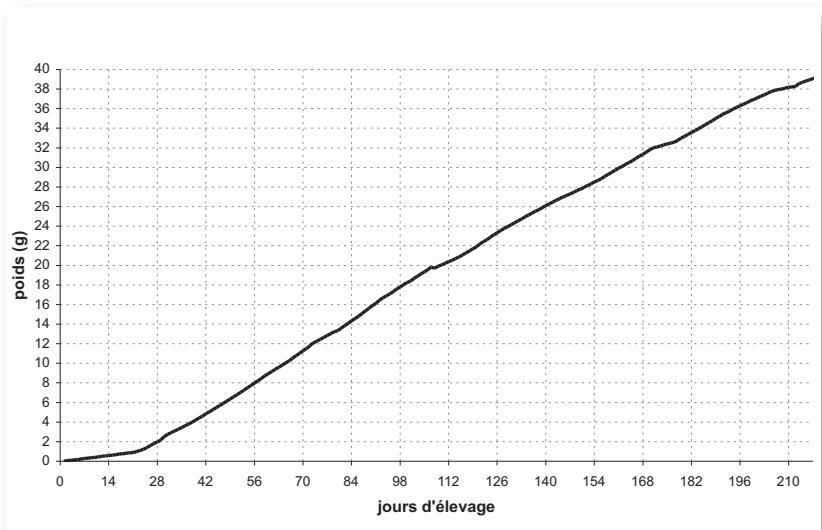


Figure 89 – Croissances observées pour des élevages de saison chaude (moyennes recalculées par jour).

(Sources : six meilleurs élevages ensemencés en octobre sélectionnés (survie, vitesse de croissance, indice de conversion) sur quatre fermes semi-intensives sur la période 2001-2004).

## Mangeoires

### Intérêts

Les mangeoires peuvent être utilisées pour contrôler le sousnourrissage (moins de risques d'affaiblissement des animaux) ou le surnourrissage (moins de pollution, fonds plus propres) du bassin. Elles peuvent être utilisées de deux manières (Jory, 1995) :

- indicateurs de consommations d'aliment ;
- nourrissage intégral du bassin (système péruvien).

Pour une utilisation limitée à l'estimation des restes de granulés, il est recommandé de disposer 5 mangeoires/ha sur des petits bassins (<6 ha) et de 1 à 4/ha sur des bassins plus grands (10 - 20 ha) (Salame, 1993). C'est le système employé en Nouvelle-Calédonie.

Dans le système péruvien, la totalité de la ration est distribuée sur les mangeoires qui servent de support. Chaque mangeoire a une influence sur 500 m<sup>2</sup> et est distante d'au minimum 25 m des autres. Un total de 20 mangeoires/ha est placé dans le bassin (élevage semi-intensif). La dose d'aliment peut varier de 50 à 250 g/mangeoire en fonction de la biomasse, du taux de rationnement et du nombre de mangeoires. Sur 12 h, deux personnes sont nécessaires pour relever et vérifier 200 mangeoires sur un bassin de 10 ha (Viacava, 1995).

Une gestion fine et rigoureuse de ces dispositifs, couplée à la connaissance du taux de nutrition préconisé selon le poids et la vitesse de croissance attendue, permet d'estimer la biomasse du cheptel.

De tels dispositifs constituent de bons indicateurs de mortalités, particulièrement lorsqu'elles sont massives. On observe en plongée que les survivantes se déplacent en pleine eau en dévorant les mortes qu'elles dilacèrent de leurs pattes. Au moment de la distribution, les cannibales lâchent leur proie au profit du granulé frais déposé en excès sur les mangeoires qui agissent alors comme des concentrateurs de cadavres.

Les mangeoires sont également une source d'information quotidienne sur l'état et l'évolution du fond du bassin (épaisseur, couleur de la boue) et l'état de santé des crevettes capturées à la remontée (remplissage du TD, mue, *black spots*, pattes rouges, abondance des fèces).

Le nombre idéal de mangeoires dans un bassin est le maximum que le personnel peut parfaitement alimenter (assurance que le granulé test est bien tombé sur le tamis) et relever (assurance qu'il reste ou non du granulé lors de la remontée) dans le cadre du travail : il vaut mieux gérer avec 4 mangeoires/5-10 ha dont on est absolument sûr du résultat (en parfait état) qu'avec 20 sur lesquelles on a des doutes (pose et/ou relevé ; déchirées).

### Types de mangeoires

Il existe une très abondante littérature sur la fabrication et l'utilisation des mangeoires (Cruz, 1991 ; Berger, 1994 ; Chanratchakool *et al.*, 1994 ; Jory, 1995 ; Rivas, 1997 ; Clifford, 1997 ; Calvo, 1998 ; Nunes, 2000 ; Nunes et Suresh, 2001).

En Nouvelle-Calédonie, il existe également de très nombreux supports (PVC, cadre galvanisé, *etc.*), formes (ronde, carrée) (Photo 43), surfaces (1 500-15 000 cm<sup>2</sup>), hauteur de rebord (1-3 cm), vide et type de mailles (moustiquaire, large netlon).

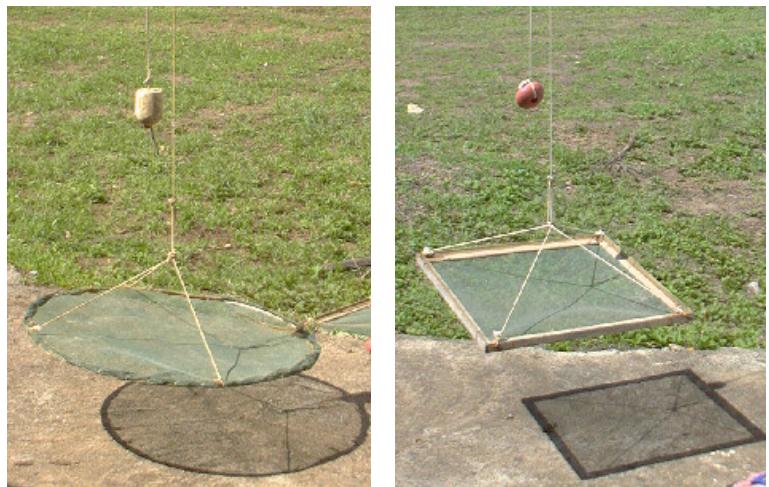


Photo 43– Deux types de mangeoires utilisées sur les fermes calédoniennes.

### Points de vigilance

Il est nécessaire de tester au préalable en plongée, alors que la turbidité le permet encore, que les mangeoires reflètent précisément la consommation réelle des crevettes dans le reste du bassin (emplacement, temps de relevé, type de mangeoire). Nos observations en plongée ont montré qu'un rebord trop haut ( $\approx 5$  cm) pouvait biaiser le résultat d'une mangeoire. *L. stylirostris* tourne autour du support sans aller y chercher le granulé.

Il est important de mariniser les mangeoires environ une semaine avant de les utiliser (colonisation par un film gélatineux bactérien?). Des mangeoires neuves ou remises en état en cours d'élevage (nouvelle moustiquaire, collage silicone, rivet neuf, etc.) ne sont pas fréquentées par les crevettes immédiatement et faussent l'interprétation de la consommation d'aliment. De même qu'un nettoyage trop intense (nettoyeur haute pression) et un séchage hors bassin quotidiens ne sont pas recommandés. Un simple brossage (algues filamenteuses) et rinçage (boue, cailloux) exécutés à bon escient sont suffisants.

Des mangeoires à fond surélevé disposées sur des zones d'accumulations peuvent fausser les observations. Elles peuvent servir de refuge (sédiment réduit) aux animaux qui viennent y consommer préférentiellement le granulé alors que des restes sont observés autour (Allan *et al.*, 1995).

La présence en nombre important de poissons (lochons, poisson-lait, mullets, tilapias) et/ou de crabes (bateilleurs et autres petits spécimens) qui se nourrissent de granulé et/ou déchirent les moustiquaires peut interférer sur le résultat.

### Détails de l'opération

Il faut toujours tendre vers une stratégie qui va légèrement sousnourrir plutôt que surnourrir en gardant à l'esprit le coût (35 – 40 % du prix de revient) et les conséquences (première source de pollution et de consommation d'oxygène) de l'ajout d'aliment ainsi que le fait que dans un bassin de terre aux densités pratiquées ( $18 - 40/m^2$ ), les animaux ne risquent pas de mourir de faim (production naturelle).

Certaines fermes disposent les mangeoires au bord, au bout de pontons, et d'autres au milieu du bassin. L'interprétation des mangeoires posées le long des digues où les animaux sont plus abondants que dans le milieu peut conduire à une surestimation de la consommation globale du cheptel. En revanche, la pose, le relevé et les observations y sont plus fiables et plus rapides. La gestion des mangeoires dispersées

dans le bassin est plus fastidieuse mais apporte une information plus précise. Il convient de placer celles-ci :

- en évitant les secteurs d'accumulation ;
- sur un chemin rectiligne qui permette de gagner du temps à la pose et au relevé à partir du bateau (10 mangeoires éparsillées aux quatre coins d'un bassin de 10 ha ou sur un axe donnent la même information) ;
- dans des zones (et non pas attachées à des piquets fixes) où on les déplace légèrement chaque jour. Les animaux finissent par s'habituer à un emplacement fixe et s'y nourrisse préférentiellement comme indiqués par les trous creusés autour ;
- en les repérant avec des bouées bien visibles (même avec un soleil de face très gênant sur l'eau) munies d'une longueur de corde adaptée précisément à la profondeur afin d'éviter la bouée sous l'eau ou la corde trop longue coupée par le propulseur.

L'aliment test (un petit seau pris dans la ration à distribuer) est déposé sur les mangeoires à la fin de la ration (pas avant, ni au milieu afin d'éviter que les animaux ne s'y précipitent en premier). La quantité déposée sur la mangeoire n'est pas importante et peut varier d'une mangeoire à l'autre et d'un jour à l'autre (une grosse poignée ou une dosette de 50 à 200 g soit 80 à 300 ml). Toutefois, exiger du personnel qu'une dose très précise soit impérativement administrée sur chaque mangeoire est un moyen psychologique efficace pour que le travail soit mieux fait.

La dose idéale est celle qui permet dans des conditions souvent difficiles (vent, vague, position) que :

- la majorité du granulé demeure sur le tamis de la mangeoire au cours de la descente et ce, jusqu'à ce qu'elle atteigne le fond ;
- une certaine quantité d'aliment non consommée puisse être observée lors de la remontée.

Pour ce faire, il convient que le propulseur soit éteint et/ou maintenu à un régime tel que le bateau soit bien orienté par rapport au vent et que la manœuvre en soit facilitée. Il est indispensable que la mangeoire soit bien équilibrée afin qu'elle puisse couler ou être remontée bien à plat (poids du cadre, longueur de corde bien réglée). Le granulé ayant tendance à flotter légèrement, il est nécessaire de le mouiller au préalable ou de le jeter avec force au milieu du tamis de la mangeoire placée sous 5-10 cm d'eau. La descente et/ou la remontée du cadre doit être contrôlée afin que le granulé reste collé au tamis de la surface jusqu'au fond du bassin. Après avoir chargé la mangeoire, il faut absolument éviter le démarrage brutal qui risque d'enlever le granulé de la surface de la mangeoire. Pour effectuer le relevé, il convient d'aborder à faible vitesse la position où se situe la mangeoire afin d'éviter de balayer les éventuels granulés entiers *a fortiori* s'ils ne sont présents que sous la forme de miettes. Il est conseillé d'effectuer une marche arrière à faible régime contre le vent pour remonter le plus droit possible le cadre. La quantité approximative (rien, un peu, moyen, beaucoup) de granulé et le numéro/position de la mangeoire sont notés sur une tablette à remettre le plus rapidement possible au biologiste. Il est conseillé au biologiste d'effectuer, à défaut de faire le travail par lui-même de temps à autre, un contrôle particulièrement strict de cette opération.

Etre pointilleux sur les bons gestes de pose et de relevé des mangeoires peut paraître excessif, mais de l'exécution parfaite de ces deux interventions va dépendre l'interprétation de la consommation dont découlera le réajustement de la ration qui jour après jour permettront à l'éleveur d'optimiser sa production au sens économique.

## Gestion et interprétation

### Raisonnement de base

Au départ, le biologiste propose au bassin une ration basée sur le nombre estimé d'animaux et le poids moyen obtenus par l'échantillonnage, le taux de nutrition en relation avec le poids moyen donné par une table qui tient compte éventuellement de la température et de l'oxygène ; et le cheptel dispose suivant son état physiologique du moment (mue, stress, bonne ou mauvaise santé) et la disponibilité de la production naturelle. La réponse du bassin intervient par l'absence ou la présence de granulés entiers ou de miettes sur les mangeoires et la vitesse de croissance. Le gain de croissance n'est connu que d'une semaine sur l'autre. De sorte que pendant ce laps de temps (un à sept jours) on ne peut se fier qu'aux mangeoires. Le fait d'avoir beaucoup de restes sur les mangeoires une à deux heures après la distribution d'une quantité d'aliment déterminée ne veut pas obligatoirement dire que la ration est trop forte. Ces restes peuvent représenter le contre-coup des rations distribuées la veille ou les jours précédents.

Cette inertie de la réponse des mangeoires implique que :

- en présence de restes, le réajustement de la ration doit s'opérer en proposant à nouveau au minimum celle de l'avant veille ;
- en absence de restes le réajustement proposé doit être maintenu deux trois jours avant toute nouvelle augmentation.

### Modalités du délai de relevé des mangeoires

Le programme de nourrissage le plus adéquat est celui qui maintient le cheptel en état de légère sous nutrition (Fox *et al.*, 2001). Le bénéfice d'une telle pratique est double :

- une crevette affamée est plus attirée par le granulé et sa consommation reflète mieux sa demande réelle ;
- il y a une épargne de la qualité de l'environnement via la diminution des restes non consommés d'aliment.

Le processus de relevé des mangeoires doit donc viser à conserver l'animal dans une telle situation de manque.

En Nouvelle-Calédonie, certains aquaculteurs diminuent ou allongent le délai de remontée des mangeoires en fonction de la température. Cette méthode est basée sur la présomption que les animaux se nourrissent plus ou moins lentement suivant la température ce qui est inexact. Les besoins des animaux sont plus ou moins importants suivant ce paramètre. Les animaux qui consomment 500 kg à 28 °C en 45 mn ne mettront pas 2h30 pour consommer la même ration à 20 °C. Ils n'auront besoin que de 250 - 300 kg, ration qu'il faut contrôler d'après le même temps de relevé des mangeoires ([Tableau 72](#)). La plupart se contente d'une durée assez variable comprise au jour le jour entre 1h à 2h.

Tableau 72 – Délais de relevé des mangeoires en fonction de la température.

Gamme de températures matinales (T°C)	Délais de relevé
19 - 22	2h00
22 - 25	1h15
> 25	¾ h

Dans la plupart des pays crevetticoles, le délai avant la remontée des mangeoires est raccourci au fur et à mesure de l'élevage ([Tableau 73](#)) et/ou en fonction du poids moyen ([Tableau 74](#)) des animaux (*P. monodon* : CP, 1991 ; Cruz, 1991 ; *L. vannamei* et *L. stylirostris* : Clifford, 1997 ; Jory, 1995).

Tableau 73 – Délais de remontée des mangeoires en fonction des jours d'élevage (CP, 1991).

Jours d'élevage	Délais de relevé (heures)
0 - 10	-
11 - 20	-
21- 35	-
36 - 40	2h30
41- 50	2h30
51 - 70	2h30
71 - 85	2h00
86 - 95	2h00 - 1h30
96 - 105	1h30
106 - 115	1h00
116 - 125	1h00

Tableau 74 – Délais de remontée des mangeoires en fonction du poids moyen des animaux (Cruz, 1991).

Jours d'élevage	Délais de relevé (heures)
1 - 5	2h30
5 - 10	2h15
10 - 15	2h00
15 - 20	1h45
20 - 25	1h30
25 - 30	1h15
30 - 35	1h00
>35	0h45

### Procédure Ifremer Saint-Vincent

Le délai avant le relevé doit être modifié en fonction des quantités d'aliment distribuées. Cette démarche va dans le sens de la double épargne : qualité environnementale et économie d'aliment. Il est plus profitable d'appliquer une gestion dans laquelle on remonte les mangeoires 45 mn après une ration de 900 kg/jour et 2h30 après 200 kg qu'une zootechnie où sur 200 et 900 kg le délai demeure le même soit 1h30 - 2h00.

Dans le cas d'une organisation avec quatre rations/jour et le relevé sur la 2<sup>ème</sup> ration du matin, l'augmentation progressive des rations au fur et à mesure de l'élevage qui se traduit par une durée plus longue des distributions conduit naturellement à un raccourcissement de l'intervalle d'observation des restes sur mangeoires qui s'effectue par souci de simplification du travail à heure fixe ( $\frac{1}{4}$  h avant la pause déjeuner). Ainsi, dans le cas de deux rations matinales (7h30 et 9h30) de 100 - 150 kg, la seconde distribution se termine vers 10h30 et détermine un temps de relevé possible de 1h45 pour un relevé à 11h45 (heure fixe). Pour des quantités plus importantes ( $\approx$  200 - 250 kg), le deuxième repas se finit plus tard vers 11h00 de sorte que l'intervalle se réduit automatiquement à 45 mn pour une observation effectuée toujours à la même heure (11h45).

Pour une meilleure précision de l'interprétation, une formule mathématique est donnée pour passer d'une quantité d'aliment distribuée à un délai d'observation (figure 90). Les durées calculées sont similaires à celles préconisées dans les tableaux précédents quoique basées sur des jours d'élevage et/ou des poids moyens de crevettes. Elles vont dans le même sens, à savoir, une volonté d'économiser l'aliment au moment le plus opportun soit lorsque les rations sont les plus fortes ( $\approx$  âge des animaux, jours d'élevage) et de minimiser la pollution et la DBO induites pour améliorer le bien-être de l'animal (et donc une meilleure croissance).

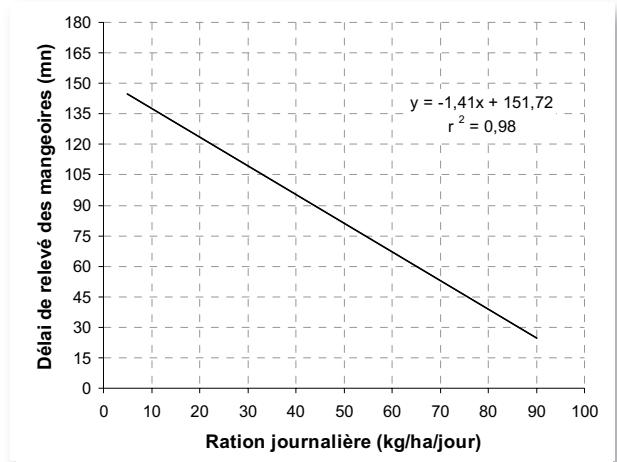


Figure 90 – Guide pour fixer un délai d'observation de la consommation d'aliment sur les mangeoires.

#### Réajustement en fonction des observations de restes

Le réajustement de la ration passe par l'interprétation de la consommation du cheptel appréciée par les restes sur les mangeoires (Tableau 75). Plusieurs pratiques, de la plus simple (Clifford, 1992; Salame, 1993) à la plus élaborée (Zendejas-Hernandez, 1994) sont proposées (Tableaux 76 et 77).

Tableau 75 – Réajustement de la ration en fonction des restes sur mangeoires (Salame, 1993).

Quantité moyenne (%) d'aliment restant sur la mangeoire	Réajustement de la ration
0	Augmenter de 5%
< 5%	Maintenir la même ration
5 - 10%	Réduire de 5%
10 - 25%	Réduire de 10%
> 25%	Supprimer deux rations et repartir avec 90% de la ration précédente

Tableau 76 – Echelle de quantification des restes (Zendejas-Hernandez, 1994).

Quantité observée de restes	Valeur
Pas de restes	0
Très peu de restes (< 12,5%)	1
Quantité assez forte de restes (12,5 - 25%)	2
Beaucoup de restes (>25%)	3

Tableau 77 – Réajustement des restes basé sur les valeurs moyennes des trois derniers jours (Zendejas-Hernandez, 1994).

Valeurs moyennes sur 3 jours	Réajustement de la ration
Moyenne > 2	Baisser la ration de 30%
Moyenne > 1	Baisser la ration de 20%
Moyenne = 0,5 - 1	Maintenir la même ration
Moyenne < 0,5	Augmenter la ration de 10%

Nous donnons en annexes 1.1, 1.2, 1.3 et 1.4 quatre *scenarii* détaillés d'observations de restes et du réajustement approprié de la ration sur trois jours (jeudi semaine 1 : Pm obtenu 7 g, ration 483 kg, jeudi semaine 2 : Pm prévu 8,23 g, ration prévue 530 kg).

## 5.2. Echantillonnage

L'échantillonnage du cheptel à l'épervier est une des opérations les plus importantes du suivi de l'élevage. Il est impératif qu'il soit parfaitement maîtrisé et standardisé

afin qu'il puisse apporter le maximum d'informations précises pour la gestion optimisée de l'élevage.

### **5.2.1. Intérêts**

L'échantillonnage présente de multiples intérêts. Il est indispensable pour connaître le poids moyen des crevettes et apprécier leur croissance (hebdomadaire ou cumulée depuis le début élevage). Il renseigne sur l'abondance relative des animaux (densité et survie). En complément des observations des mangeoires, il permet de réajuster les rations (biomasse, taux de nutrition). Il offre, à travers l'opération de comptage une par une des crevettes, l'occasion d'observer l'état de santé du cheptel (appétit, mortalité, mue). Il apporte des informations sur l'état du fond (importance et couleur de la boue).

### **5.2.2. Techniques d'échantillonnage**

#### **Comportement**

*L. stylostriis*, à la différence d'autres pénéides, a tendance à se répartir de manière non homogène et à se regrouper en bancs dans le bassin. L'hétérogénéité est accentuée avec les faibles profondeurs (Clifford, 1998). Cette espèce très sensible à la transparence de l'eau, modifie sa répartition en fonction de la densité du phytoplancton et/ou de la turbidité d'origine minérale et par voie de conséquence en fonction de la profondeur (Clifford, 1997). A l'instar de *L. vannamei*, les populations de la crevette calédonienne pourraient se distribuer différemment dans le bassin suivant la phase lunaire (Jory *et al.*, 2001). Ainsi, *L. vannamei* présente une plus forte activité à la nouvelle et à la pleine lune. Même par un instinct migratoire, les individus de cette espèce ont tendance à se masser dans certaines zones du bassin à l'occasion des marées présentant les plus forts coefficients ( $\approx 1,7$  en Nouvelle-Calédonie) (Villalon, 1991). Enfin, la vivacité et donc la capturabilité des animaux sont réduites en périodes de mues et/ou de faibles températures. Les captures à l'épervier seront donc à relativiser en fonction des facteurs agissant sur le comportement de *L. stylostriis*.

#### **Stations d'échantillonnage**

Du fait de ces limitations, il est conseillé de fixer un maximum de points d'échantillonnage. Villalon (1991) recommande 24 stations sur les bassins de *L. vannamei* de 8 - 20 hectares. Clifford (1997) argumente le choix de 3 à 4 zones par hectare repérées par des piquets dans les élevages de *L. stylostriis*. En Nouvelle-Calédonie, le nombre de zones est nettement moins important, de l'ordre de 4 - 5/bassin (cf. minimum de 4 par bassin de 1 - 10 ha en regard des cahiers des charges en vigueur). Par expérience, il semble qu'un échantillonnage précis et standardisé sur 6 zones apporte suffisamment d'informations pour assurer une bonne gestion zootechnique. Une telle opération s'effectue néanmoins en  $\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$  heure. Elle peut le cas échéant être complétée par des sondages épisodiques d'une cinquantaine de jets d'épervier qui renseigneront sur la densité.

Il est recommandé de fixer les points d'échantillonnage par des pieux suffisamment ancrés et solides (collision bateau, sol trop dur ou trop mou) et repérables (hauteur, ruban de couleur) pour perdurer jusqu'à la fin d'élevage. Il est conseillé de positionner 4 zones suffisamment espacées au milieu et 2 sur les bords exposé et protégé du vent dominant dans le bassin. Généralement les prises réalisées en plein centre du bassin sont plus faibles que celles opérées en bordure de digues. De même que les lancers effectués à partir de la digue au vent sont plus productifs que ceux

exécutés sous le vent.

Les zones du bord peuvent être repérées par des piquets pour une approche en bateau ou positionnées à l'extrême de pontons pour un accès par les digues. Mais il ne faut pas changer la façon de procéder d'une semaine à l'autre. Une telle répartition permet d'obtenir une vision plus complète des populations de crevettes. Les emplacements doivent présenter une profondeur suffisante (au moins 60 - 70 cm). Dans le cas de bassins mitoyens qui sont échantillonnés en même temps, il est souhaitable que les stations du bord soient placées l'une en face de l'autre. Il n'est pas judicieux de choisir des emplacements particuliers tels que :

- les entrées et/ou les sorties d'eau ;
- les secteurs prévisibles de fortes accumulations ;
- les endroits trop proches du courant des aérateurs ;
- les drains et/ou caniveaux ;
- la zone à proximité de l'embarcadère du bateau et/ou du silo à granulés.

## Types d'épervier

Il est peu connu des aquaculteurs que l'utilisation de l'épervier est une méthode qui a été très utilisée par le passé pour estimer avec précision les populations des lacs et des étangs africains : méthode d'évaluation indirecte de De Lury (Daget, 1971). La précision est d'autant meilleure que les PUE (Prise par Unités d'Efforts) sont standardisées. Si l'on souhaite que l'échantillonnage serve également à estimer la biomasse, il est impératif que l'engin de pêche (l'épervier) et l'effort de pêche (lanceur, technique de lancer, zone) soient toujours les mêmes.

Les éperviers présentent des caractéristiques qui influencent la capturabilité d'une gamme de taille donnée de crevettes, à savoir la vitesse à laquelle ils tombent au fond (rapport poids de la nappe de filet de nylon/plombs), leur surface d'ouverture réelle au sol (diamètre du fil/poids et type de lestage) et la taille des poches. Toutes choses étant égales par ailleurs, les PUE d'un épervier neuf sont toujours inférieures à celles d'un autre plus ancien (fil détendu et usé). Les spécifications du fabricant portent sur la longueur (2 - 3,50 m), le vide de maille (8 - 20 mm), le diamètre du fil (0,15 - 0,30 mm), le type de lest (chaîne ou plomb) et le poids de lestage en kg.

Il faut rappeler que la PUE est grandement influencée par la profondeur qui détermine la vitesse de chute (temps d'échappement des crevettes), la remontée et la perte potentielle des captures et la rétraction de l'épervier.

En Nouvelle-Calédonie deux écoles coexistent :

- la première préconise de changer d'épervier en fonction de la taille des crevettes, soit des modèles de longueur 2,5 m et mailles de 8 mm (petites), 3,0 m et 10 mm (moyennes), 3,5 m et 12 mm (grosses) et 4,0 m et 20 mm (très grosses) ;
- la seconde consiste à utiliser le même épervier du poids de un gramme jusqu'à celui de la vidange finale (généralement modèle 3 - 3,5 m et 10 mm).

La première favorise la capture du plus grand nombre de crevettes et minimise la détérioration des éperviers. Elle surestime systématiquement le poids des crevettes et la vitesse de croissance notamment à chaque changement d'engins de pêche. Elle ajoute un paramètre supplémentaire (4 PUE vs. 1) qui rend difficile la standardisation de l'échantillonnage. Elle peut devenir contraignante pour le personnel dans le cas d'échantillonnages effectués le même jour sur des bassins présentant des crevettes de poids très différents.

La seconde surestime le poids en tout début d'élevage (les plus petites crevettes

passent au travers). Elle sous estime le poids en fin d'élevage (les plus gros animaux ne se prennent pas dans la maille). Elle nécessite de changer d'épervier à la fin de chaque saison (15 - 20 000 F CFP/pièce) voire de le ramender pendant l'élevage. En revanche, elle permet un retour d'information plus fiable sur les captures normalisées effectuées sur un plus grand nombre de semaines ( $\approx 25$  PUE).

Il semble plus judicieux d'acheter dans le commerce un grand nombre d'éperviers (une dizaine si l'on dispose de plusieurs bassins) du même modèle (école n°2). Il faut choisir un modèle de 3 - 3,5 m (10 feet) et de maille 10 mm, fonctionnel (pas trop lourd, pas trop grand, de diamètre de fil intermédiaire 0,20 - 0,25 mm), avec lequel un ouvrier pourra effectuer aisément plusieurs lancers consécutifs. En outre, les fournisseurs ne renouvellent pas toujours leurs stocks avec les mêmes types précis. Cet investissement plus lourd au départ permettra toutefois d'obtenir des PUE standardisées sur plusieurs élevages consécutifs. Dans le cas de bassins aux caractéristiques similaires (profondeur, densité, type de fond, orientation vent, etc.), cet ensemble très conséquent d'informations précises compilées sur plusieurs années permet de mieux s'y retrouver à certaines phases de l'élevage où l'aquaculteur se sent perdu.

## Précaution d'emploi et biais

### Horaire et fréquence

Pour Clifford (1997), l'échantillonnage doit être réalisé tôt le matin peu après le lever du soleil ou juste avant le coucher du soleil en fin d'après midi. Ces créneaux correspondent aux minima de lumière atteignant le fond du bassin et masquent l'épervier aux crevettes *L. stylorstris*, précaution importante dans le cas des bassins présentant un Secchi élevé. Villalon (1991) recommande les tranches horaires de 6h30 à 10h00 ou à défaut après 20h00. Pour l'auteur, *L. vannamei* a tendance à s'enterrer aux heures les plus chaudes de la journée contribuant à la diminution des captures. En Nouvelle-Calédonie, les échantillonnages ne sont effectués que dans la matinée et jamais le soir. Il est recommandé d'effectuer cette opération de préférence toujours à la même heure, tôt le matin. L'idéal est qu'elle soit terminée avant l'heure fixée de la première ration notamment pour libérer le bateau-silo qui sert à l'échantillonnage au milieu et ne pas perturber l'organisation du travail (intervalle des relevés de mangeoires).

Idéalement il faudrait synchroniser l'échantillonnage avec l'horaire de la marée (Jory et al., 2001) ce qui paraît difficilement compatible avec les remarques précédentes. A défaut, il est bon de noter les éphémérides les plus proches.

Les fréquences généralement retenues en crevetticulture sont d'une fois par semaine ou d'une fois tous les dix jours ou toutes les deux semaines. Au vu de la très grande variabilité des captures et des poids des animaux obtenue par échantillonnage, liée à l'activité des crevettes (mue, cycle lunaire/marée) mais également à l'erreur humaine ou à la négligence, il semble important d'effectuer l'échantillonnage le plus souvent possible, soit chaque semaine.

### Autres biais

Pendant les opérations de captures à l'épervier, il est impératif d'éviter toute action qui perturbe la répartition naturelle des crevettes :

- ne pas appâter les crevettes avec une poignée de granulés ;
- ne pas effectuer la distribution d'aliment avant ou pendant ;
- ne pas ouvrir en grand les moines d'entrée ou les moines de sortie avant ou pendant ;
- ne pas modifier le fonctionnement habituel du dispositif d'aération.

Il faut tenir compte de la hauteur du bassin, soit un niveau d'eau anormalement élevé pour favoriser un développement de phytoplancton dans la journée, soit une hauteur d'eau faible avant ou après une pêche partielle.

La répartition naturelle des animaux est grandement perturbée par les opérations de pêches partielles. Dans les cas extrêmes, on observe que des zones entières du bassin semblent désertées par le cheptel. Sauf dans le cas de récoltes très espacées (plusieurs semaines) qui donnent le temps aux animaux de se répartir plus uniformément, les prises par épervier effectuées dans le cycle habituel des pêches (une à deux fois/semaine) deviennent de plus en plus difficiles à interpréter pour l'estimation de la densité.

En période de mue ou proche de la mue, les paramètres d'échantillonnage sont très souvent altérés : les prises sont souvent plus faibles (plus grande inactivité des animaux en pré-mue et/ou en mue, ou crevettes qui s'enterrent ?) et les poids moyens diminuent même parfois (nombre anormalement élevé de naines et de tordues, crevettes molles). Pour des individus de poids compris entre 12 et 20 g, l'intermue dure environ 6 - 8 jours. Il n'est donc pas rare que deux échantillonnages consécutifs soient perturbés par le phénomène, ce qui pourrait laisser supposer un blocage de croissance. De sorte qu'il est conseillé d'échantillonner une seconde fois un tel bassin au minimum trois jours après pour infirmer ou confirmer un problème de croissance.

## Précautions pour la PUE

### Le personnel et la façon de lancer en bateau :

L'opération nécessite deux personnes, le bateau duquel on a retiré le silo amovible pour ne pas être gêné, une poubelle remplie à moitié d'eau contenant un panier en maille plastique adaptée à la taille des crevettes (trois modèles) et l'épervier détendu au préalable dans l'eau.

La plate est conduite avec rapidité vers la zone à échantillonner. Il n'est pas recommandé de lancer l'épervier très précisément au pied du pieu qui peut agir comme un dispositif de concentration (DC) et constituer de fait un point remarquable qui ne serait pas représentatif. Une vitesse trop lente permet à un banc de crevettes en quête de granulés, conditionnées par le bruit du propulseur, de se regrouper sous le bateau et de fausser les prises. L'ouvrier doit avoir préparé son épervier sur son épaule bien à l'avance pour surprendre les animaux. Le bateau est dirigé dans un arc de cercle afin que le lanceur jette l'épervier avec le vent dans le dos pour un déploiement rapide et optimal de celui-ci. Le jet s'effectue sur la lancée du bateau dont le moteur a été coupé quelques instants avant. L'épervier est laissé tel quel au fond quelques minutes retenu par la corde que l'on déroule progressivement au maximum en faisant attention de ne pas le décoller brutalement du sol. Sous le double effet du vent et du point d'ancrage constitué par la masse de plomb, le bateau effectue lentement une rotation de 180°. Le lanceur peut alors commencer l'opération de relevage de l'épervier qui, maintenu dans cette position, offre une légère résistance salutaire pour une extension maximale donc une meilleure capture. Cette opération doit s'effectuer lentement en raclant au maximum le fond par un mouvement d'allers retours latéraux pour ne pas laisser passer les crevettes sous les poches et ensuite progressivement refermer l'ouverture. C'est le plus souvent au cours d'une remontée trop précipitée de l'épervier que beaucoup d'animaux s'échappent.

L'ensemble des opérations doit être accompli d'une manière parfaitement minutieuse et standardisée pour offrir un retour d'information le plus fiable possible. Il est recommandé que le biologiste soit présent et/ou que les mêmes personnes soient affectées à cette tâche.

Le personnel et la façon de lancer du bord ou d'un ponton (Photo 44) :



Photo 44 – Lancer d'épervier à partir d'un ponton  
(© J. Patrois).

Il convient d'éviter de faire inutilement du bruit en arrivant sur le point d'échantillonnage, comme par exemple laisser tourner le moteur du véhicule, claquer violemment les portières, les portes des bennes, jeter les poubelles d'eau sur la digue, marcher lourdement sur le ponton. Ces actions génèrent des vibrations très facilement perçues par le cheptel. L'ouvrier doit préparer son épervier à l'avance sur l'épaule et entrer très doucement dans le bassin en évitant de faire du bruit et des vagues (Villalon, 1991). Il doit pénétrer suffisamment loin pour que le jet propulse l'épervier au-delà du pied de digue près duquel un caniveau est souvent creusé et/ou des blocs provenant des enrochements protecteurs ont roulé. La technique de ramener est identique à celle décrite plus haut. Il faut toutefois faire décoller l'engin du fond avant la zone critique où des crevettes peuvent chuter dans le caniveau, ou le filet se déchirer. Le ponton constitue un moyen pratique d'atteindre une distance importante vers l'intérieur du bassin, à pied sec. Néanmoins, il peut également interférer dans la répartition du cheptel en agissant également comme un DC. Aucune des solutions n'est optimale (biais). C'est pour cette raison qu'il faut toujours faire la même chose au même endroit et que la comparaison des prises d'un bassin à un autre est hasardeuse.

## Pesée

Les animaux sont le plus communément pesés sur la digue ou plus rarement ramenés au laboratoire. Il est recommandé de fabriquer une boîte de protection contre les intempéries (pluie, mais surtout vent qui fausse les mesures) de dimensions adaptées à la balance et à la tare. Une balance à piles de poids maximum 4 kg et de précision 0,1 g est l'outil idéal. Il convient de fabriquer ou de récupérer une tare (boîte cylindrique, petit seau) dont le fond s'adapte parfaitement au plateau de la balance et dont les bords soient suffisamment hauts pour éviter que les crevettes ne sautent de celle-ci intempestivement. L'ensemble du dispositif protégé du vent, doit être disposé bien à plat sur la digue ou dans la benne du véhicule, moteur éteint, afin de ne pas fausser la pesée.

Afin de standardiser la mesure, notamment d'éviter la variabilité liée au poids de l'eau, la procédure suivante peut être suivie :

- sortir le panier de la poubelle d'eau, le secouer deux fois et le poser sur le bord de la poubelle en comptant précisément 30 secondes ;
- attraper une ou deux tresses d'antennes de crevettes correspondant à la moitié du volume de la tare ;
- disposer les animaux dans une serpillière ou une serviette éponge bien absorbante, préalablement et uniformément essorée en formant une poche ;

- étaler les crevettes à plat dans la serviette pliée en deux ;
- tarer, bien vérifier que le poids soit effectivement à zéro car c'est une des sources d'erreur les plus communes ;
- verser lentement les crevettes dans la boîte en évitant qu'elles ne bondissent de partout ;
- noter le poids (bien vérifier que des individus ne se soient pas échappés et tombés derrière la balance, autre étourderie possible) ;
- compter une à une les crevettes en les observant attentivement avant de les lâcher dans le bassin ;
- recommencer éventuellement si plus de 4 kg récoltés.

Dans le cas d'un nombre trop important d'animaux, un sous échantillonnage est conseillé. Une partie de ceux-ci, prise au hasard dans le panier, est comptée (impératif pour l'estimation de la densité) mais pas pesée et rejetée rapidement dans le bassin. Dans la pratique, on estime à  $\approx 200$  ( $6 \times 30$  ind./zone) le minimum d'individus nécessaires à la détermination d'un poids moyen représentatif. Si le nombre est inférieur, il convient de refaire plusieurs lancers/zone. Toutefois, seuls les premiers comptages serviront à l'estimation de la densité.

### 5.2.3. Détermination du poids et de la croissance

#### Poids global ou par zones

Dans la procédure où les animaux sont capturés en bateau au centre et en véhicule au bord (ponton), on effectue trois pesées séparées (moyenne des quatre coups du milieu, coup côté au vent, coup côté sous le vent). Dans le cas où les six lancers sont réalisés à partir de l'embarcation, toutes les prises sont mélangées. La première méthode renseigne sur le volume des captures au milieu qui sont plus informatives que les prises effectuées au bord. Elle permet également de discriminer des zones atypiques où la croissance est plus ou moins remarquable. Elle prend plus de temps notamment dans le cas d'un seul bassin échantillonné par jour. Dans les deux cas, on détermine de la même manière le poids moyen et le nombre de prises/coup d'épervier.

#### Indicateurs de croissances

Quatre informations importantes sur la croissance peuvent être tirées de l'échantillonnage hebdomadaire :

- la croissance cumulée depuis le poids de un gramme (reportée sur une courbe-type) ;
- la croissance sur la semaine ;
- la moyenne mobile des trois (parfois 4) dernières semaines ;
- le nombre de jours depuis l'ensemencement pour atteindre 18 ou 20 g (déclenchement de la première récolte partielle).

La moyenne mobile, non pondérée, des poids moyens estimés les trois (ou quatre) dernières semaines est certainement l'index de croissance le plus informatif. Il permet de lisser les erreurs humaines d'échantillonnage, les biais liés à l'influence de la mue (cycle 6-8 jours) et/ou de la lune (rythme 28 jours) et des marées exceptionnelles 1,70-1,75 (novembre – mars).

#### Sélectivité des engins de pêches : épervier et pêche partielle

Le poids moyen déterminé à partir des lancers à l'épervier ne sera pas rigoureusement le même que celui obtenu lors d'une pêche partielle (figure 91). Les

engins et les efforts de pêches sont très différents et ne sélectionnent pas les mêmes populations.

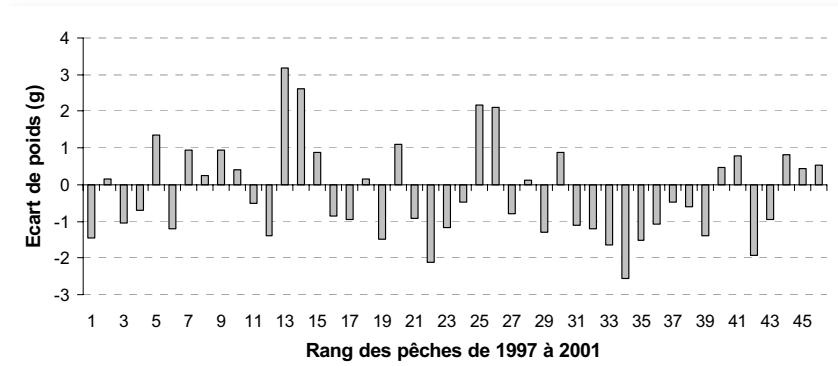


Figure 91 – Ecarts de poids des crevettes déterminés par capture à l'épervier et à la récolte.

(Source : 46 récoltes consécutives d'une ferme familiale).

Il ne faut donc pas utiliser comme référence le poids des animaux récoltés pour déterminer la croissance en cours d'élevage.

## Histogrammes de classes de poids

Lorsque des primes à la réalisation de quotas de calibres sont mises en place par les ateliers de conditionnement ou à l'occasion d'un simple contrôle de routine (ferme *vs.* atelier), certains fermiers réalisent des histogrammes de classes de poids à partir des animaux échantillonnés la veille ou l'avant veille des pêches. Une centaine de crevettes sont pesées individuellement à l'aide d'une balance de précision à 0,01 g. La fréquence de chaque classe est notée sur la feuille (voir [Annexe 2](#)). Puis la proportion de chaque calibre est déterminée. Ce travail peut être effectué avec précision au niveau de la ferme.

A défaut, des pourcentages globaux calculés sur l'ensemble des productions livrées sont disponibles auprès des usines de conditionnement.

### 5.2.4. Estimation de la population et de la survie

#### Limites

Dans l'absolu, il n'est pas utile de connaître la densité des animaux présents dans le bassin. Si l'on disposait d'une stratégie optimale de nourrissage via l'utilisation des mangeoires et de la croissance hebdomadaire résultante calculée d'après les poids moyens exacts, on pourrait gérer le bassin comme une entité. Dans la pratique, on sait que la consommation journalière du cheptel visualisée à travers l'observation des restes sur mangeoires est assez variable. Elle ne permet pas de calculer précisément la biomasse (et donc le nombre de crevettes dans le bassin) en divisant la ration par le taux de nutrition théorique. Par ailleurs, les poids moyens qui ne sont obtenus qu'une fois par semaine et qui fluctuent en fonction d'une croissance en escalier (mue), ne sont pas suffisamment représentatifs à eux seuls.

De ce fait ce n'est qu'en recoupant les quatre informations : consommation sur mangeoire, vitesse de croissance sur trois semaines, courbe de mortalité théorique et captures à l'épervier que l'on peut obtenir une assez bonne estimation de l'abondance et de la biomasse du cheptel dans le bassin. Plus tôt dans l'élevage on

dispose d'une bonne approximation du nombre d'animaux et plus facile devient la gestion par la suite.

## Méthode des mortalités linéaire et naturelle

Si l'on dispose des informations suivantes pour un élevage à une densité initiale donnée (voir § précédents), à savoir :

- estimation de la survie à un gramme ;
- nombre de jours pour atteindre un gramme (été, hiver) ;
- survie théorique en fonction du mois d'ensemencement ;
- vitesse de croissance théorique (élevage été vs. hiver), information sur la durée d'élevage ;
- calibres et quotas (info. durée élevage).

On peut établir une courbe théorique du nombre d'animaux présents dans le bassin au jour le jour en calculant simplement un nombre fixe de mortes par jour (mortalité linéaire) ou en utilisant une formule plus sophistiquée de mortalité naturelle (mortes calculées en fonction du pourcentage du nombre restant) (Daget, 1971).

### Exemple

Bassin de 10 hectares ensemencé à  $20/\text{m}^2$  le 1<sup>er</sup> novembre. Survie probable à un gramme de 90 %. Durée estimée de la phase 0 - 1 g de 20 jours. Survie théorique élevage d'été 70 %. Vitesse de croissance théorique été de 0,20 g/j. Quotas 70 % de 40 - 60 ; 30 % de 30 - 40 (poids final à la vidange  $\approx 33\text{ g}$ ).

La durée totale d'élevage est de 180 jours (160 jours après 1 g).

Le nombre journalier de mortes après un gramme est de 2 500 (400 000 mortes après un 1 g).

La densité estimée de crevettes dans le bassin au 20 janvier est de  $16,5/\text{m}^2$  (total 1 650 000 anz ; 82,5 % de survie).

### Courbes théoriques

Les courbes théoriques d'abondance des crevettes dans un bassin peuvent constituer un bon guide pour la gestion prévisionnelle ([figure 92](#)). La précision sera d'autant meilleure que les hypothèses de départ seront formulées à partir des données historiques précises et fiables pour des élevages ensemencés à la même densité et le même mois : l'archivage des données dans une base de données comme Stylog (Anon. 2006c) favorise la qualité des données. Les perspectives établies d'après les mortalités linéaire ou naturelle sont extrêmement proches. La différence maximale entre les deux estimations est d'environ 12 500 animaux. Le taux de mortalité calculé avec l'équation exponentielle génère une ration moindre de 5 kg (645 vs. 650 kg) à 16,0 g vers le 1<sup>er</sup> février.

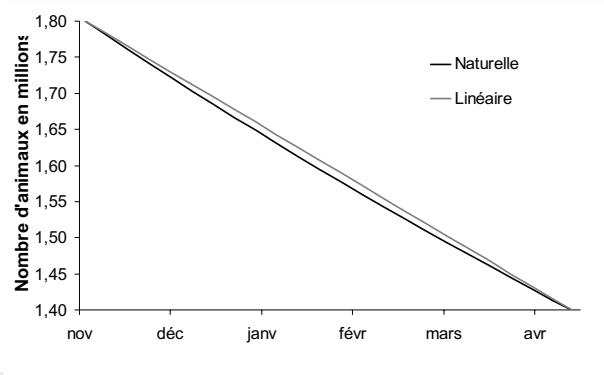


Figure 92 – Estimation graphique de la population de crevettes présente dans un bassin d'élevage.

$$\text{Formule de mortalité naturelle } N_t = N_0 \cdot e^{-Zt} \text{ où } Z=0.00488$$

### Méthode de la moyenne des captures standardisées.

La surface au sol d'un épervier de longueur de rayon = 3 m, étendu à son maximum, est théoriquement ( $\pi r^2$ ) de 28,3 m<sup>2</sup>. On pourrait donc supposer qu'il suffit d'extrapoler le résultat du nombre de crevettes capturées (exemple n = 283) par lancer soit 283/28,3 m<sup>2</sup> (densité = 10/m<sup>2</sup>) au bassin entier (10 hectares) pour connaître précisément le nombre total (1 000 000). De fait, on obtient des densités calculées très en deçà de la réalité même lorsque que l'on prend comme référence la surface réelle d'un épervier déployé au fond du bassin ( $\approx 6 - 7$  m<sup>2</sup>). Du fait de la hauteur d'eau ( $\approx 100$  cm) et de l'élasticité du nylon, l'épervier a tendance à se refermer en poche.

On peut établir néanmoins une relation entre les captures à l'épervier et la densité réelle dans le bassin (figures 93 et 94). L'index sera d'autant meilleur que l'on aura respecté les préconisations pour standardiser la procédure (cf. § précédent) et que l'on dispose d'un nombre élevé d'élevages effectués sur le même bassin. Il est recommandé de ne considérer que les lancers réalisés avant le démarrage du cycle des pêches. On pourrait supposer que la relation captures/densité finale soit affinée à l'approche de la vidange finale. Au contraire, comme le soulignent les coefficients de corrélations des figures suivantes, les prises effectuées entre les différentes récoltes offrent une plus grande variabilité et altèrent le retour d'information.

Chaque ferme de Nouvelle-Calédonie peut calculer *in situ* sa propre relation ou bien la déterminer grâce à la base de données Stylog. Cet Indice Capture/Densité n'est valable que pour un bassin, voire à la limite pour une ferme donnée. Il n'est pas extrapolable à un autre site crevetticole. Les courbes d'évolution des prises réalisées tout au long d'un élevage (figure 95) montrent des variations parfois très importantes d'une semaine à l'autre. Pour spéculer en cours de cycle sur la densité réellement présente, il est fortement conseillé de raisonner à partir de moyennes mobiles calculées sur trois ou quatre semaines.

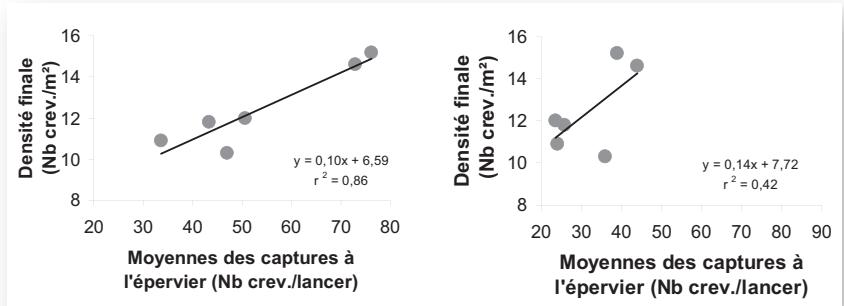


Figure 93 – Relations entre la moyenne des captures à l'épervier avant (gauche) et pendant (droite) le cycle des pêches partielles et la densité réellement obtenue (= survie finale).

(Sources : six élevages consécutifs d'une ferme familiale. On note que la corrélation est très bonne ( $r^2=0,86$ ) pour les captures réalisées avant le cycle des pêches et qu'elle devient médiocre après ( $r^2=0,42$ )).

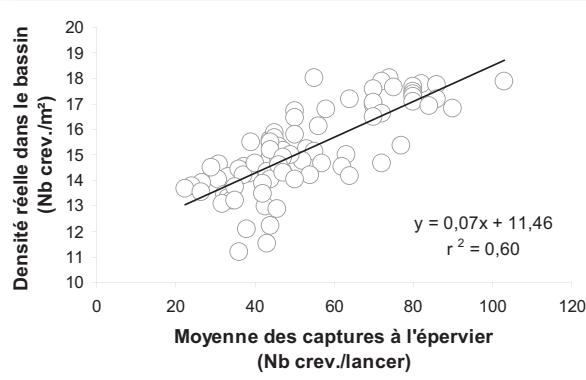


Figure 94- Relation entre le nombre moyen de crevettes capturées à l'épervier et la densité réelle du bassin.

(Sources : prises à l'épervier réalisées avant le démarrage du cycle des pêches sur six élevages consécutifs d'une ferme familiale : 40 crevettes./coup= 13,6/m². Le coefficient de corrélation de 0,60 est satisfaisant).

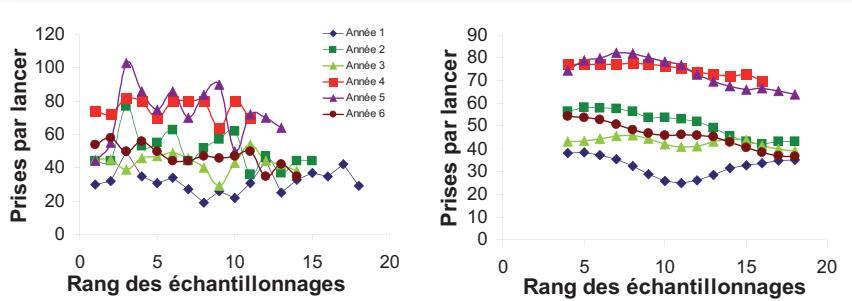


Figure 95 – Evolution hebdomadaire des prises par épervier (données brutes à gauche, moyennes mobiles sur 4 semaines à droite).

(Sources : prises à l'épervier réalisées avant le démarrage du cycle des pêches sur six élevages consécutifs d'une ferme familiale).

### 5.2.5. Observations des animaux

L'échantillonnage est l'occasion d'inspecter attentivement les animaux pour évaluer leur état de santé et obtenir des informations sur les conditions qui règnent dans leur

espace vie.

## Cadavres, tubes digestifs rouge-orange

La présence de mortes, de l'ordre d'une à deux par prises d'épervier voire plus, traduit une mortalité très importante dans le bassin. Elle dévoile également un état de surnourrissage du bassin et/ou des conditions environnementales qui diminuent l'appétit des animaux. En effet, dans des circonstances normales, le cheptel bien que nourri de granulés et disposant de production naturelle, élimine en temps réel les cadavres quotidiens (plusieurs milliers en théorie, voir §5.2.4 même chapitre). L'état des mortes : fraîches (entières), récemment cannibalisées (yeux, queue et pattes rognés) ou anciennement dévorées (animaux roses et/ou gris en moignons) est un renseignement intéressant à noter.

La couleur rouge orangé du contenu du tube digestif est un indicateur (observé souvent de manière concomitante) de fortes mortalités (cannibalisme = chair rose de congénères cuits par les sucs gastriques).

Il faut différencier les exuvies, peaux fines transparentes (situation normale), des carapaces de mortes vidées de leur chair, peaux épaisses, opaques, jaunes ou grises qui peuvent témoigner d'un dysfonctionnement du bassin.

## Défauts liés à la mue

La capture d'un fort pourcentage d'animaux à la consistance cartonneuse et/ou rugueuse présentant des appendices de couleur orangée voire de nombreuses éraflures y compris un nombre important de *black spots*, de crevettes naines ou queue de lot, de spécimens tordus est souvent annonciatrice de l'approche de la mue.

La mue est signalée par la capture d'animaux complètement mous et/ou aux rostres cassant et/ou d'exuvies. Une telle observation est souvent concomitante de la présence de restes sur les mangeoires et de quartiers de phases lunaires.

La présence d'algues vertes filamenteuses sur les appendices traduit un dysfonctionnement du cycle de la mue lié à des conditions environnementales défavorables.

## Tubes digestifs gris vert, retroussé et vide

Le remplissage du tube digestif (TD) et la coloration du contenu informe sur l'état de santé du cheptel. Lorsque leur espace vie est favorable, toutes les crevettes à jeun doivent présenter un TD plein, ce qui n'est pas paradoxal, et de la couleur du fond de bassin soit gris ou marron beige. Une teinte correspondant à celle du granulé traduit un surnourrissage : aliment non consommé 16 - 17 h après la dernière ration de la veille. Hors période de mue, un pourcentage élevé d'estomacs vides indique que les animaux sont en mauvaise santé et/ou s'alimentent mal en raison d'un manque de faune et flore benthique adéquates.

Un TD de couleur gris pâle, recroqueillé et/ou retroussé vide est l'expression d'une entérite hémocytaire, maladie déjà signalée (inflammation de l'épithélium liée à l'ingestion du tapis de cyanobactéries).

## Couleur et activité

*L. stylostriatus* présente un phénomène marqué d'homochromie. Lorsque les animaux sont en situation de confort physiologique, ils sont de la couleur du fond de bassin avec les appendices jaune pâle. Lorsqu'ils sont stressés et/ou en mauvaise santé, une forte proportion des crevettes capturées peut présenter un telson de coloration fluo jaune-vert et/ou une musculature caudale très opaque ou blanchâtre (au lieu d'être

transparente). Cette couleur blanche ne doit pas être confondue avec la maladie *cotton disease* provoquée par des microsporidies (non signalée en Nouvelle-Calédonie).

Dans cette situation, une majorité d'individus relâchés après l'échantillonnage présente une nage léthargique et/ou s'échoue au bord et/ou le phénomène de *tail cramping* (animaux crampés). Le *cramping* peut être provoqué par des concentrations basses en oxygène dissous, des stress liés aux fortes températures ou à une vibriose (Clifford, 1997).

Une coloration sombre voire noire de la carapace ajoutée à une couleur rouge des appendices indique un phénomène réversible d'*overcrowding* (surpeuplement) et/ou un manque d'oxygène. C'est ce que l'on observe fréquemment lorsque l'on échantillonne à l'épervier devant les moines de pêches avant une récolte partielle.

## Antennes

L'intégrité et la longueur des antennes sont des critères parfois utilisés pour confirmer que les animaux sont en bonne santé et répartis de manière relativement homogène (Villalon, 1991).

## Branchies

Une coloration grise des branchies des animaux capturés dans certaines zones traduit généralement la présence d'accumulations. Elle est le plus souvent associée à de la boue sur les poches de l'épervier.

Une couleur sombre ou grenat sous l'opercule peut révéler la présence de protozoaires ou de dinoflagellés, type eaux rouges, que l'on peut observer au microscope sur un prélèvement de branchie. Dans tous les cas, l'effet colmatage limitera les échanges ioniques et d'oxygène entre l'eau extérieure et le milieu intérieur, ce qui fragilisera l'animal.

Une coloration noire sans présence de boue ou de *fouling* peut être la réponse de l'animal à un composé毒ique dans la colonne d'eau ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$ , métaux lourds, pesticides, pH très acide) (Clifford, 1997).

## Autres

La fréquence, la présence et la taille de poissons, de crabes et de crevettes sauvages sont des éléments à prendre en compte pour corrélérer la survie et/ou les taux de nutrition.

Il est normal qu'un certain nombre d'animaux décède lors de la procédure d'échantillonnage. Ces mortes d'échantillonnage retrouvées au bord ne doivent pas être confondues et comptabilisées avec les mortes de mortalités lors des rondes d'inspection le long des digues.

## 5.3. Gestion de l'eau

### 5.3.1. Originalité de la crevetticulture calédonienne

La gestion de l'eau en crevetticulture dépend du degré d'intensification pratiqué. Dans les élevages extensifs (1 - 5/m<sup>2</sup>) de *P. monodon* (Asie) et de *L. vannamei* (Amérique centrale), on recommande de ne changer qu'un tiers de l'eau des bassins tous les quinze jours ou de ne renouveler qu'à hauteur de 3 %/jour tant que la teneur en oxygène dissous est supérieure à 3 ppm (Anonyme, 1978). Trois pour cent (10 % tous les deux jours ou 20 % tous les 3 ou 4 j) est également le taux de renouvellement conseillé dans les fermes intensives australiennes (35 - 40/m<sup>2</sup>, avec forte aération) (Anonyme, 2006b) ou thaïlandaises de *P. monodon* (30 - 50/m<sup>2</sup>)

(Chanratchakool, *et al.*, 1994). A l'opposé des deux types précédents, les fermes semi-intensives (8 - 12/m<sup>2</sup>) traditionnelles de *L. vannamei* (Villalon, 1991) ou de *L. stylostris* (Clifford, 1997) requièrent des changements d'eau trois ou quatre fois plus importants de l'ordre de 8 - 10 %/jour.

Les filières calédoniennes semi-intensives 18 - 22/m<sup>2</sup> (sans aérateurs) et intensifiées 30 - 40/m<sup>2</sup> (avec aération modérée) se caractérisent par des renouvellements encore plus considérables (soit 15 %/j en moyenne sur l'élevage variant de 5 en début à 35 %/j en fin). Très performants au vu des rendements obtenus, les élevages locaux sont en contrepartie caractérisés par une grande difficulté à maîtriser leur milieu. En effet, les quantités d'eau apportées quotidiennement de l'ordre de 20 à 30 % sur une bonne partie de l'élevage pour maintenir les teneurs en oxygène sont difficilement compatibles avec le maintien de l'équilibre de l'écosystème bassin

### **5.3.2. Objectifs**

En début d'élevage, le renouvellement vise surtout à compenser la percolation des digues, les fuites aux moines de sortie et l'élévation de salinité. Celle-ci est liée à l'évaporation : l'eau douce s'évaporant, les sels se concentrent. Elle peut atteindre 0,7 cm/jour. Par ailleurs, l'arrivée d'eau neuve est source d'inoculation de nouvelles populations de phyto et zooplancton, voire de méiofaune.

Au fur et à mesure que la biomasse du cheptel augmente, la gestion de l'eau s'oriente vers le maintien d'une qualité satisfaisante du milieu d'élevage. Le renouvellement n'est pas le moyen le plus efficace ni le plus économique pour relever la teneur en oxygène de l'eau du bassin. Il convient d'utiliser les aérateurs. En outre, l'introduction massive d'eau neuve ne peut servir à oxygéner le bassin que si la concentration en oxygène dissous du bassin est très faible et que celle du canal est très élevée. Elle engendre en retour un lessivage du phytoplancton qui est le meilleur oxygénéateur du bassin. Le changement d'eau routinier est indispensable pour éliminer les sels nutritifs, le plancton et les métabolites toxiques en excès dans le bassin. Via des ouvrages d'entrée et de sortie correctement dimensionnés, le pompage permet une certaine déstratification, l'élimination de l'eau douce de surface et les accumulations de boue devant les sorties (Boyd, 1992a).

### **5.3.3. Stratégies**

#### **Espace vie favorable de la crevette**

Le renouvellement est un des moyens de maintenir la qualité de l'espace vie de la crevette. Les pratiques zootechniques pour y parvenir regroupent notamment :

- le contrôle du renouvellement selon une gestion de routine, préventive ou de crise ;
- l'adéquation entre changement d'eau et fertilisation pour le maintien de populations phytoplanctoniques stables en phase de croissance stationnaire et d'un système autotrophe présentant un bilan d'oxygène positif ;
- la restriction du surnourrissage ;
- le retrait continu ou périodique de la matière organique accumulée avant qu'elle ne devienne réduite ;
- l'utilisation des aérateurs-destratificateurs au-delà de 200 g/m<sup>2</sup> (Boyd, 1998) voire 300 g/m<sup>2</sup> (Clifford, 1992).

## Différents types

Le changement d'eau peut s'opérer de deux manières:

- par étapes, baisse du niveau du bassin suivi d'un remplissage : cette stratégie permet un contrôle plus précis de la quantité exacte d'eau qui est apportée au bassin. L'effet de chasse, *flush*, sur les boues devant les sorties est plus important. La durée quotidienne du pompage est réduite (plus fort pourcentage échangé en un temps plus court, dû au volume d'eau plus faible). Elle permet de faire coïncider le changement d'eau au moment où la différence des teneurs en oxygène entre l'eau du canal et celle du bassin est la plus grande (souvent en périodes nocturnes).
- simultanément, débordement par trop plein : cette méthode assure un flux entrant d'eau neuve sur une période plus longue de la journée, conduisant à des changements moins brutaux des paramètres du milieu. Elle permet de maintenir le bassin à son niveau le plus profond offrant au cheptel la possibilité d'occuper la surface maximale utilisable du bassin (*vs.* zones peu profondes où la transparence et les températures plus élevées sont stressantes). Cependant, les calculs exacts des quantités renouvelées au cours de cette procédure sont ardu et nécessitent une implication et des interventions du personnel plus fortes.

On distingue trois situations:

- la gestion de routine planifiée à l'avance. Elle s'opère de manière régulière et croissante au fur et à mesure du cycle ;
- la gestion préventive. Également programmée, elle sert à anticiper et à prévenir des problèmes prévisibles de qualité d'eau et/ou de santé de l'animal par des taux révisés à la hausse (+30 - 50% des taux normaux) ;
- la gestion de crise. Elle consiste à effectuer un changement d'eau massif et rapide (vidange et arrivée d'eau simultanées) pour contrebalancer une brusque détérioration environnementale et/ou de la santé de la crevette.

## Pilotage en fonction des paramètres de l'eau

Idéalement, l'eau du bassin ne devrait être pas être changée tant que sa qualité demeure favorable, sous peine d'effectuer un lessivage inutile des sels nutritifs et de la production naturelle nécessaires au cheptel. Cette gestion implique un contrôle fréquent et rigoureux d'un grand nombre de paramètres de la colonne d'eau (exemple [Chlorophylle a] < 60 µg/L) et du sédiment ainsi que la connaissance de la vitesse d'évolution de ceux-ci. Elle requiert une grande capacité de réaction. Cette parfaite maîtrise est difficilement concevable sur une ferme de production.

## Conduite en aveugle

Dans le cas de densités peu élevées, de l'ordre de 10 - 15/m<sup>2</sup>, on peut effectuer les changements d'eau :

- sur une base mensuelle de façon empirique :  
1<sup>er</sup> mois, 0% ; 2<sup>ème</sup> mois, 5% ; 3<sup>ème</sup> mois, 10% ; 4<sup>ème</sup> mois, 15% ; 5<sup>ème</sup> mois, 20% (préconisations SASV années 80-90).
- en fonction du poids moyen à l'échantillonnage :  
Animaux de 1 g, 1% ; 10 g, 10% ; 25 g, 25% (Clifford, 1997).

## 5.3.4. Calculs du pourcentage de renouvellement d'eau

### Modalités

#### Fréquence

Chaque semaine, la biomasse est réévaluée sur la base des échantillonnages et les nouvelles rations qui en résultent sont proposées au bassin. Sur ces bases, un renouvellement moyen prévisionnel hebdomadaire peut être appliqué en routine.

Dans le cas d'un mode de pompage continu, un contrôle des quantités d'eau réellement apportées au bassin réalisé deux fois par semaine est suffisant. Le mode séquentiel exige une intervention quotidienne.

#### Profondeur

Dans les bassins d'élevage (10 - 20 ha) semi-intensifs de *L. vannamei*, Villalon (1991) recommande de conserver une hauteur d'eau importante car celle-ci influe positivement sur la croissance. Chanratchakool *et al.*, (1994) intègrent la profondeur des bassins d'élevage intensifs de *P. monodon* (0,5 - 2 ha) dans le choix des densités, soit 120 cm nécessaires à 25 - 30/m<sup>2</sup> et 150 cm pour 40 - 50 /m<sup>2</sup>.

Il est donc essentiel de maintenir le bassin à sa profondeur maximale dans les deux types d'élevage pratiqués en Calédonie. Mais ceci ne doit pas se faire au détriment de l'intégrité des digues (à prévoir en relation avec la revanche nécessaire prévue initialement par l'étude d'ingénierie).

#### Volume

Il est prudent de prendre comme surface globale du bassin, les aires représentées par le fond et les digues (chiffrages d'un volume maximum). La profondeur de référence est établie en mesurant une centaine de points d'amont en aval et de droite à gauche du bassin après l'avoir rempli à son niveau maximum (repéré par exemple par une marque peinte sur un des moines référence de sortie). Pour un calcul de débit, le volume moyen du bassin doit être pris en compte (la hauteur d'eau moyenne déduite du niveau maximum). Peindre des graduations tous les 5 cm sous le niveau maximum est utile non seulement pour le calcul du volume mais également pour la descente du bassin lors des pêches (voir chapitre suivant).

#### Débit des pompes

Il est fourni par le constructeur des pompes et dépend largement de la hauteur manométrique qui varie avec la marée (cf. § chapitre 1). Il est prudent de recalculer leurs capacités en début de campagne en mesurant l'écoulement des déversoirs généralement rectangulaires à l'aide de formules simples fournies par le vendeur.

#### Panneaux filtrants

L'optimisation du renouvellement dépend pour partie du soin apporté aux opérations de nettoyage quotidien des panneaux filtrants des moines des bassins et du dispositif de dégrillage de la station de pompage. Dans certaines fermes, le colmatage rapide des filtres constitue un réel problème : débordement du canal, manœuvres fréquentes arrêt-redémarrage des pompes, arrachage des mailles. Par ailleurs, l'encrassement différentiel des filtres peut fausser les calculs de débits. En effet, suivant la position des moines d'entrée en relation avec la station pompage (les premiers filtres se salissent plus vite) et de l'extrémité du canal (les derniers s'encrassent fortement en raison des déchets qui stagnent), l'eau du canal ne se répartit pas de façon équitable dans les bassins.

Il est recommandé d'effectuer 4 passages/jour afin de vérifier l'état de propreté des panneaux filtrants. Cette fréquence peut être augmentée en fonction du débit et la taille des mailles. Il est conseillé de positionner des poubelles à chaque entrée afin d'y jeter tous les débris organiques (ainsi que les sacs d'aliment et différents morceaux de plastique qui pourraient venir boucher le filtre). Il est utile, une fois secs de les brûler en fin de semaine sur place ou de les évacuer. Le nettoyage se fait à l'aide d'une brosse à poils résistants dotée d'un long manche renforcé (tube rond zingué). L'enlèvement des déchets à main nue n'est pas recommandé en raison de la présence éventuelle de crabes ou de squilles (qui viennent s'en nourrir) et de mésuses urticantes.

Après le premier mois d'élevage, le choix de la taille des mailles d'entrée et la fréquence de changement de filtre dépendent de la force du courant (puissance des pompes, volume canal), de la propreté de l'eau et de la présence ou non de préfiltre ainsi que de la possibilité d'introduction de prédateurs. A chaque intervention, le personnel en profite pour vérifier l'état des batardeaux. Une rupture de planche s'avère préjudiciable à l'occasion des dernières pêches partielles où l'on souhaite un niveau d'eau minimum. A la fin de la phase 0 - 1 g, la moustiquaire (vide de maille 1 - 1,5 mm) est découpée *in situ* découvrant le grillage plastique de 5 mm (ou 8 mm parfois) du panneau filtrant de sortie. Une rotation des filtres toutes les trois à quatre semaines, assortie d'un changement de maille en fonction de la taille des crevettes est recommandée ([Tableau 78](#)).

Tableau 78 –Changements des filtres en fonction du temps et de la taille des crevettes.

Jours	Maille entrée
0 à 30 jours	Moustiquaire sur 5 mm
30 à 45 jours	5 mm (on coupe la moustiquaire)
45 à 75 jours	10 mm
75 jours à fin élevage	14 mm

Taille des animaux	Jours	Maille sortie
0,0 g à 2,5 g	0 à 45 jours	Moustiquaire sur 5 mm
2,5 g à 7,5 g	45 à 75 jours	5 mm (on coupe la moustiquaire)
7,5 g à 12,5 g	75 à 100 jours	8 mm
12,5 g à 17,5 g	100 à 125 jours	10 mm
17,5 g à fin élevage	125 jours à fin élevage	14 mm

## Calcul du pourcentage de renouvellement sur les fermes alimentant en eau simultanément tous les bassins (pompage continu)

Sur certains sites ou dans le cas de prise d'eau directe dans le lagon, le pompage peut s'effectuer 24h/24h. La principale difficulté est de maintenir à l'aide des pompes le niveau d'eau du canal à la même hauteur en fonction des besoins.

Le calcul des débits se fait en routine par mesure au niveau des batardeaux des moines d'entrée ([Photo 45](#)) de la hauteur de la lame d'eau déversante dans la configuration déversoir, et par la mesure des différences des hauteurs d'eau amont et aval dans la configuration orifices noyés ou dénoyés. Des cales de 5, 10, 15 cm placées entre deux batardeaux délimitent la fenêtre de hauteur h qui contrôle



Photo 45 - Moine d'entrée d'une ferme semi intensive.

A noter l'enrassement du filtre préjudiciable à la justesse de la mesure.

l'intensité du débit.

L'équation générale de l'écoulement sur un déversoir se calcule au moyen de la formule :

$$Q = m * L * \sqrt{2g} * h^{3/2}$$

#### Avec

$Q$  : débit en  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$L$  : largeur du déversoir en  $\text{m}$  ;

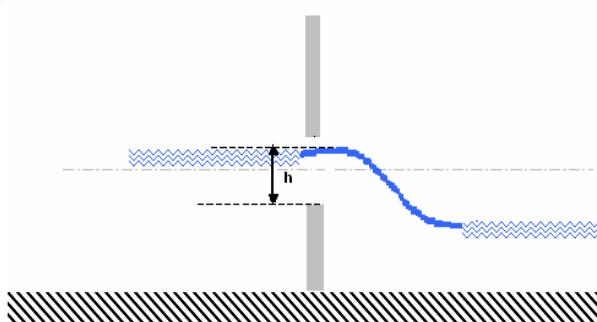
$h$  : hauteur de la lame d'eau sur le déversoir en  $\text{m}$  mesurée en amont du déversoir;

$m$  : coefficient de débit;

$g$  : accélération de la pesanteur en  $\text{m/s}^2$ .

La variation de la hauteur d'eau du canal conduit à quatre situations types pour lesquelles nous donnons les formules à titre indicatif :

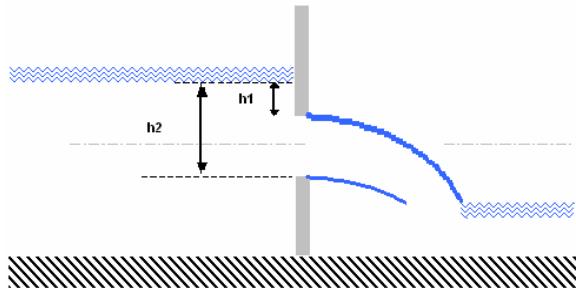
#### ① Ecoulement sur déversoir à seuil mince avec contraction latérale



$$Q = m * L * \sqrt{2g} * h^{3/2}$$

avec  $m \approx 0,385$

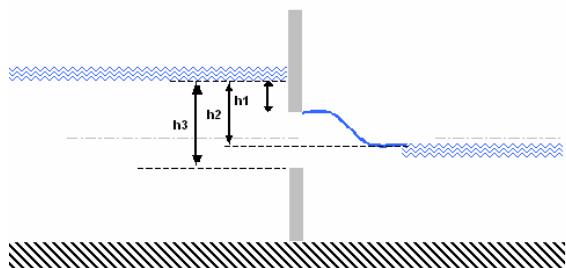
## ② Ecoulement dénoyé



$$Q = \frac{2}{3} * m * L * \sqrt{2g} * (h_2^{3/2} - h_1^{3/2})$$

avec  $0,5 < m < 0,7$

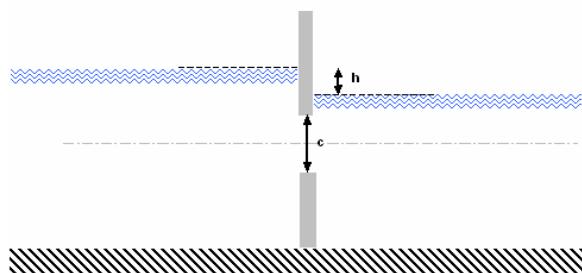
## ③ Ecoulement partiellement noyé



$$Q = m * L * \sqrt{2g} * h_2 * (h_3 - h_2) + \frac{2}{3} m * L * \sqrt{2g} * (h_2^{3/2} - h_1^{3/2})$$

avec  $m = 0,6$

## ④ Ecoulement noyé



$$Q = m * L * \sqrt{2g} * h * c$$

avec  $m = 0,6$

## Exemple de calcul : cas de figure ②

### Données :

Soit un bassin de **10 hectares** disposant de trois moines d'entrée.

Des cales de **10 cm** ont été placées à chaque ouvrage pour délimiter la fenêtre d'ouverture.

On sait que pour une mesure de référence au moine de sortie de **144 cm**, la profondeur moyenne du bassin est de **118 cm**.

### Calcul de la profondeur moyenne du bassin et du cubage :

Le jour de la mesure, la hauteur au moine de sortie est de 132 cm. De sorte que la profondeur moyenne du bassin est :

$$Pfm = 118 - (144 - 132) = \mathbf{106 \text{ cm}}$$

Le volume total du bassin est de  $100\ 000 * 1,06$  soit **106 000 m<sup>3</sup>**

### Calcul du débit :

Pour chaque entrée, on considère la moyenne de trois mesures de  $h_1$  prises à l'aide d'un simple double décimètre (*un modèle en bois qui ne coule pas est conseillé*) soit pour le moine n°1 : 3,7 ; 3,9 et 4,1 cm d'où  **$h_1 = 3,9 \text{ cm}$** .

Du fait de l'utilisation de cales de 10 cm,  **$h_2 = 13,9 \text{ cm}$**

La largeur de lame d'eau (largeur du moine 126 cm diminuée de la largeur des cales ≈ parallélépipèdes  $10 * 3 * 3\text{cm}$ )  **$L = 120 \text{ cm}$** .

La formule devient :

$$Q = \frac{2}{3} * 0,6 * \sqrt{(2 * 9,81)} * 1,2 * (0,139^{1,5} - 0,039^{1,5}) = 0,0929$$

$Q = 0,929 \text{ m}^3/\text{s}$  à rapporter en  $\text{m}^3/24 \text{ h}$

$$0,0929 * 3600 * 24 = 8\ 026 \text{ m}^3/24 \text{ h} \text{ (pour l'entrée n°1)}$$

On procède de la même façon pour les entrées n°2 (exemple  $h_1 = 3,6 \text{ cm}$  ;  $Q = 7\ 880 \text{ m}^3/24 \text{ h}$ ) et n°3 ( $h_1 = 4,2 \text{ cm}$  ;  $Q = 8\ 165 \text{ m}^3/24 \text{ h}$ ).

Le débit total entrant correspond à la somme des trois entrées soit :

$$Q = 24\ 071 \text{ m}^3/24 \text{ h}$$

### Calcul du renouvellement (Rnt) :

Renouvellement =  $Q \text{ m}^3/24 \text{ h} / \text{Cubage du bassin}$

$$Rnt = 24\ 071 / 106\ 000 = 0,2271$$

$$\text{Rnt journalier} = 22,7\%$$

L'ensemble de ces calculs peut être très facilement informatisé dans un tableau.

## **Calcul du pourcentage de renouvellement sur les fermes alimentant en eau les bassins de manière asynchrone (pompage séquentiel)**

En Nouvelle-Calédonie, de nombreux sites de pompage (Photo 46) sont handicapés par la faible profondeur du platier (quelques dizaines de centimètres).



Photo 46 – Site de pompage (en rouge) handicapé par la faible profondeur du platier.

Elle est limitante compte tenu de la plage de fonctionnement des pompes immergées (exemple hauteur d'eau minimum dans la chambre d'aspiration 110 cm, débit 3 000 m<sup>3</sup>/h, puissance moteur 45 kW). Dans la configuration habituelle, les relevés bathymétriques indiquent qu'à 50 m du bord de la mangrove on atteint la cote -0,2 NGNC (0,60 hydro. Marée minimum) et pour des distances de 300 - 400 m du rivage, on rejoint seulement la cote -0,4 NGNC (0,40 hydro.). Le surcoût d'un endigage ou d'un canal creusé pour atteindre une profondeur adéquate compromettrait la rentabilité de l'entreprise. De sorte que les heures de pompage sont limitées aux périodes où la hauteur d'eau est suffisante, soit 10 à 15 h par jour. En fonction des heures et des coefficients de marée, la stratégie de pompage doit être revue chaque jour.

On distingue deux principaux modes opératoires (il en existe d'autres) :

- Pour les bassins qui possèdent un nombre limité de moines d'entrée (un ou deux) et/ou les sites de pompages qui ne sont pas trop défavorables, la pratique consiste à renouveler simultanément tous les bassins puis à les fermer les uns après les autres en commençant par celui qui requiert le plus faible débit. La quantité de pompes en fonctionnement est adaptée à la durée potentielle de pompage déterminée par le coefficient de marée mais également aux contraintes de capacité du canal (débordement) et du diamètre limitant des buses des ouvrages hydrauliques. L'ouverture des entrées est synchrone sur chaque bassin. Il est impératif de concevoir une feuille de calcul pour gérer de cette façon ([Tableau 79](#)). Ce type de gestion devient rapidement rédhibitoire avec le nombre croissant de bassins.

Tableau 79 – Feuille de calcul pour le renouvellement semi-continu de bassins ne possédant qu'une ou deux entrées.

Jour	Date	Mini matin		Mini soir		mn à rajouter au démarrage	Démarrage pompes	mn à décompter pour l'arrêt	Arrêt pompes	Potentiel Heures	Marée 4 mn pour 1 cm
		Coefficient	Horaire	Coefficient	Horaire						
Lundi	14-oct- 2002	0,55	7h28	0,8	21h28	20	7h48	0	21h28	13h40	
Mardi	15-oct- 2002	0,6	9h03	0,75	22h41	0	9h03	0	22h41	13h38	
Mercredi	16-oct- 2002	0,6	10h25	0,65	23h36	0	10h25	0	23h36	13h11	
Jeudi	17-oct- 2002	0,6	11h25	0,6	24h00	0	11h25	0	24h00	12h35	
Vendredi	18-oct- 2002	0,5	12h15	0,6	24h20	40	12h55	0	24h20	11h25	
Samedi	19-oct- 2002	0,55	12h55	0,5	24h57	20	13h15	40	24h17	11h02	
Dimanche	20-oct- 2002	0,45	13h31	0,45	25h37	60	14h31	60	24h30	9h59	

Jour	Besoins en RNT (%)	Bassin	Volume (m <sup>3</sup> )	Renouvellement trié par bassin et volume correspondant		Nb pompes	Nb bassins ouverts	Début pompage	Changement pompage	Total heures
				Coeff	Volume (m <sup>3</sup> )					
Lundi	15	A	18 000	8%	C 9 600 m <sup>3</sup>	3	5	7h48	10h54	4h06
	20	B	24 000	15%	A 18 000 m <sup>3</sup>	3	4		13h05	5h17
	8	C	9 600	20%	B 24 000 m <sup>3</sup>	2*	3		14h49	7h01
	26	D	31 200	26%	D 31 200 m <sup>3</sup>	1*	2		17h26	9h38
	35	E	42 000	35%	E 42 000 m <sup>3</sup>	1	1		19h31	11h53

- Un autre moyen est de renouveler simultanément tous les bassins mais de moduler les quantités entrantes dans chaque bassin en faisant varier l'ouverture/fermeture des entrées plus nombreuses (3 ou 4/bassin). Cette pratique est recommandée dans le cas de site particulièrement pénalisé par les heures des marées et/ou d'entreprises possédant un grand nombre de bassins. Il est impératif que la hauteur de l'écoulement du déversoir (cas n°1) soit exactement la même à tous les moines disposés le long du canal *a fortiori* si ce dernier est très long ( $> 1 \text{ km}$ ) à cause du phénomène de pente du fil d'eau. A l'occasion de plusieurs essais en régime établi de pompage, il faut calibrer l'épaisseur de la lame d'eau en sciant à la bonne cote et en référençant le dernier batardeau de la série constituée d'unités de section identique (90 cm = planche spéciale moine coupée à 10 cm + 4 planches de 20 cm). On peut également jouer sur les différents modèles de batardeaux disponibles généralement sur la ferme (15, 20 ou 25 cm : 90 cm = 3 planches de 20 cm + 2 planches de 15 cm) et en conservant précieusement la composition de la série entière. L'ajustement des besoins pour chaque bassin ne peut pas se faire de manière aussi précise qu'avec la méthode précédente. Elle demande de tester sur le papier plusieurs combinaisons horaires/nombre d'entrées. Toutefois, elle est plus facile à mettre en œuvre sur le terrain et ne nécessite pas de logiciel de calcul sophistiqué mais une simple feuille de calcul (Tableau 80).

Tableau 80 – Feuille de calcul pour le renouvellement de bassins possédant un nombre important d'entrées et alimentés par un pompage séquentiel.

Tranches horaires		Nb heures	Nb pompes	Capacité/h		Bassin 1	Bassin 2	Bassin 3	Bassin 4	Total des entrées
Début	Fin					80 000 m <sup>3</sup>	90 000 m <sup>3</sup>	100 000 m <sup>3</sup>	95 000 m <sup>3</sup>	
06h30	08h30	2h00	1	3 000	Nb entrées	1	2	4	4	11
					Débit	0,7 %	1,2 %	2,2 %	2,3 %	
12h00	15h00	3h00	1		Nb entrées	1	2	4	4	11
					Débit	1,0 %	1,8 %	3,3 %	3,4 %	
20h00	06h30	10h30	2	6 000	Nb entrées	1	2	4	3	10
					Débit	7,9 %	14,0 %	25,2 %	19,9 %	
					Total	9,6 %	17,0 %	30,7 %	25,6 %	

## Bassins non aérés

### Gestion en fonction de la biomasse de crevettes

Le renouvellement de routine peut être géré en fonction de la charge de crevettes estimée dans le bassin en se conformant à l'équation de Clifford (1992) :

- % renouvellement journalier = kg crevettes/m<sup>2</sup> \* (100 \* FR)
- FR : facteur de renouvellement compris entre 0,8 et 1,2
- Soit pour 10 tonnes de crevettes dans un bassin de 10 ha, un taux de 10% par jour.

FR peut permettre d'optimiser la gestion en tenant compte :

- de la période d'élevage : FR = 0,8 jusqu'à 5 g, FR = 1,0 de 5 à 10 g et FR = 1,2 après ce poids ;
- de la qualité environnementale du bassin : excellente FR = 0,8 ou médiocre FR = 1,2 ;
- de la température de l'eau/saison : saison fraîche: FR = 0,8 ou chaude: FR = 1,2.
- Ce mode de gestion de routine a fait ses preuves (figure 96). Il a été appliqué avec succès systématiquement sur tous les élevages de la SASV depuis 1994, sur une ferme familiale d'élevage depuis dix années et sur une ferme industrielle de 50 ha.

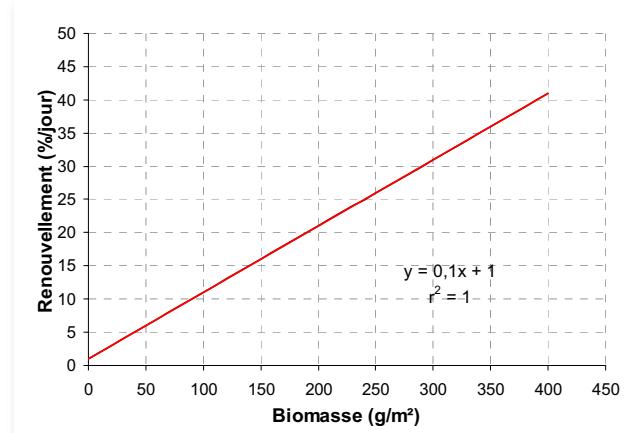


Figure 96 – Pilotage du renouvellement de routine en fonction de la biomasse dans un bassin non aéré d'après l'équation de Clifford (1992).

### Gestion en fonction de la ration

Le pilotage du renouvellement peut s'effectuer sur la base des rations journalières d'aliment, méthode dérivée de la précédente. Un abaque renouvellement pratiqué/rations d'aliment distribuées (figure 97) est ainsi proposé à partir des données d'une ferme de type familial pilotant son pompage suivant la relation de Clifford (1992). La quantification des quantités d'eau apportées est fiable car cette entreprise ne dispose que d'un unique bassin.

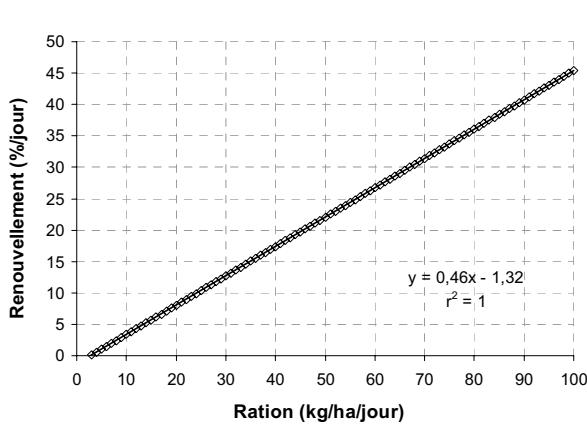


Figure 97 – Relation renouvellement-quantités d'aliment distribuées/jour sur les quatre premiers mois d'élevage non Elevage de la crevette *Litopenaeus stylostris* en Nouvelle-Calédonie

aéré.

(Sources : six élevages d'une ferme familiale (densité 20/m<sup>2</sup>, rendement 3,7 - 4,4 t/récolte).

## Bassins aérés

### Normes en fonction de la biomasse

Boyd (1998) considère que jusqu'à une charge de 200 g/m<sup>2</sup>, le renouvellement est suffisant pour maintenir la qualité de l'eau dans le bassin, notamment les valeurs d'oxygène dissous. Au-delà, il recommande de disposer d'une capacité d'aération équivalente à un kW par 500 kg de crevettes supplémentaires. Un abaque de gestion du renouvellement complémentaire d'un dispositif d'aération en fonction de la biomasse est proposé figure 98.

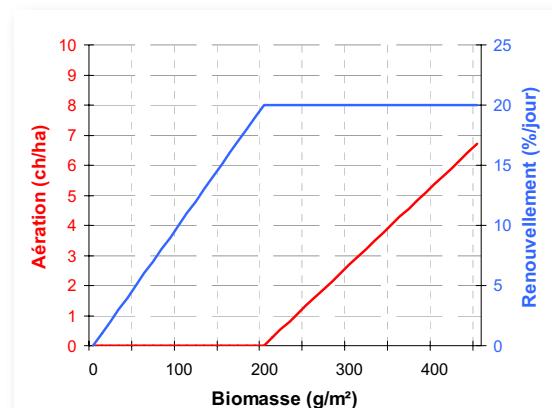


Figure 98 – Proposition de gestion du renouvellement en fonction de la biomasse en bassin aéré d'après les relations de Boyd (1998) et Clifford (1992)

### Normes en fonction de la ration

Hopkins *et al.* (1991) ont montré que dans un bassin d'élevage de crevettes recevant 15% de renouvellement, on peut prévoir la valeur de l'oxygène dissous du lendemain si l'on dispose des quantités d'aliment distribuées et du nombre d'aérateurs utilisés (cf. équation § 3.4.4 Chapitre 1). Par ailleurs, Boyd (1992a) considère qu'au-delà de 40 - 50 kg/ha/j d'aliment distribué, il est impératif d'utiliser une aération complémentaire pour éviter de graves problèmes d'oxygène. Un schéma de gestion du renouvellement en complément d'un dispositif d'aération en fonction des quantités de granulé apportées est donné figure 99.

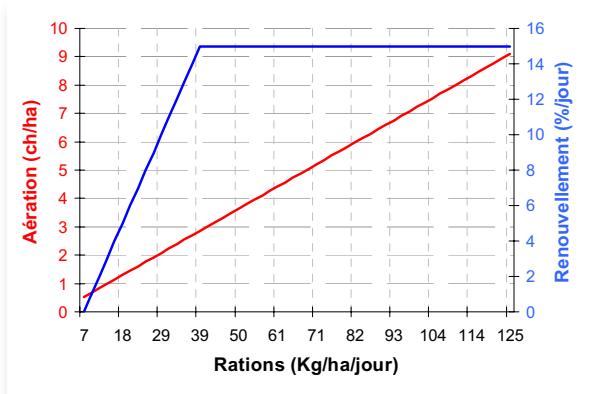
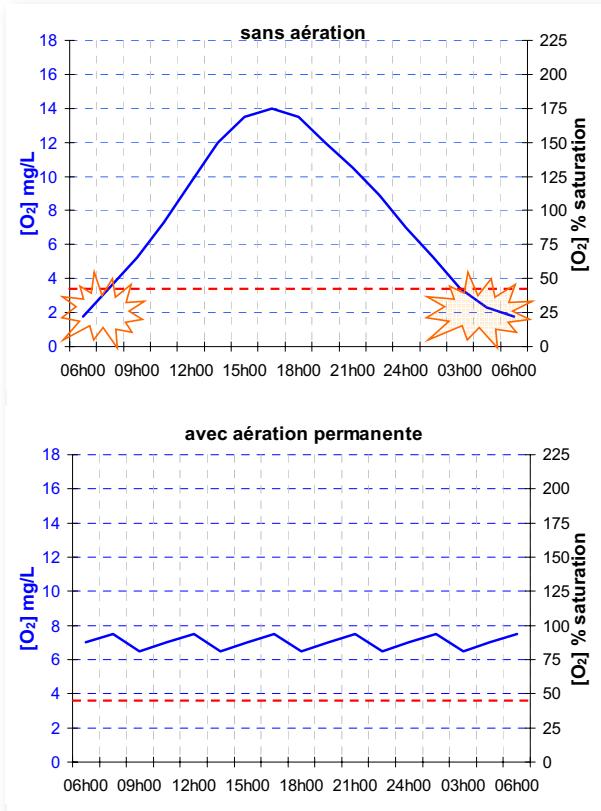


Figure 99 – Proposition de gestion du renouvellement en fonction des rations d'aliment journalières en bassin aéré établie d'après les équations de Clifford (1992) et Hopkins *et al.*, (1991) ; aération 12 h/night pour 3,5 mg/L prévus à l'aube à 28°C.

## Optimisation de l'aération complémentaire

L'évolution typique de la teneur en oxygène dissous (exprimée en mg/L et en % de saturation) au cours de la journée dans un bassin présentant un phytoplancton fonctionnel permet de mieux comprendre les plages horaires où il convient de mettre ou de ne pas mettre en fonctionnement les aérateurs (figure 100).

Dans les fermes intensives australiennes de *P. monodon*, Peterson *et al.* (2003) recommandent d'éteindre ou de réduire la vitesse (maintien des effets de déstratification et circulation) dans la journée de 9h à 17h lorsque l'oxygène dissous dépasse la saturation (100 %). Il rappelle qu'il est plus avantageux de faire fonctionner tous les aérateurs en même temps à ½ vitesse que la moitié des aérateurs à pleine vitesse. Des automates qui régulent l'aération en fonction de la concentration en oxygène dissous en % saturation (arrêt/allumage ; McGraw *et al.*, 2001) ou des horaires de la journée (vitesse de rotation ; Peterson, 2001) sont disponibles en Nouvelle-Calédonie (Endel NC® com. pers.). Ils permettraient de faire des économies certaines. L'emploi d'un gardien de nuit dont le rôle est d'ajuster la vitesse (à défaut du nombre) des aérateurs en fonction de la teneur en oxygène dissous (mg/L) mesurée toutes les heures (maintenue au dessus de 3,5 - 4 mg/L) est une solution fortement recommandée.



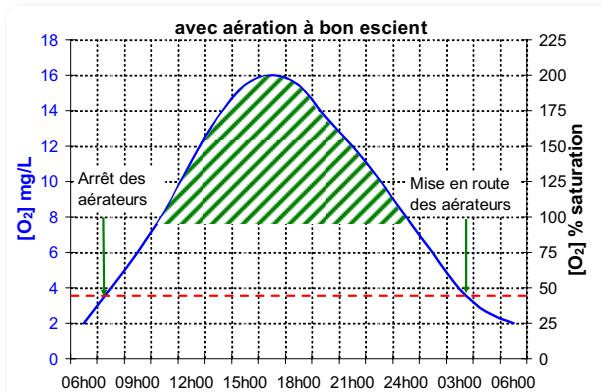


Figure 100 – Schéma de principe de l'évolution de la teneur en oxygène dissous (exprimée en mg/L et en % de saturation) au cours de la journée. La ligne rouge en pointillés correspond au seuil minimum d'oxygène préconisé 3,5 mg/L, en bleu l'évolution de la teneur en oxygène dans la journée.

○ Sans aération (ou sous dimensionnée), les teneurs en oxygène dissous atteignent à l'aube des niveaux critiques pour la crevette ; ○ Une aération maximale continue est efficace (mais peu rentable) et assure un niveau d'oxygène optimal mais ne dépassant pas les 100% de saturation ; ○ La mise en marche des aérateurs (bien dimensionnés) dans les tranches horaires adéquates constitue la meilleure gestion. Elle permet de conserver, notamment, le bénéfice du gain d'oxygène dissous (en hachuré vert) produit par photosynthèse qui serait perdu (fuite vers l'atmosphère) en mettant en route les aérateurs à pleine puissance.

### 5.3.5. Perspectives

Il est à prévoir que l'utilisation de l'eau par la crevetticulture sera de plus en plus contrôlée par les autorités gouvernementales (Boyd, 2000a). Toutefois, la législation devra suivre les progrès des innovations technologiques (Peterson, 2001) et les surcoûts engendrés localement tant au niveau des investissements que du fonctionnement. Par ailleurs, la solution séduisante du *zero-water exchange* n'est pas sans risque pathologique et sans conséquence pour l'image de la crevette locale (hyper-intensif vs. semi-intensif). Enfin, la gestion des taux de renouvellements réduits n'est efficace que dans les bassins de petite surface (Clifford, 1997).

La voie à suivre pour optimiser la gestion du renouvellement à la fois sur l'aspect économique et environnemental (dans et à l'extérieur du bassin) est une meilleure compréhension du mode de fonctionnement optimal de l'écosystème bassin type calédonien. Ces bases étant acquises, il est alors possible de réduire le pompage tout en sécurisant la production comme certains y parviennent déjà. Nous en voulons pour preuve, la quantité d'eau utilisée pour produire 1 kg de crevettes. Cet indice varie généralement de 100 à 200 m<sup>3</sup>/kg de crevette dans les différents pays producteurs sur le mode semi-intensif. A partir de la base Stylog, on constate que parmi la dizaine d'élevages d'une ferme familiale (rendement 3 - 4,5 t/récolte) répertoriés, plusieurs aboutissent à des valeurs ≈ 95 m<sup>3</sup>/kg de crevette. De telles performances, <100 m<sup>3</sup>/kg, situe cette ferme dans le cercle des entreprises à gestion extrêmement efficace et rentable de l'eau (Clifford (1992).

## 5.4. Indicateurs de mortalités

En Nouvelle-Calédonie, les biologistes des fermes ont développé des procédures originales de surveillance des mortalités du cheptel dans leurs bassins. Il s'agit du comptage des mortes et de l'observation des oiseaux. Ces suivis vont du simple constat occasionnel à la définition d'indices complexes corrélant un nombre de cadavres observés à une soustraction en retour d'un nombre d'animaux de la biomasse précédente.

### 5.4.1. Observations des oiseaux

Toutes les espèces d'oiseaux n'apportent pas les mêmes informations sur les conditions du bon déroulement de l'élevage. Les espèces prédatrices vraies, canards japonais, aigrettes, butors et buse ne sont pas informatives des épisodes de mortalités. On ne peut confirmer ou infirmer que leur présence est signe de bonne survie dans les bassins en spéculant sur le fait que l'intensité de la préation serait proportionnelle à la biomasse du cheptel.

Seules les mouettes et les sternes (plus fréquemment observées), sont à prendre en compte. Le plumage fortement hydrophobe de ces espèces ne leur permet pas de plonger profondément (effet bouchon de liège) pour saisir les crevettes sur le fond du bassin à l'instar du cormoran. Elles repèrent en vol et ne capturent que les proies nageant en dessous de la surface.

#### ***Sindroma gaviota***

La présence de ces deux oiseaux, mouettes et sternes, sur un bassin est un signe avant coureur ou déjà avéré d'un dysfonctionnement d'un bassin à tel point que l'on parle de *Sindroma gaviota* (syndrome de la mouette en espagnol) sur les fermes équatoriales qui subissent des mortalités. Les crevettes capturées sont des individus qui nagent de manière erratique en surface, les fameuses moribondes ou subclaquantes dans le jargon crevetticole calédonien.

#### **Limites et intérêt**

Il existe une certaine demande pour que la base Stylog prenne en compte les informations concernant les oiseaux, pour mieux caractériser les épisodes de mortalité. Dans cette optique, il conviendrait de fusionner sous un même vocable mouette (tête blanche et pattes rouges) et sterne (bec fin jaune et tête noire) assez difficilement reconnaissables de loin. Il conviendrait de se limiter à des ordres de grandeur assez vagues 0, 1 - 5, >10 car les nombres observés semblent difficilement corrélables à l'intensité des mortalités.

### 5.4.2. Observations des mortes

#### **Différents comptages**

A la demande des aquaculteurs, la base Stylog met en banque plusieurs systèmes de comptages des mortes :

- au bord des digues ;
- sur les mangeoires ;
- sur les panneaux filtrants de sortie ;
- récoltées à l'épervier (échantillonnage de routine ou sondages de crises).

#### **Restrictions**

##### **Mortes sur les pentes des digues**

L'observation des cadavres commence généralement après la phase 0 à 1 g, lorsque les animaux atteignent deux à trois centimètres et sont suffisamment repérables. Avant, l'opération est effectuée en plongée par un dénombrement sur le fond tant que la visibilité est bonne.

Si l'on cherche à développer des indices de mortalités, il est impératif de standardiser la méthode de surveillance.

Pour des unités de l'ordre de la dizaine d'hectare, les linéaires de digues atteignent plusieurs centaines de mètres ( $200 * 500 \text{ m} = 10 \text{ ha}$ ). De sorte qu'il convient de choisir une seule digue ou une partie de cette digue pour que l'observation à pied ne soit pas trop contraignante.

Le choix de la digue doit tenir compte de :

- son orientation par rapport au vent (choisir une digue abritée) ;
- sa pente (préférer une pente douce qui retient mieux les animaux échoués) ;
- sa nature (matériau fin, absence d'enrochements qui masquent les mortes) ;
- sa couverture algale (absence d'amas d'algues filamenteuses qui dissimulent les cadavres) ;
- son orientation par rapport au soleil (éviter le soleil rasant du matin de bonne heure qui gêne l'observation).

La fréquence journalière doit être respectée (matin et/ou soir) et prise en compte dans la donnée transférée à la base de données Stylog.

Il est fortement recommandé que la première ronde soit faite toujours à la même heure et avant le nourrissage. Certains techniciens procèdent en vélo, en mobylette, en moto ou avec d'autres véhicules. Ces moyens d'évaluation sont à proscrire, notamment compte tenu des biais possibles évoqués précédemment.

## Autres observations des mortes

L'analyse des mortes sur mangeoires dépend largement du soin apporté au relevé (en position horizontale et lentement).

L'inspection des cadavres sur les filtres de sortie est délicate dans la mesure où ils sont plaqués par la force du courant à différentes profondeurs. Les plus profonds (rappel dimension du filtre  $\approx 1,70 - 1,90 \text{ m}$ ) échappent systématiquement au raclage à la main effectué à environ la hauteur du coude.

Le décompte des mortes par lancer d'épervier (échantillonnage de routine) souffre de la fréquence (hebdomadaire vs. journalière) ou du différé de son déclenchement après une crise.

## Relations nombre de mortes et mortalités

### Ordres de grandeur : rappel

On rappelle que dans un élevage (bassin de 10 ha ensemencé à  $20/\text{m}^2$  avec une survie finale de 50%), la mortalité en routine après 1 g est en théorie de 5 000 mortes/jour ou 35 000 mortes tous les 7 jours en considérant que l'essentiel de la mortalité naturelle est concentrée sur le(s) jour(s) de la mue.

Dans les cas de mortalités massives dues à des vibrioses à *Vibrio penaeicida* (syndrome 93) et/ou à *Vibrio nigriflavidus* (syndrome d'été), les pertes de cheptel avoisinent les 25 - 30 % représentant quelques 500 000 - 600 000 décès en quelques jours ( $\approx 50\ 000 - 100\ 000/\text{jour}$ ).

L'analyse des mortes réellement comptées en bord de bassin d'une ferme familiale (bassin de 11 ha à  $20/\text{m}^2$ ) révèle des chiffres de mortalités naturelles de 0,1 à 19 mortes/j en moyenne avec des maxima de 10 000 à 37 000 en périodes de crises. Cette différence d'ordre de grandeur pose un problème qui sera examiné ci-dessous (Tableau 81).

Tableau 81 – Mise en relation du nombre de mortes au bord du bassin avec la survie finale. Aucune corrélation n'apparaît.

(Sources : *Observations quotidiennes (une fois/jour) des cadavres en bord de digue d'un bassin de 11 ha ensemencés entre 17 et 20/m<sup>2</sup>*).

Année	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
<b>Nombre initial animaux x 1000</b>	1 806	1 906	1 998	2 200	2 200	2 050	22 450	22 410	2 200
<b>Survies finales (%)</b>	66,2	69,4	66,8	74,0	70,2	53,4	72,7	69,4	58,3
<b>MORTALITE</b>	Nb total mortes/élev	332	10 028	164	4 152	39 830	2 536	1 765	2 346
	Moyenne mortes/jour	1,7	5,1	0,9	19,2	204	13,4	10,5	12,3
	Maximum Mortes/jour	50	10 000	100	480	37 200	300	300	250
	Nb jours pics > 50 mortes	2	1	1	21	2	15	9	16
									15

### Non validation du comptage des mortes comme outil de gestion de la biomasse

Comme le soulignent les survies finales décrites dans le tableau précédent (Tableau), il paraît difficile de relier le nombre de mortes comptées au bord que ce soit en terme de moyennes, de maxima, de pics de mortalités ou de durée d'épisode à plus de 50 mortes/j, à l'impact réel sur la population présente dans le bassin. Les comptages de mortes au bord ne peuvent constituer un outil de gestion de l'estimation de la biomasse.

Lorsque les rondes d'inspection des mortes ont été systématisées sur les élevages dans les années 90, il s'agissait d'amener le personnel encadrant à s'investir davantage dans les observations de terrain pour se rapprocher d'une gestion écosystémique et moins mathématique. La finalité du tour des mortes demeure de contraindre le personnel à s'investir davantage dans la vie du bassin, d'en appréhender les dysfonctionnements et ainsi de mieux anticiper.

La précision du dénombrement n'est pas d'une très grande importance. En outre, il semble difficile de pousser trop loin l'interprétation des différentes observations de terrain et de discriminer les mortalités naturelles, de celles liées à une mue atypique, ou occasionnées par les pêches ou par vibrioses.

Enfin, dernière précaution, pour minorer la contamination horizontale par ingestion d'animaux septicémiques, il est avisé de récolter les mortes à l'aide d'un seau et de les brûler.

#### 5.4.3. Conclusion

Les oiseaux (sternes et mouettes) sont de très bons indicateurs du dysfonctionnement de l'écosystème bassin. Ils présentent l'avantage d'être très visuels. Ce sont des outils plus sensibles que le décompte des mortes au bord. La durée de leur présence, plus que leur nombre, traduit l'intensité de la perturbation qui affecte le cheptel. En revanche, leur décompte approximatif quasi instantané, dessert l'objectif second mais cependant important sur le long terme de ce type d'intervention qui est d'impliquer plus fortement le personnel dans le suivi du bassin.

Les comptages des mortes permettent de déterminer les périodes de fortes mortalités mais moins les périodes d'affaiblissement chronique du cheptel sur les bassins. Le type d'observation journalière des mortes (sur le bord, les mangeoires ou sur les filtres) et sa fréquence quotidienne importent peu. Il faut choisir la procédure standardisée la plus simple et fiable pour pouvoir détecter le démarrage d'un dysfonctionnement (une à deux mortes sur une longueur de 500 m est déjà un indicateur). L'ordre de grandeur, dizaines, centaines, milliers de cadavre, donne une

idée approximative de l'importance du dérèglement instantané de l'élevage ou d'une partie de cet élevage, mais ne permet pas de le corrérer en cours d'élevage avec un pourcentage rigoureux de mortalité effective.

Il semble utile de prendre en compte les informations qualitatives apportées par les deux indicateurs de mortalités (oiseaux et mortes) sans négliger l'un par rapport à l'autre. En effet, la durée de présence des oiseaux est généralement plus longue que celle de mortes ou moribondes au bord. Mais les deux périodes ne se superposent pas obligatoirement : présence de mouettes sans mortes et inversement.

L'estimation des pertes réelles ne peut être faite qu'en recoupant les informations provenant des mangeoires et du réajustement à la baisse subséquent de la ration ainsi que de la diminution des prises par épervier.

## 5.5. Signes de dysfonctionnement

### 5.5.1. Accumulations et mouvements de crevettes en bord de digues

La présence en nombre important d'animaux moribonds ou léthargiques en bord de digue ou cherchant l'air en surface ou bien encore massés devant les moines d'entrée indique clairement un dysfonctionnement important du bassin (hypoxie, températures élevées et/ou rupture d'équilibre hôte-pathogène-causes environnementales).

La signification de bancs de crevettes nageant en files le long des digues peut être multiple :

- ① une sous nutrition (Anonyme, 1978) ;
- ② un fond impropre à la vie de la crevette, comme dans le cas d'un sédiment souillé par une pollution par hydrocarbure (Cf. Chap.IV § 2.1) ou de conditions physico-chimiques infra critiques (eau du fond bouillante et désoxygénée induite par une lentille d'eau douce de surface), etc. ;
- ③ une toxicité dans l'aliment (insecticide Malathion 0,2 - 1,0 mg/kg, Della Patrona, 2000).

La confirmation de l'origine de cette activité atypique est apportée par l'absence ① ou la présence ② de restes sur les mangeoires et par un comportement de nage électrique (Choune, 1994) ③.

### 5.5.2. Concentrations de poissons et de crabes

Des alignements considérables de *Gobiidae* (lochons) en pied de digue ou aux moines d'entrée et/ou des remontées en spirale en surface de petits crabes sont liés à des relargages de substances réduites provenant de la dégradation en anaérobiose de la MO sédimentaire (Anonyme, 1978 ; Villalon, 1991).

### 5.5.3. Mauvaise odeur

Une forte odeur de boue accompagnée d'une coloration marron ou orangée de l'eau est caractéristique d'un bloom important (plusieurs centaines de milliers de cellules par mL) de dinoflagellés appartenant au genre *Gymnodinium* spp. (Cf. Chap.2 § 2.6.3). On rappelle qu'il n'a jamais été observé d'effet létal d'un bloom d'eau rouge sur *L. stylirostris*. Toutefois, cette efflorescence peut être indicatrice de conditions environnementales déstabilisantes pour le cheptel (forte charge organique, hypoxie).

Des effluves sentant l'œuf pourri (relargage d'hydrogène sulfuré H<sub>2</sub>S) ont pour origine un fond réduit et/ou des amas de tapis de cyanophycées venant s'échouer sur les digues ou s'agglomérer sur les panneaux filtrants de sortie.

#### 5.5.4. Présence d'écume blanche ou TEP sur les bassins

L'écume blanche qui se forme sur les bassins est constituée d'exopolymères, essentiellement composés de polysaccharides tensioactifs qui coagulent entre eux pour former des particules exopolymériques transparentes (TEP, Photo 47) (Alldredge *et al.*, 1993). Dans les bassins crevetticoles enrichis en sels nutritifs, ces composés représentent une part très importante de la matière organique produite par photosynthèse. Les polysaccharides dissous peuvent être libérés en cas de chutes de blooms de microalgues (rupture des cellules) mais également par des algues stressées ou en bonne santé fortement productrices de mucilage telles que les cyanophycées caractéristiques de milieux eutrophisés appartenant aux genres *Anabaena* spp. et *Microcystis* spp. (toxique pour la crevette).



Photo 47 –TEP sur un bassin de crevette  
(© J. Fournier).

Grâce à leur rôle central dans les mécanismes d'agrégation (Mari et Burd, 1998) et de sédimentation (Azetsu-Scott et Passow, 2004), les exopolymères libérés par le phytoplancton sont importants pour les flux de matière en milieu marin. Néanmoins, les TEP, particules très adhésives, sont à l'origine de la formation d'agrégats mixtes avec les particules en suspension dans le milieu tels le phytoplancton ou les détritus mais également les bactéries (vibrios) et les virus (Engel, 2000). Ils sont suspectés d'augmenter les chances de transmission des maladies des élevages de mollusques. Ils pourraient notamment servir de réservoirs lorsque ces agrégats concourent à concentrer les pathogènes dans leur matrice (Lyons *et al.*, 2005).

#### 5.5.5. Présence d'algues filamentueuses sur les digues

Le développement important et précoce d'algues vertes filamentueuses sur les digues d'un bassin (Photo 48) est un indicateur d'eutrophisation. Il indique un enrichissement anormalement élevé de la colonne d'eau en sels nutritifs relargués par un sédiment à forte teneur en MO réactives.



Photo 48 – Amas d’algues vertes filamenteuses dans un bassin hypereutrophisé.

*Un mois après la mise en eau, des algues vertes forment une bande de 50 à 75 cm de large sur tout le pourtour du bassin de cette ferme qui connaît des problèmes récurrents de production.*

### 5.5.6. Baisse de pression atmosphérique

Des phénomènes de mortalités anormalement élevées en période d’orages violents d’été (France) sont bien connus et fréquemment observés chez les mollusques (huîtres) et chez les crustacés en relation apparente avec une variation rapide de la concentration en gaz dissous (Chartois *et al.*, 1994). De telles crises, soulignées par des vols d’oiseaux, peuvent se produire également dans les bassins d’élevage de crevettes en période cyclonique. La baisse brutale de la pression atmosphérique est susceptible de stresser la crevette (Anonyme, 2006b). Ces journées s’accompagnent d’une couverture nuageuse défavorable à la production d’oxygène par le phytoplancton, de pH bas, d’une température élevée de l’eau sous saturée en O<sub>2</sub>, conditions stressantes pour le cheptel.

### 5.5.7. Remèdes

Les seuls leviers dont dispose l’aquaculteur sont le changement d’eau, la mise en route des aérateurs, la fertilisation et la diminution des quantités d’aliment qu’il faut utiliser à bon escient après une bonne analyse des causes (Cf. Chap. 3, Bases biologiques). L’ajout dans l’eau d’agents chimiques (chaux agricole, sulfate de cuivre) est à proscrire.

Une forte vidange peut conduire à un rinçage salutaire des substances toxiques dissoutes, apporter une eau un peu plus oxygénée, chasser les eaux rouges, abaisser les teneurs excessives en sels nutritifs. Mais un tel lessivage peut également stresser directement la crevette, déstabiliser l’écosystème et éliminer en particulier le meilleur oxygénéateur du bassin que constitue le phytoplancton.

Le démarrage d’une oxygénation de secours (si l’on en dispose) est certainement un des moyens les plus efficaces (Anonyme, 2006b). Toutefois la mise en route brutale des aérateurs peut provoquer la remise en suspension de la boue du fond. Le relargage de substances toxiques peut affaiblir la crevette et provoquer une rupture d’équilibre hôte-pathogène favorable à l’émergence d’une vibriose sévère (Anonyme, 2006c).

La fertilisation, en présence d’un fort ensoleillement, est un procédé intéressant pour faire redémarrer le plus rapidement possible du phytoplancton producteur d’oxygène et compétiteur par ombrage d’un tapis de cyanophycée. Mais l’ajout d’engrais dans un rapport azote/phosphore inapproprié et/ou le type de fertilisant employé peuvent accentuer le déséquilibre.

La diminution des quantités d’aliment, premier fauteur de troubles d’un élevage selon Boyd (1992a et b), est assurément la manière la plus efficace (Anonyme, Elevage de la crevette *Litopenaeus stylirostris* en Nouvelle-Calédonie

2006b) de réhabiliter les conditions de l'espace vie de la crevette. Néanmoins, il faut s'assurer au préalable de la qualité intrinsèque du granulé (conservation, toxicité) qui peut conduire à des troubles nutritionnels affectant la santé de la crevette (Tacon, 2000b).

## 5.6. Tableau de bord de conduite d'élevage

La plupart des fermes calédoniennes disposent d'un tableau de pilotage informatisé pour faciliter la gestion de l'élevage ([Tableaux en annexe 5 et 6](#)). Le degré de sophistication des paramètres pris en compte varie du modèle le plus simple au plus complexe qui intègre les données économiques de la ferme.

# 6. Pêches

## 6.1. Généralités

En Nouvelle-Calédonie, les bassins gérés sur le mode intensif de 3 - 4 ha ( $\approx$  15 - 20 t) et ceux conduits sur le modèle semi-intensif de 8 - 11 ha ( $\approx$  35 - 45 t) ne sont pas récoltés en une seule fois mais à l'occasion de plusieurs pêches partielles (de 2 à 12 par bassin).

Cette diminution progressive de la densité s'opère par pêche de 4 t et plus rarement de 8 t. Cette stratégie permet aux aquaculteurs de valoriser leur production tout en maîtrisant la biomasse du cheptel afin qu'elle reste gérable compte tenu des capacités de renouvellement et d'aération.

Suivant les marchés prévisionnels négociés par les sociétés de transformation et de commercialisation, des quotas de calibres sont parfois demandés aux éleveurs en début de campagne de production soit par exemple :  $\frac{1}{4}$  de petites de calibre 50 - 60 (16,7 - 20 g) ;  $\frac{1}{2}$  de moyennes 30 - 40 (25 - 33,3 g) et  $\frac{1}{4}$  de grosses 20 - 30 (33,3 - 50 g). Des primes sont alors attribuées en cas d'objectif global atteint par la filière en fin de saison. Connaissant les dates et les densités d'ensemencements, chaque éleveur peut en déduire les vitesses de croissance et les survies probables de ses élevages et réaliser son planning de pêches partielles pour la campagne à venir.

Les opérations de pêches peuvent être séparées en deux étapes :

- ① pêche et transport : ceci comprend la pêche et l'abattage par le froid des crevettes et leur transport de la ferme à l'entreprise de transformation. Cette phase est importante pour la qualité sanitaire du produit et pour sa fraîcheur ;
- ② transformation : étape qui débute au déchargement des clayettes à l'entreprise de transformation. Elle comprend le tri et le nettoyage des crevettes réceptionnées, la cuisson et/ou la congélation des produits et un tri final permettant d'obtenir un produit conforme aux caractéristiques du cahier des charges liant l'aquaculteur à l'usine.

## 6.2. Préparation des pêches

### 6.2.1. Semaine précédant la pêche

#### Ressources humaines et logistiques

L'aquaculteur doit confirmer à l'avance auprès de l'atelier de conditionnement son ou ses créneaux de pêches qui ont été planifiés de longue date par celui-ci et

reprécisés sur une base mensuelle. En cas de décommande au dernier moment, une pénalité est octroyée au fautif. Des échanges de créneaux entre fermes sont possibles mais doivent être validés par l'atelier.

Une semaine avant, le fermier doit contacter un transporteur et réserver son tonnage de glace paillette à un entrepôt frigorifique. Il lui commande également le métabisulfite de sodium (anti-mélanisation de la carapace). Généralement, le transporteur se charge de récupérer les clayettes prêtées par l'usine ( $\approx 400$  unités), le méta ( $\approx 250$  kg) et la glace ( $\approx 4$  - 5 tonnes).

La plupart des crevetticulteurs emploient une main d'œuvre occasionnelle pour les pêches, une douzaine de personnes, qu'il est prudent de prévenir très longtemps à l'avance.

Il convient de vérifier que le coefficient des marées n'interfèrera pas avec le bon déroulement de sa pêche :

- marée trop haute, empêchant la vidange du bassin ;
- marée trop basse, interdisant le pompage pour remonter rapidement le niveau d'eau du bassin après la pêche.

## Bassin

### Poids moyen et calibres prévisionnels

A l'aide du dernier échantillonnage et de la vitesse moyenne de croissance des trois dernières semaines, le biologiste extrapole le poids moyen à la semaine suivante. Il détermine ainsi et à l'aide des tables fournies par l'usine de transformation (ou sur ses propres données ferme) la répartition probable par calibre de sa prochaine pêche ([Tableau en annexe 7](#)). Il peut alors calculer la valeur de sa production compte tenu des grilles de prix/qualité/calibres établies en début de campagne.

## Stades de mue

La dureté et l'aspect de la carapace zéro défaut qui conditionnent le prix du produit sont largement liés au cycle de la mue. L'aquaculteur doit donc savoir de manière assez précise une semaine à l'avance si le jour programmé de la pêche la majorité du cheptel sera à un stade favorable. Compte tenu de l'état actuel des connaissances sur ce cycle (Perrier, 1990), il convient de réaliser deux (grosses animaux et/ou températures basses) ou trois (petits animaux et/ou températures élevées) sondages hebdomadaires préalables pour appréhender le cycle de la mue ([figure 101](#)). Il est donc fortement conseillé de commencer les observations une quinzaine de jours avant la date présumée de la récolte.

	Evolution de la mue			Commentaires
	Stade B	Stade D <sub>0-3</sub>	Stade D <sub>4</sub>	
<u>Jour 0</u>	++	+++	+	Pêche exclue dans les un à trois jours
<u>Jour 1</u>	+	+++	++	Jours 7 à 9 : anx mous, cartos, Nbx BS) Si anx petits (18 g) et T°C élevée (28°C) possibilité de repêcher dès~J <sub>8</sub> (mue synchr./ intermue courte).
<u>Jour 6</u>	-	++	+++	Si anx gros (30 g) et T°C basse (22°C) impossibilité avant ~J <sub>11</sub> (mue étalée/ intermue longue)
<u>Jour 0</u>	+	+	+	Pêche assurée dans les un à trois jours
<u>Jour 1</u>	++	+	-	Jours 7 à 9 : anx sans défaut et durs Si anx petits (18 g) et T°C élevée (28°C) possibilité de récolter qq anx cartos+BS dès~J <sub>9</sub> , Si anx gros (30 g) et T°C basse (22°C) possibilité de récolter jusqu'à ~J <sub>11</sub>
<u>Jour 6</u>	+++	++	-	
<u>Jour 0</u>	+++	++	-	Pêche risquée dans les un à trois jours
<u>Jour 1</u>	++	+++	-	Jours 7 à 9 : anx durs, qq défauts Si phase quartiers lune à venir entre J <sub>7</sub> -J <sub>10</sub> : pêche exclue ;
<u>Jour 6</u>	+	++++	+	Si anx petits (18 g) et T°C élevée (28°C) : pêche à reporter J <sub>11</sub> ou à avancer J <sub>7</sub> ; Si anx gros (30 g) et T°C basse (22°C) : pêche possible mais tendance anx avec de plus en plus de défauts

Figure 101 – Tableau décisionnel d'une pêche en fonction de l'évolution des stades de mue selon trois cas types. Les + indiquent les pourcentages croissants des stades.

## 6.2.2. Veille de la pêche

### Atelier de pêche

Sur certaines fermes, chaque bassin dispose d'une aire de pêche attenante au moine de pêche. Sur d'autres, un atelier-dock centralise le produit des récoltes, dispositif qui nécessite un moyen de transport adapté. L'aire de pêche (préalablement homologuée par le service d'hygiène) peut se présenter comme une simple dalle de béton, protégée des intempéries ou non par une structure amovible ou bien encore comme un véritable petit atelier en dur (Photo 49).



Photo 49 – Atelier de pré-conditionnement des récoltes attenant au moine de pêche.

## Eau

Dans la plupart des cas, le réseau d'eau douce fait défaut sur la zone de pêche. Une cuve amovible de 500 L surélevée est remplie au préalable à partir d'une citerne disposée sur un pick-up et disposant d'une pompe électrique. Cette quantité est largement suffisante pour les besoins à satisfaire (lavage porte et benne du camion réfrigéré).

Le remplissage, le rinçage, la recirculation des bacs ainsi que le nettoyage des arrivages de crevettes sur la table de tri et le maintien de la propreté de la salle nécessitent des quantités très importantes d'eau. De sorte qu'une motopompe doit être installée - avec une réserve de carburant pour tenir plus de 12 heures - près du canal d'amenée pour distribuer de l'eau de mer propre via un réseau parfois long de plusieurs centaines de mètres. Il est prudent de protéger l'appareil de la pluie dans un abri (1/2 caisse sommaire), d'y laisser une lampe torche, de le tester au préalable et de prévoir une bougie d'allumage de secours. L'aspiration est munie d'une crête et maintenue à mi-hauteur du canal par des poids.

L'ensemble du matériel est nettoyé (pistolet à pression) avec un détergent antibactérien. Le sol est lavé à l'aide d'un produit à base de chlore. Des pédiluvies remplis d'un produit désinfectant sont placés à chaque point d'entrée de la salle.

## Lumière

Ces zones sont rarement équipées de lumière. Un groupe électrogène dimensionné avec son réservoir de secours et testé doit être positionné pour l'éclairage de plusieurs zones clés :

- un projecteur halogène orientable de type spot pour la porte arrière du camion frigorifique ;
- une série de néons au plafond pour l'atelier de traitement ;
- un spot pour le couloir de pêche et la pompe à crevette ou le filet ;
- un point lumineux au niveau du moine de pêche et un spot éclairant la zone devant celui-ci.

## Métabisulfite

Un type de gestion de la concentration du métabisulfite est proposé. Il en existe d'autre sur les fermes.

Une cuve d'environ 1 000 L surélevée pour pouvoir délivrer par gravité le mélange

eau de mer - métabisulfite via un tuyau souple équipé d'un robinet est remplie comme suit :

- 400 L d'eau de mer et 100 kg de métabisulfite pour des crevettes de 20 g ;
- 400 L d'eau de mer et 125 kg de métabisulfite pour des crevettes de 25 g ;
- 400 L d'eau de mer et 150 kg de métabisulfite pour des crevettes de 30 g.

La dilution du métabisulfite est assez difficile et requiert un certain temps, manuelle avec manche de bois ou mécanique avec une perceuse disposant d'un axe inox long sur lequel a été soudée une hélice. Pour ces opérations il est obligatoire de disposer d'un masque de protection respiratoire d'un modèle conforme aux normes de sécurité pour le métabisulfite de sodium.

### **Check-list**

Il est conseillé au responsable des pêches d'écrire un protocole simplifié de toutes les opérations de pêches, de les affiner campagne après campagne et d'établir des *check-lists*. La *check-list* suivante est proposée à titre indicatif :

- pistolet + tuyau + bidon détergent ;
- balais type cantonnier pour pousser les crevettes dans le couloir de pêche ;
- deux pédipluves + bidon de désinfectant ;
- cinq bacs de traitement, type abreuvoir de 1 050 L ;
- un bac supplémentaire pour stocker la glace pilée/clayettes ;
- huit caillebotis afin d'éviter la pollution par contact avec le sol (glace, clayettes pleines et vides, paniers, *etc.*) ;
- thermomètres à pointe (pour piquer à cœur les crevettes et mesurer la température des bacs) ;
- minuteur ;
- groupe 5 KVA, néons, halogènes + supports, rallonges ;
- deux tables (extérieur + intérieur) ;
- repas + boissons pour le personnel ;
- table de tri (une ou deux) ;
- cuve à eau modifiée 1 000L pour métal. + trépied + seau gradué ;
- réseau alimentation bacs anti stress ;
- tabliers, bottes, charlottes, gants, combinaisons de plongée ;
- deux filets (dont un de secours) ;
- documents atelier conditionnement, scellés pour fermer porte du camion frigorifique ;
- deux pelles inox, type à grain, pour la glace pilée ;
- quatre cageots de 120 L pour transfert des crevettes filet/table tri ;
- dix raclettes pour pousser les crevettes sur table de tri ;
- tableau blanc + feutres pour noter les quantités ;
- 50 paniers traitement, manutention crevettes.

### **Bassin**

#### **Nettoyage du moine**

Pour la première pêche, les parois intérieures du moine côté bassin et couloir de pêche sont totalement débarrassées, à l'aide de grattoirs, des balanes qui sont

susceptibles d'infliger des lésions aux crevettes et de déprécier leur valeur. Les batardeaux de niveau et de renouvellement sont enlevés, vérifiés et grattés. Toute planche défectueuse (détériorée par les xylophages) pouvant se rompre sous la pression d'eau au cours de la dizaine de pêches à venir doit être changée. Les rainures (colmatées) sont vérifiées. Le cas échéant, les éboulis des digues obstruant l'entrée du moine de pêche doivent être dégagés à la pelle.

Pour les récoltes ultérieures, seul l'état de propreté du béton extérieur est inspecté.

## Installation du filet

Certaines fermes disposent de pompes à crevettes qui aspirent les crevettes dans une cage en grillage métallique coiffant la buse de sortie et les transfèrent directement sur la table de tri. D'autres emploient des filets type chaussette de plusieurs mètres de longueur fixés sur un cadre en bois glissé dans les rainures du couloir de pêche. Pour ce dernier dispositif, il est fortement conseillé d'inspecter avec grand soin l'état du filet (trous), de vérifier la ligature fermant l'extrémité, de contrôler que le cadre est parfaitement enfoncé dans les rainures et de prévoir un filet monté sur cadre en secours. Le filet doit être maintenu au maximum hors d'eau pour éviter sa détérioration par les crabes dans la période précédant l'opération de pêche.

## Descente et remontée du bassin

Afin d'optimiser le rendement (kg crevettes/heure), le niveau d'eau du bassin au démarrage de la pêche est adapté à la biomasse du cheptel. Cette descente est déclenchée la veille de l'opération. Il appartient à chaque ferme d'établir ses propres abaques de descente bassin par bassin ([Tableau 82](#)), chaque site ayant ses caractéristiques spécifiques. Il est recommandé d'installer des repères de niveau sur le moine servant de référence.

Tableau 82 – Aboque de descente avec indication de déroulement des pêches.

*Modèle mis au point par une ferme familiale pour un bassin de 11 ha, de hauteur d'eau normale 1,55 m.*

Date	Age (jour)	Poids moyen (g)	Quantités (kg)	Heure début de pêche	Heure fin de pêche	Niveau d'eau départ (m)	Niveau d'eau final (m)	Rendement (kg/h)
29/01/2002	106	19,0	4 541	17h00	21h30	1,35	1,25	1 010
11/02/2002	119	20,6	4 605	04h00	09h40	1,38	1,28	838
20/02/2002	128	23,0	4 100	04h00	10h00	1,27	1,19	684
08/03/2002	144	26,1	3 846	04h00	10h00	1,30	1,12	641
15/03/2002	151	27,5	3 978	04h00	09h30	1,18	1,05	724
28/03/2002	164	30,5	4 190	04h00	09h30	1,05	0,95	762
11/04/2002	178	32,5	4 130	04h00	10h00	0,95	0,85	689
23/04/2002	190	35,9	4 140	04h00	10h00	0,85	0,75	690
29/04/2002	196	36,7	3 958	04h00	09h20	0,75	0,65	792
22/05/2002	219	40,1	3 473	04h00	15h00	0,60	0	316

Très grossièrement, pour un bassin d'une dizaine d'hectares, il faut, pour les trois premières récoltes, pour un total de 35 - 40 t, baisser la hauteur d'eau normale d'environ 20 cm (une planche). Pour les suivantes, il est conseillé de débuter avec le niveau d'eau final de la précédente.

A la fin de la récolte partielle, le niveau d'eau doit être remonté le plus rapidement possible afin d'éviter un échauffement excessif de l'eau (opération finissant en matinée) et/ou des valeurs trop basses d'oxygène en fin de nuit, et pour inciter les animaux à coloniser de nouveau un maximum de l'aire du bassin. Il est donc conseillé aux opérateurs des entreprises pénalisées par des sites de pompage particuliers de faire coïncider les horaires de fin de pêche avec ceux des coefficients de marée favorables. Pour les premières récoltes, les moines d'entrée sont encore équipés de panneaux filtrants qu'il convient de nettoyer ou de changer en passant

sur grosse maille, pour faciliter le renouvellement. Plus tard dans les élevages, certaines fermes enlèvent simplement les filtres.

## Nourrissage et mise à jeun des crevettes

La veille des trois premières pêches, le nourrissage du bassin s'effectue en répartissant l'aliment de manière homogène sur toute la surface. Pour les récoltes ultérieures, la plus grosse partie de la dernière ration journalière est distribuée de manière à concentrer le cheptel devant le moine de pêche.

La mise à jeun des crevettes doit être effectuée au minimum 4 h avant la pêche. Cette pratique fait l'objet d'une vérification documentaire de la fiche d'enregistrement de la pêche (voir cahier des charges) sur laquelle sont reportées l'heure du dernier repas et l'heure de début de pêche. Cette précaution évite de récolter des animaux inconsommables qui seraient de plus décotés pour cause de tube digestif rempli de granulé.

## 6.3. Mise en route de la pêche

### 6.3.1. Organisation

Chaque entreprise a sa propre organisation qui dépend notamment de l'emploi d'un filet ou d'une pompe à crevette (économie de personnel vs. entretien mécanique) et des modalités du pré-conditionnement. Il peut s'opérer sur place ou nécessiter un transport via un véhicule (crevettes à sec ou dans une cuve) ou un réseau d'adduction (mélange eau de mer + crevettes) jusqu'à un dock atelier. Un schéma d'organisation simplifié par pêche au filet et préconditionnement sur dalle de pêche est proposé.

### Personnel et tâches

- trois hommes du personnel temporaire (PT) habillés de combinaison de plongée et de chaussons antidérapants positionnés au filet (couloir de pêche) ;
- deux hommes (PT) transfèrent les crevettes du filet à la table de tri à l'aide des cageots de 120 L (escalier puis table) ;
- quatre femmes (préférables) (PT) trient les crevettes sur la table, aidées à  $\frac{1}{4}$  temps par les deux ouvriers précédents. Deux cageots sont disposés sous la table pour les déchets ;
- deux hommes (PT) récupèrent les animaux triés dans les paniers disposés sous la goulotte terminale de la table. Ils vérifient le remplissage des paniers étalonnes à 12 kg. Ils passent ceux-ci dans les bacs de relaxation ou d'abattage. Ils réalimentent la table en paniers vides ;
- quatre hommes (PT) charrient les paniers des bacs de relaxation, à ceux d'abattage puis de traitement au métabisulfite. Ils remplissent les clayettes (un panier = une clayette), les recouvrent de glace, les rangent dans le camion. Ils déchargent au fur et à mesure les sacs de glace pour éviter qu'ils ne fondent.
- un homme superviseur n°1 appartenant au personnel de la ferme (PF) est chargé de l'écoulement régulier des crevettes (700 - 800 kg/heure). Il vérifie les quantités de crevettes stockées dans le filet (maxi. 50 kg) et donne l'ordre du transfert. Il réappâte si nécessaire. Il surveille le débit d'eau + crevettes en retirant ou ajoutant des planches de niveau à bon escient. Il est chargé des interventions d'urgence en baissant le panneau filtrant. Il régule les arrivages de crevettes sur la

- table de tri. Il anticipe la fin de pêche : fermeture du moine en relation avec n°2 ;
- un agent superviseur n°2 (PF). Il inspecte le tri des crevettes, gère, sur les critères durées, températures, concentrations en métabisulfite, les transferts des paniers entre les bacs de relaxation, d'abattage et le bain de métabisulfite. Il note le nombre de clayettes remplies. Il déclenche la fin de pêche. Il remplit les documents et pose les scellés sur le camion.

## Préparatifs atelier de pêche

Tout le personnel se lave les mains avec un produit chloré, enfile des bottes, des gants et des tabliers propres préalablement nettoyés et désinfectés. Le personnel à cheveux long dispose de charlottes jetables. Avant d'entrer dans la zone de pêche, les ouvriers rincent leurs bottes dans les pédiluves.

La porte arrière du camion est lavée au jet, à l'eau douce.

Toutes les clayettes, une partie de la glace et tous les sacs de métabisulfite sont déchargés. Le cas échéant la benne du camion est rincée à l'eau douce.

Les cagettes sont disposées par rang de huit pour faciliter la gestion des quantités (8 paniers x 12 kg ≈ 100 kg) sur des caillebotis devant la porte du camion.

Avant le remplissage des bacs, la qualité de l'eau de mer provenant du canal d'aménée est inspectée (5 mn minimum eau courante).

Les bacs d'abattage (1 050 L) sont remplis jusqu'à la moitié d'eau de mer propre. Les sacs de glace en paillettes sont ajoutés initialement de manière à ce que l'on ne distingue plus la surface de l'eau.

Le mélange du bac de traitement est fait avec 400 L d'eau de mer et de 100 à 150 kg de métabisulfite suivant la taille des crevettes et 4 sacs de 25 kg de glace pilée sont ajoutés.

## Actions sur le bassin

### Moines

Afin de canaliser le flux des crevettes et d'accélérer le courant sur le moine de pêche, le ou les autres ouvrages de sortie sont fermés.

Le renouvellement d'eau est généralement maintenu au cours de la pêche en fonction des possibilités de remplissage rapide en fin de pêche, de la topographie du bassin (forte ou faible pente qui régit la profondeur/densité des crevettes), de la teneur en oxygène dissous. Il ne semble pas qu'il y ait pour la souche calédonienne de rhéotaxie du moins dans la configuration de bassins de grande surface.

Habituellement, pour une ferme disposant de quatre entrées d'eau, les trois premières récoltes se déroulent avec quatre moines ouverts, puis les deux suivantes avec trois, ensuite les récoltes 4 et 5 avec deux, les récoltes 6 et 7 avec une seule et les dernières sans renouvellement.

### Filet

Le filet coiffe la buse de sortie ou est fixé sur un cadre en bois qui doit être particulièrement résistant (poids des crevettes + eau, force du courant) et de hauteur suffisante pour que les crevettes ne sautent pas par-dessus (> 1,75 m). Un modèle fréquemment utilisé possède les caractéristiques suivantes :

- filet tubulaire nylon haute ténacité ;
- longueur en place 7,00 m ;
- Largeur en place 1,40 m ;

- maille 15 mm ;
- fil type 210/120.

Dans l'ordre, on procède aux opérations suivantes :

- la ligature du filet est vérifiée ;
- les batardeaux intermédiaires sont enlevés ;
- les panneaux filtrants sont soulevés et bloqués en position intermédiaire (il ne faut pas les enlever complètement car en cas d'urgence, il faut pouvoir les faire coulisser immédiatement pour bloquer les crevettes à l'intérieur du bassin) ;
- les planches de niveau d'eau sont retirées en fonction de la hauteur et de la force du courant d'eau et du débit de crevettes adéquats et en relation avec la capacité du personnel à contenir la chaussette.

L'appâtage est possible dans les minutes qui précèdent le début de la pêche à condition que la quantité distribuée ne dépasse pas 0,4 % du poids de crevettes pêchées. La quantité d'aliment utilisé en tant qu'appât doit être enregistrée sur la fiche de pêche fournie par l'usine de transformation.

### Qualité environnement et surpopulation

L'oxygène dissous doit être mesuré à proximité immédiate et à une certaine distance devant le moine de pêche. Du fait de la concentration des animaux, des accumulations de boue habituelles au niveau de ces zones particulières et de la moindre hauteur d'eau, les teneurs sont souvent sub-létales  $\approx 1 - 2 \text{ mg/L}$ . Il faut vérifier si ces teneurs sont présentes dans le millier de  $\text{m}^2$  adjacents ou s'étendent à tout le bassin. Ces conditions sont exacerbées par les fortes températures, l'état déletére du fond, la hauteur d'eau et de la biomasse de crevettes. Il appartient au responsable de l'organisation des pêches de les minimiser à l'aide des outils dont il dispose, soit la vitesse de la descente, le niveau d'eau en sortie et le nourrissage de la veille de la pêche. La maîtrise d'un bon rapport qualité milieu/densité du cheptel est capitale pour limiter les pertes directes à la pêche ou celles ultérieures par stress induits. On rappelle que dans un tel environnement les crevettes sont soumises à des composés réduits toxiques produits par les bactéries anaérobies, des pathogènes, des substances fortement consommatrices d'oxygène et des fines minérales et organiques colmatant les branchies (Nga *et al.*, 2005).

Dans de telles conditions défavorables, *L. stylasteris* peut présenter une coloration caractéristique noire du corps avec les pattes rouges qui se maintient après sa mort et dévalorise la production.

## 6.4. Déroulement de la pêche

### 6.4.1. Table de tri

Les deux premiers cageots sont généralement mis de côté car ils contiennent de grandes quantités de déchets (balanes, crevettes mortes, *etc.*) qui risqueraient de contaminer inutilement la table de tri par des bactéries. Les arrivages ultérieurs sont déversés avec précaution afin d'éviter d'infliger des blessures aux crevettes ce qui augmente les risques de décote du produit final. Certaines tables sont équipées de grilles dont le vide de maille est interchangeable en fonction du calibre prévisible. Les animaux sont abondamment rincés au jet d'eau et poussés progressivement vers la goulotte de sortie à l'aide de raclettes.

Ils tombent dans des paniers reposant dans un bac d'eau de mer pour éviter leur écrasement. Cylindriques, ils présentent des dimensions  $h \approx 45 \text{ cm}$  et  $\mathcal{O} \approx 35 \text{ cm}$  suffisantes pour répartir en une faible épaisseur les crevettes et permettre la

circulation d'eau glacée et ou la balnéation par le métabisulfite. Ils sont généralement fabriqués en grillage plastique résistant de maille 10 - 12 mm, rigidifiés à l'ouverture et calibrés à 12 kg par une marque extérieure visible.

## Qualité microbiologique

Les crevettes mortes roses ou blanches, partiellement cannibalisées (yeux ou pattes manquants), ainsi que les fragments de crevettes sont éliminés en priorité afin d'éviter la contamination bactérienne des autres animaux sains. Un contrôle de la qualité microbiologique des crevettes est effectué à l'usine. Il repose sur le dénombrement des flores microbiennes à réception avec les méthodes et seuils du tableau 83.

Tableau 83 - Méthodes et seuils pour le contrôle de la qualité microbiologique des crevettes entières crues ou cuites, fraîches ou congelées.

Méthodes	Seuil
Micro-organismes aérobies à 30° C	10 <sup>5</sup> / g
Coliformes fécaux	1 / g
Anaérobies sulfito-réducteurs 46° C	2 / g
Salmonelles	Absence / 25g

En cas de seuils dépassés, une seconde analyse est réalisée pour confirmation avant d'entraîner une décote très préjudiciable de l'ensemble de la production (4 000 kg).

De sorte que toute personne qui quitte la salle de tri doit se relaver les mains au produit chloré et repasser par le pédiluve. Il est formellement interdit de fumer, de boire et de manger dans l'atelier.

## Tri systématique

Les individus tombés sur le sol, les queues de lot, les espèces sauvages et les crevettes molles ou envahies d'algues filamenteuses sont stockés à part. Tout ce qui n'est pas crevette est éliminé (cailloux, balanes, feuilles, algues) ou récupéré (crabes, poissons). En effet, la maîtrise du respect des spécifications du produit fini à l'usine de transformation repose sur :

- l'espèce ;
- l'intégrité de l'animal ;
- l'intégrité des appendices ;
- l'absence d'écrasement ;
- l'élimination des crevettes à carapace molle ;
- l'absence de crevettes présentant des pattes vertes, des tâches et de la mélanose ;
- l'absence de traces de déshydratation ;
- l'absence d'algues.

### 6.4.2. Bacs de relaxation (facultatifs)

Dans le cas d'animaux stressés présentant une teinte sombre et des appendices rougeâtres et/ou d'animaux aux branchies sales, un passage en bac de relaxation peut s'avérer utile. Ces deux bacs de 1 050 L alimentés par un courant continu d'eau de mer déstressent en quelques minutes les animaux qui reprennent leur coloration naturelle, gage de bonne santé et de valorisation optimale du produit.

### 6.4.3. Conditions d'abattage

Les paniers sont stockés dans les deux bacs d'abattage qui sont recouverts en permanence d'une couche épaisse de glace. La température du bain d'abattage doit être de 4 °C maximum. Les crevettes sont plongées dans le bain d'eau glacée pendant un temps suffisant permettant d'obtenir à la sortie une température à cœur des crevettes inférieure à 6 °C. Elles y séjournent au moins deux minutes et au plus dix minutes.

La maîtrise des températures d'abattage repose sur :

- l'évaluation de la quantité de glace nécessaire à la pêche afin d'assurer un approvisionnement suffisant en glace ;
- la vérification périodique sur chaque bac d'abattage de la température de l'eau ;
- la vérification par sondage à la sortie de chaque bac d'abattage de la température à cœur des crevettes ;
- la vérification documentaire des fiches de pêche sur lesquelles sont portées les températures relevées.
- Afin de faciliter la gestion de la pêche, il est conseillé de :
- passer les paniers par série de huit (batch de ≈ 100 kg) ;
- de les débarrasser des éventuelles paillettes de glace ;
- de les égoutter soigneusement sur le rebord du bac de manière à ne pas interférer (dilution) avec la concentration en métabisulfite de sodium du bac de traitement.

### 6.4.4. Limitation du traitement au métabisulfite ( $\text{Na}_2\text{O}_5\text{S}_2$ )

#### Généralités sur la mélanose et son traitement

La mélanose est un phénomène qui se développe chez les crustacés *in mortis* et qui entraîne un noircissement de ces derniers. Des enzymes (les polyphénoloxidases), en présence d'oxygène, transforment des complexes monophénols (incolores) en quinones (colorées). Ces quinones s'associent à des acides aminés pour former des polymères complexes bruns qui donnent un aspect noirâtre à la crevette. Le cycle de la mue influe fortement sur les phénomènes de mélénisation (Marshall *et al.*, 1988). Les crustacés, dont les pénéides, ont un taux de phénoloxidase très élevé juste avant la mue. Le minimum est observé immédiatement après (Ferrer *et al.*, 1989).

Les sulfites et donc le métabisulfite préviennent le noircissement des individus en réduisant l'oxygène présent au site d'activité des phénoloxidases, ce qui empêche la formation des quinones et par voie de conséquence des polymères bruns.

Le métabisulfite peut provoquer une réversion du phénomène de mélanose sur des animaux déjà mélano-sés. En revanche, la mélénisation reprend dès la disparition du métabisulfite. L'inconvénient majeur de ce produit est son danger pour la santé humaine. Les émanations de sulfites sont irritantes ( $\text{SO}_2$ ) et dangereuses par inhalation, contact avec la peau et ingestion. Les personnes souffrant de troubles respiratoires tels que l'asthme peuvent présenter une hypersensibilité au métabisulfite. Les vapeurs très corrosives attaquent et dégradent fortement les infrastructures métalliques.

Il existe d'autres moyens d'arrêter le brunissement enzymatique chez les crevettes. Il s'agit notamment (Milton, 1954) :

- de substances pouvant se combiner avec le cuivre du site actif de l'enzyme impliqué dans la mélanose (thiocystéine, glutathion, monoxyde de carbone) ;

- de métaux pouvant se substituer au cuivre et complexer l'enzyme (mercure, or ou argent).

Le produit commercial le plus connu est l'*Everfresh™* à base d'hexylrésorcinol (1,3-dihydroxybenzène). Il agit en bloquant les enzymes polyphénoloxidases et en formant un complexe irréversible avec ces dernières (Otwell *et al.*, 1992). L'arrêt de la réaction est définitif. Toutefois, les composés à base de résorcinol ne peuvent pas inverser un noircissement. L'*Everfresh™* est beaucoup moins毒ique (Frankos *et al.*, 1991) que Na<sub>2</sub>O<sub>5</sub>S<sub>2</sub> et ne dégage pas de vapeurs nocives.

Les tests à l'*Everfresh* n'ont pas donné des résultats d'inhibition très encourageants sur *L. stylirostris* dans les conditions testées d'une ferme de Nouvelle-Calédonie (Callega, 1992).

## Traitements en Nouvelle-Calédonie

Un traitement au métabisulfite de sodium est réalisé par baignade. Les quantités ajoutées doivent permettre d'obtenir un taux de métabisulfite résiduel dans les crevettes de 150 mg/L maximum. La maîtrise des quantités de métabisulfite ajoutées repose sur le contrôle par pesée des quantités de métabisulfite rajoutées à l'eau (environ 50 kg pour 800 kg de crevettes abattues).

Dans la procédure proposée ici le bac de traitement (1 050 L) est rempli comme suit :

- 500 L d'eau de mer et de 100 kg de méta. pour des crevettes de 20 g ;
- 500 L d'eau de mer et de 125 kg de méta. pour des crevettes de 25 g ;
- 500 L d'eau de mer et de 150 kg de méta. pour des crevettes de 30 g.

Les crevettes sont transférées par série de huit paniers/un bac de métabisulfite. Elles ne doivent pas être trop tassées dans les paniers (12 kg dans un volume 40 L) et éventuellement brassées afin de permettre au produit de pénétrer de manière uniforme dans tous les individus.

Le trempage dure précisément 5 mn, temps contrôlé avec un minuteur.

Après chaque passage, 10 L de mélange concentré, mesurés exactement, provenant du réservoir, sont rajoutés dans le bac pour maintenir la teneur en métabisulfite. Cette méthode empirique permet d'obtenir une concentration résiduelle régulière dans la chair de la crevette crue comprise entre 40 et 80 mg/L (base : centaine de pêches sur trois fermes pratiquant cette stratégie).

La maîtrise des quantités de métabisulfite ajoutées repose sur la vérification documentaire des fiches de pêche sur lesquelles sont portées les durées de trempage, les quantités de crevettes et les volumes de mélange (eau + métabisulfite) employés.

Les ateliers de conditionnement sont à la recherche de solutions qui permettraient de réduire la nocivité du métabisulfite de sodium (fiches jointes en [annexe 8.1](#) et [8.2](#)). Une d'entre elles, à l'essai, consiste à un transport, de la ferme vers l'atelier, des animaux dans un mélange glace-métabisulfite, préparé à l'avance dans des cuves isothermes.

### 6.4.5. Mise en clayettes

Chaque panier calibré avec 12 kg de crevette est vidé dans une seule clayette. Cela représente un gain de temps par rapport au fait d'avoir à répartir une certaine quantité dans plusieurs clayettes qu'il faut ensuite compléter avec le contenu d'un autre panier. Celles-ci sont disposées par rangées de huit correspondant à une centaine de kg. Les cageots sont inspectés une dernière fois afin d'éliminer les

éventuels écarts de tri. Ils sont recouverts d'une épaisse couche de glace et très rapidement rangés dans le camion par lots de 100 kg. Le comptage, effectué par le superviseur n°2, par séries de  $\approx 100$  kg est plus rapide et plus fiable que le dénombrement individuel de cagettes. Quoiqu'il en soit, le poids final de la pêche est déterminé par l'atelier de conditionnement.

#### 6.4.6. Fin de pêche

Lorsque 80 % de la quantité prévue est déjà stockée dans le camion, un bilan des crevettes demeurant en attente (① un bac métabisulfite, ② deux bacs d'abattage, ③ deux bacs de relaxation, ④ table de tri, ⑤ poche du filet) et du débit des crevettes entrant dans le moine de pêche est impératif afin de ne pas dépasser les quantités prévues.

La procédure de fin de pêche est déclenchée et exécutée dans l'ordre suivant :

- vérifier les rainures des moines et les débarrasser soigneusement de la terre et des cailloux qui s'y sont accumulés suite au courant d'eau ;
- placer les panneaux filtrants ;
- replacer les batardeaux intermédiaires après avoir gratté les moulures ;
- pousser à l'aide du balai de cantonnier les animaux restant dans le couloir ou la buse ;
- remettre le nombre initial de planches de niveau ;
- ouvrir toutes les entrées d'eau qui étaient fermées ;
- mettre en route une pompe supplémentaire le cas échéant pour accélérer la remontée du bassin.

Les bordereaux destinés aux usines de transformation sont remplis. Les clayettes vides sont embarquées et comptabilisées. Leur rangement adéquat est vérifié (piles stables). La température à l'intérieur du camion est contrôlée. Les fermetures sont inspectées avec soin. Les scellés, dont les numéros sont notés, sont apposés à toutes les portes.

Tout le matériel est lavé, désinfecté et rangé. Les poubelles contenant les déchets sont évacuées. Le filet est sorti. En effet, les mailles de celui-ci sont encrassées par les fragments de carapaces, mues et poissons, *etc.*, proies potentielles des crabes qui l'endommageraient.

#### 6.4.7. Transport

Tous les transporteurs assurant le transport des crevettes entre la ferme et l'entreprise de transformation sont qualifiés par les ateliers de transformation. La maîtrise du référencement repose sur l'engagement contractuel des transporteurs à respecter les modalités de transport définies par les usines de conditionnement (UsC), reposant sur :

- le respect du plan de nettoyage désinfection établi par UsC ;
- le respect des plannings d'enlèvement établis au préalable par les éleveurs et UsC ;
- la mise en froid des camions avant chargement ;
- l'installation dans chaque camion d'enregistreurs de température.
- Les crevettes sont transportées sous glace à une température maximale de 2°C. Elles sont réceptionnées à l'usine de transformation au maximum 6 h après la pêche.

Le contrôle de la durée du transport repose sur la planification initiale des pêches et le respect des plannings établis de façon à limiter la durée des trajets. La vérification

documentaire des heures de chargement portées sur la fiche de pêche et de déchargement à l'entreprise de transformation permet de s'assurer du respect des temps de transport.

Le respect de la chaîne du froid est assuré par :

- la vérification de la température des crevettes à la sortie du bac d'abattage ;
- la vérification avant chargement de la mise en froid préalable des camions ;
- la mise sous glace des cagettes utilisées pour le transport ;
- le contrôle par sondage de la température des crevettes à réception à l'usine ;
- la vérification des enregistrements de température au déchargement ;
- la mise en place d'enregistreurs de température dans les camions et la vérification au déchargement de ces enregistrements ;
- le contrôle du bon fonctionnement du groupe froid à réception.

## 6.5. Transformation

### 6.5.1. Traçabilité-identification

La maîtrise de la traçabilité est assurée par l'identification du bassin à la ferme, de la date, des heures de début et de fin de la pêche, de la quantité de crevettes pêchées et de leur origine, reportées sur la fiche de pêche. Le chauffeur récupère les fiches de pêche et de bassin sur lesquelles sont reportées les heures de départ de la ferme. Les documents sont remis à l'entreprise de transformation.

### 6.5.2. Transformation

Cette étape débute au déchargement des caisses à l'entreprise de transformation. Elle comprend le tri et le nettoyage des crevettes réceptionnées, la cuisson et/ou la congélation des produits et un tri final permettant d'obtenir un produit conforme aux spécifications du produit fini. Les exigences de maîtrise portent donc sur :

- l'agrément CEE et les conditions d'hygiène de l'atelier de transformation ;
- la qualité microbiologique des produits finis ;
- la transformation moins de 18 h après la pêche ;
- la cuisson ;
- la congélation ;
- les spécifications du produit fini ;
- la traçabilité.

### 6.5.3. Référencement des usines

Les ateliers de transformation calédoniens répondent aux exigences des directives communautaires et arrêtés français en vigueur, notamment en matière de :

- conception des locaux ;
- respect de la marche en avant ;
- hygiène du matériel et des locaux ;
- hygiène du personnel ;
- respect de la chaîne du froid ;
- qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau employée ;

- températures des équipements de stockage des matières premières comprises entre 0 et 4°C, et des produits finis inférieures à – 21°C ;
- propreté des équipements de stockage des matières premières et des produits finis.

## 6.6. Quelques records de production

Malgré la perfectibilité des pratiques zootechniques locales, les exemples suivants ([Tableau 84](#)), qui ne sont pas des cas isolés, illustrent parfaitement l'excellent savoir faire des biologistes calédoniens en place sur les fermes et les marges de progression que l'espèce *L. stylostomis* laisse entrevoir.

Tableau 84 – Quelques productions record.

Surface (m <sup>2</sup> )	Type	Densité initiale (Pl/m <sup>2</sup> )	Date ensem.	Durée (jour)	Indice Prod. kg/1 000 Pl	Survie (%)	Tonnage (kg)	Rendement (kg/ha)	Poids pondéré (g)	Ind. convers.
101 000	Non aéré	21,0	17-déc	241	24,5	86	52 022	5 150	28,0	1,90
45 000	Aéré	33,6	14-déc	184	21,4	81	32 400	7 200	28,0	2,14
77 000	Aéré	31,0	12-oct	259	23,8	73	56 837	7 381	32,5	2,18
77 000 <sup>a</sup>	Non aéré	25,0	05-sept	259	21,4	73	41 253	5 358	30,1	2,25
30 000	Aéré	38,7	12-oct	232	19,3	69	22 400	7 466	27,9	2,14
87 000	Non aéré	18,0	05-nov	216	24,7	91	38 603	4 422	26,7	2,02
45 000	Aéré	33,6	14-déc	184	21,4	81	32 400	7 200	28,0	2,14

Toutefois, ces chiffres record en terme de productivité quantitative qui placent certainement la Nouvelle-Calédonie comme le ou un des pays les plus performants au monde en zootechnie de *L. stylostomis* ne doivent pas inciter les producteurs à aller encore au-delà.

La diminution de la dépense en aliment par la maîtrise des indices de conversion et la production de petits calibres très rémunérateurs via l'abaissement des densités initiales sont des voies à privilégier conduisant à une meilleure rentabilité et durabilité. Le record des records est certainement celui du meilleur indice de productivité, paramètre zootechnique le plus intégrateur de 27,2 kg/1000 Pl obtenu avec une densité initiale de 13,5 Pl/m<sup>2</sup> et un poids pondéré de 32,4 g ([Tableau 85](#)).

Tableau 85 – Autres productions remarquables à privilégier pour la recherche de la durabilité.

Surface (m <sup>2</sup> )	Type	Densité initiale (Pl/m <sup>2</sup> )	Date ensem.	Durée (jour)	Indice Prod. (kg/1 000 Pl)	Survie (%)	Tonnage (kg)	Rendement (kg/ha)	Poids pondéré (g)	Ind. convers.
77 000	Non aéré	25,0	28-août	118	9,0	43	17 289	2 245	21,0	1,39
121 000	Non aéré	18,0	24-janv	144	15,6	55	34 063	2 810	28,2	1,57
4 000	Aéré	35,0	19-déc	119	13,2	65	1 842	4 978	21,5	1,46
36 000	Aéré	33,0	04-déc	168	18,1	67	21 527	5 962	27,0	1,50
84 000	Non aéré	13,5	24-nov	161	27,2	84	30 899	3 678	32,4	1,96
42 000	Aéré	30,0	15-sept	242	22,4	76	28 248	6 726	29,3	2,20

## Chapitre 5

---

### Bibliographie

- Abdel-Rahman, S.H., Kanazawa, A., Teshima, S.I., 1979. Effect of dietary carbohydrate on the growth and the levels of the hepatopancreatic glycogen and serum glucose of prawn. Nippon Suisan Gakkaishi 45 : 1491-1494.
- Ahmad, T., Boyd, C.E., 1988. Design and performance of paddle wheel aerators. Aquacultural Engineering 7: 39-62.
- Akiyama, D.M., Dominy,W.G., Lawrence, A.L., 1991. Penaeid shrimp nutrition for the commercial feed industry revised. Pages 80-98 In Akiyama, D.M., Tan, R.K.H. (Eds.) Proceedings of the aquaculture feed processing and nutrition workshop. American soybean association, Singapore, September 19-25.
- Alava, V.R., Lim, C., 1983. The quantitative dietary protein requirements of *P. monodon* juvenile in a controlled environment. Aquaculture 30: 53-61.
- Alcaraz, M., Sanda, F., 1981. Oxygen consumption by *Nephrops norvegicus* (L.) (Crustacea, Decapoda) in relation ship to its moulting cycle. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 54: 113-118.
- Allan, G.L., Maguire, G.B., Hopkins, S.J., 1990. Acute and chronic toxicity of ammonia to juvenile *Metapenaeus macleayi* and *Penaeus monodon* and the influence of low dissolved-oxygen levels. Aquaculture 91: 265-280.
- Allan, G.L., Maguire, G.B., 1992. Effect of pH and salinity on survival, growth and osmoregulation in *Penaeus monodon* Fabricius. Aquaculture 107: 33-47.
- Allan, G.L., Moriarty, D.J.W., Maguire, G.B., 1995. Effects of pond preparation and feeding rate on production of *Penaeus monodon* Fabricius, water quality, bacteria and benthos in model farming ponds. Aquaculture 130: 329-349.
- All dredge, AL., Passow, U., Logan, B.E, 1993. The abundance and significance of a class of large, transparent organic particles in the ocean. Deep-Sea Research 40: 1131-1140.
- Alleton, D.J., 1985. Observations on some piscivorous birds in a trout fishing area of Natal. Lammergeyer 35: 41-46.
- Al-Mohanna, S.Y., Not, J.A., 1987. R-cells and the digestive cycle in *Penaeus semisulcatus* (Crustacea Decapoda). Marine Biology 95: 129-137.
- Alongi, D.M., Tirendi, F., Trott, L.A., 1999. Rate and pathways of benthic mineralization in extensive shrimp pond in the Mekong Delta, Vietnam. Aquaculture 175: 269-292.
- Alonzo-Rodriguez, P., Paez-Osuna, F., 2003. Nutrients, phytoplankton and harmful algal blooms in shrimp ponds : a review with special reference to the situation in the Gulf of California. Aquaculture 219: 317-336.
- Anderson, D.M., 1997. Turning back the harmful red tide. Nature 388: 513-514.
- Anderson, R.K., Parker, P.L., Lawrence, A.L., 1987. A <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C tracer study of the utilization of presented feed by a commercially important shrimp *P. vannamei* in a pond grow out system. Journal of the World Aquaculture Society 18: 148-155.
- Andrew, J.W., Sick, L.W., Baptist, G.J., 1972. The influence of dietary protein and energy level on growth and survival of penaeid shrimp. Aquaculture 1: 341-347.
- Andrier, P., 2004. Une vision globale de l'aquaculture de crevettes et de son marché. Pages 18-22 In : Styli 2003. Trente ans de crevetticulture en Nouvelle-Calédonie. Nouméa-Koné, 2-6 juin 2003. Edition Ifremer, Actes de colloques 38.
- Anonyme, 1978. Manual on pond culture of peneid shrimp. ASEAN National Coordinating Agency of the Philippines, 130 pp.
- Anonyme, 1983. Atlas de la Nouvelle-Calédonie et Dépendances. ORSTOM 53 pp.
- Anonyme, 1984. Compte rendu de l'élevage 103. SASV, GIE RA, Boulouparis, NC. Fiche biotechnique 84-02, 3pp.
- Anonyme, 1988. Main factors to be evaluated for a site preselection. Étude de faisabilité France Aquaculture FCE/AQUA/PC n°88-1018.
- Anonyme, 1994. Iron requirements of phytoplankton. World Aquaculture 25: 52.

- Anonyme, 2003. L'élevage de la crevette en zone tropicale. CDE, Bruxelles, Belgique, 93 pp.
- Anonyme, 2006a. Probiotics and shrimp farming. Shrimp news international. A discussion from the shrimp list. <http://www.shrimpnnews.com>.
- Anonyme, 2006b. Australian prawn farming manual. Health management for profit. Dept. Primary Ind. Fisheries, Queensland, Australia, 157 pp.
- Anonyme, 2006c. Rapport final DESANS. Ifremer, Département Aquaculture en Calédonie, 199 pp.
- Aquadev, 2000. Inventaire des sites aquacoles. ADECAL, Nouvelle-Calédonie, 10 pp + annexes.
- Aquafarms News, 1996. Using bacteria to fight bacteria. Aqua Farm News 14: 12-13, 17.
- Archer, A., Fischer, E., Turnheim, R., Manoy, Y., 1997. Ecologically friendly wastewater disinfection techniques. Water Research 31: 1398-1404.
- Arena, L., 2002. Study on populations (wild and domesticated) of *L. vannamei* in tanks: selection and performances linked to dietary carbohydrates. Thèse EPHE, Paris, La Sorbonne.
- Aubert, H., Lightner, D.V., 2001. Identification of genetic populations of the pacific blue shrimp *P. stylirostris* of the Gulf of California. Marine Biology 137: 875-885.
- Avnimelech, Y., 2005. Aeration and aerators deployment in shrimp ponds. World Aquaculture 36: 18-22.
- Avnimelech, Y., Zohar, G., 1986. The effect of local anaerobic conditions on growth retardation in fish pond sediment. Aquaculture 58: 167-174.
- Avnimelech, Y., Ritvo, G., 2001. Aeration, mixing, and sludge control in shrimp ponds. The Advocate 4: 51-53.
- Avnimelech, Y., Ritvo, G., 2003. Shrimp and fish soils: processes and management. Aquaculture 220: 549-567.
- Avnimelech, Y., Ritvo, G., Kochva, M., 2004. Evaluating the active Redox and organic fractions in pond bottom soils: EOM, easily oxidised material. Aquaculture 233: 283-292.
- Ayub, M., Boyd, C.E., Teichert-Coddington, D.R., 1993. Effect of urea application, aeration, and drying on total carbon concentrations in pond bottom soils. The Progressive Fish-Culturist 55: 210-213.
- Azetsu-Scott, K., Passow, U., 2004. Ascending marine particles: Significance of transparent exopolymer particles (TEP) in the upper ocean. Limnology and Oceanography 49: 741-748.
- Baillet, C., Cuzon, G., Cousin, M., Kerlaue, C., 1997. Effect of dietary protein levels on growth of *P. stylirostris* juveniles. Aquaculture Nutrition 3: 49-53.
- Barlow, C.G., Bock, K., 1984. Predation of fish in farms dams by cormorans, *Phalacrocorax spp.* Australian Wild Life Research 11: 599-566.
- Bautista, M.N., 1986. The response of *P. monodon* juveniles to varying protein/energy ratios in test diets. Aquaculture 53: 229-242.
- Bayer, R.C., Prince, D.L., Crosby, M.A., Tall, B., Fall, S., Loughlin, M.B., Evans, L.H., Jones, J.B. (2000). Health management of the American lobster. Journal of Shellfish Research 19: 673.
- Beg, M., Al Muzaini, S., Saeed, T., Jacob, P.G., Beg, K.R., Al Balhloul, M., Al Matrouk, K., Al Obaid, T., Kurian, A., 2001. Chemical contamination and toxicity of sediment from a coastal Area receiving industrial effluents in Kuwait. Archives Environ. Contam. Toxicol. 41: 289-297.
- Bell, T.A., Lightner, D.V., 1992. Shrimp facility clean-up and restocking procedures. Department of Veterinary Science. Cooperative extension, College of Agriculture, University of Arizona, 23 pp.
- Berger, C., 1994. La alimentacion de camarones de mar en "comedoros". Sistema peruano de alimentacion. Nicovita, Lima, Peru, 5pp.
- Betarbet, R., Sherer, T., MacKenzie, G., Garcia-Osuna, M.A., Panov, V. and Greenamyre, J.T., 2000. Chronic systemic pesticide exposure reproduces features of Parkinson's disease. Nature Neuroscience 3: 1301-1306.

- Boyd, C.E., 1990. Water quality in ponds for aquaculture. Auburn University, Alabama, USA, 482pp.
- Boyd, C.E., 1992a. Shrimp pond bottom soil and sediment management. Pages 166-180 In Wyban, J., (Ed.). Proceedings of the special session on shrimp farming. World Aquaculture Society, Bâton Rouge, LA, USA.
- Boyd, C.E., 1992b. Water quality and soil conditions in brackishwater ponds. Pages 129-135 In Escuela Superior Politecnica del Litoral (Ed.). Memorias I congreso Ecuatoriano de acuicultura.
- Boyd, C.E., 1995a. Bottom soils, sediment and pond aquaculture. Chapman and Hall, New York, USA, 348pp.
- Boyd, C.E., 1995b. Potential of sodium nitrate to improve environmental conditions in aquaculture ponds. World Aquaculture 26: 38-40.
- Boyd, C.E., 1996. Chlorination and water quality in aquaculture ponds. World Aquaculture 27: 41-45.
- Boyd, C.E., 1998. Pond water aeration systems. Aquacultural Engineering 18: 9-40.
- Boyd, C.E., 2000a. Water use in aquaculture. The Advocate 3: 23-13.
- Boyd, C.E., 2000b. Water composition and shrimp pond management. The Advocate 3: 40-41.
- Boyd, C.E., 2000c. Water quality standards: total phosphorus. The Advocate 3: 70-71.
- Boyd, C.E., 2003. Bottom soil and water quality management in shrimp ponds. Journal of Applied Aquaculture 13: 11-33.
- Boyd, C.E., Romaine, R., Johnston, E., 1978. Predicting early morning dissolved oxygen concentrations in channel catfish ponds. Transaction American Fisheries Society 107: 484-492.
- Boyd, C.E., Hollerman, W.D., 1981. Methods of applying liquid fertilizer to fish ponds. Proceedings of the Annual Conference of the South-eastern Association of Fish and Wildlife Agencies 35: 525-530.
- Boyd, C.E., Musig, Y., Tucker, L., 1981. Effects of three phosphorus fertilizers on phosphorus concentrations and phytoplankton production. Aquaculture 22: 175-180.
- Boyd, C.E., Hollerman, W.D., Plumb, J.A., Saeed, M., 1984. Effect of treatment with a commercial suspension on water quality in channel catfish ponds. Progressive Fish Culturist 46: 36-40.
- Boyd, C.E., Ahmad, T., 1987. Evaluation of aerators for channel catfish farming. Auburn University Bulletin 584, 52pp.
- Boyd, C.E., Fast, A.W., 1992. Pond monitoring and management. Pages 497-513 In A.W. Fast and L.J. Lester (editors). Marine shrimp culture: principles and practices. Elsevier Science Publishers, B.V.
- Boyd, C.E., Daniels, H., 1993. Liming and fertilization of brackishwater shrimp ponds. Strategies and tactics for management of fertilized hatchery ponds. Journal of Applied Aquaculture, 2: 221-234.
- Boyd, C.E., Pippopinyo, S., 1994. Factors affecting respiration in dry pond bottom soils. Aquaculture 120: 283-293.
- Boyd, C.E., Teichert-Coddington, D.R., 1994. Pond bottom soil respiration during fallow and culture periods in heavily fertilized tropical fish ponds. Journal of the World Aquaculture Society 25: 417-424.
- Boyd, C.E., Munsiri, P., Hajek, B.F., 1994a. Composition of sediment from intensive shrimp ponds in Thailand. World aquaculture 25: 53-55.
- Boyd, C.E., Tanner, M.E., Madkour, M., Masuda, K., 1994b. Chemical characteristics of bottom soils from freshwater and brackishwater aquaculture ponds. Journal of World Mariculture Society 25: 517-532.
- Boyd, C.E., Tucker, C.S., 1998. Pond aquaculture water quality management. Kluwer academic publishers, Boston, Massachusetts.
- Boyd, C.E., Gross, A., 1999. Use of probiotics for improving soil and water quality in aquaculture ponds. Pages 101-106 In Flegel, T.W. (ed.). Advances in shrimp biotechnology. Proceedings of the special session on shrimp biotechnology, 5<sup>th</sup> Asian Fisheries Forum, Chiangmai, Thailand. The National Centre for Genetic Engineering and Biotechnology, Bangkok, Thailand.
- Boyd, C.E., Massaut, L., 1999. Risks associated with the use of chemicals in pond aquaculture. Aquacultural Engineering 20: 113-132.
- Boyd, C.E., Gauthier, D., 2000. Effluent composition and water quality standards. The Advocate 3: 61-66.

- Boyd, C.E., Clay, J., 2002. Evaluation of Belize Aquaculture LTD: a superintensive shrimp aquaculture system. Report prepared under the world bank, NACA, WWF and FAO consortium program on shrimp farming and the environment, 17 pp.
- Boyd, C.E., Corpron, K., Bernard, E., Pengseng, P., 2006. Estimates of bottom soil and effluent load of phosphorus at a semi intensive marine shrimp farm. Journal of the World Aquaculture Society 37: 41-47.
- Bratback, G., Egge, J.K., Heldal, M., 1993. Viral mortality of the marina alga *Emiliana luxleyi* (haptophyceae) and terminaison of algal blooms. Marine Ecology Progress Series 93: 39-48.
- Briggs, M.R.P., Funge-Smith, S.J., 1994. A nutrient budget of some intensive marine shrimp ponds in Thailand. Aquaculture and Fisheries Management 25: 789-811.
- Brito, R., Rosas, C., Chimal, M.E., Gaxiola, G., 2001. Effect of different diets on growth and digestive enzyme activity in *L. vannamei* (Boone, 1931) early postlarvae. Aquaculture Nutrition 32: 257-266.
- Brock, J.A., 2000. A report of the activities, observations, findings and recommendations for a site visit to evaluate the mortality problem at Seafarm, New Caledonia. Rapport d'expertise pour le GFA, Nouvelle-Calédonie, 17pp.
- Brock, J.A., Lightner, D., 1990. Diseases caused by microorganisms. Pages 246-348 In Kinne.O (Ed.). Diseases of Crustacean. John Wiley and Sons, New York, USA.
- Brock, J.A., Gose, R., Lightner, D. And Hasson, K., 1995. An overview on Taura Syndrome, An important disease of farmed *Penaeus vannamei*. Pages 84-94 In C.L. Browdy and J.S. Hopkins (Eds). Swimming Through Troubled Water. Proceedings of the special session on shrimp farming, Aquaculture '95. World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA.
- Brossard, N., Hussenot, J., 1997. Maîtrise de la culture de masse de la diatomée *Skeletonema costatum* en système ouvert et continu, sur un milieu en eau de mer enrichie. CNRS/IFREMER/CREMA. RI/DRV/RA/RST/97-04.
- Browdy, C.L., Bratvold, D., 1997. Pond microbial communities: significance, assessment, and management. In Proceedings of the Fourth Ecuadorean Aquaculture Congress, Guayaquil, Ecuador.
- Burford, M., 1997. Phytoplankton dynamics in shrimp ponds. Aquaculture Research 28: 351-360.
- Burford, M., Lorenzen, K., 2004. Modeling nitrogen dynamics in intensive shrimp ponds: the role of sediment remineralization. Aquaculture 229: 129-145.
- Burford, M.A., Peterson, E.L., Baiano, J.C.F., Preston, N.P., 1998. Bacteria in shrimp pond sediments: their role in mineralizing nutrients and some suggested sampling strategies. Aquaculture Research 29: 843-849.
- Burford, M.A., Longmore, A.R., 2001. High ammonium production from sediments in hypereutrophic shrimp ponds. Marine Ecology Progress Series 224: 187-195.
- Burford, M.A., Thompson, P.J., Mc Intosh, R.P., Bauman, R.H., Pearson, D.C., 2004. The contribution of flocculated material to shrimp *Litopenaeus vannamei* nutrition in a high-intensity zero-exchange system. Aquaculture 232: 525-537.
- Calderon Aquilera, L.E., Nenninger, C.C., 2004. Toxicity of fuel oil in early stages of the blue shrimp *Litopenaeus stylostris* (Stimpson, 1871) (Decapoda: Penaeidae) from the Gulf of California. Contribuciones al Estudio de los Crustaceos del Pacifico Este. UNAM, Mexico, Vol.3.: 169-175.
- Callega, J.C., 1992. Traitement des crevettes contre la mélanoze. Recherche de substituts du métabisulfite de sodium. Mémoire diplôme d'ingénieur. ENSIAA, 37pp.
- Calvo, E., 1998. Uso de comederos (feeders) para el control de polucion en estanques de cultivo de camarones y reduccion del FCR. In Jory, D.R. (ed.). Proceedings First Latin American Shrimp Farming Congress. Grupo de ferias, Congresos y eventos, Panama, Panama.
- Cam, D., Rollet, P.E., Mariotti, A., Guillaume, J., 1991. Contribution relative de la productivité naturelle et de l'aliment composé dans la nutrition de *P. japonicus* élevée en conditions semi intensives. Aquatic Living Resources 4: 175-180.
- Castille, F.L., Lawrence, A.L., 1981. The effect of salinity on the osmotic, sodium and chloride concentrations in the hemolymph of euryhaline shrimp of the genus *Penaeus*. Comparative Biochemistry and Physiology A 68: 75-80.
- CENAIM, 2001. Descripcion de las variaciones ocurridas durante el ciclo de muda en el camaron. Boletin informativo Quincenal 47.
- Chamberlain, G.W., 1988. Rethinking shrimp pond management. Coastal Aquaculture 2: 1-19.

- Chamberlain, G.W., Hopkins, J.S., 1994. Reducing water use and feed cost in intensive ponds. World Aquaculture 25: 29-32.
- Chanratchakool, P., Turnbull, J.F., Funge-Smith, S.J., Limsuvan, C., 1994. Manual of health management in shrimp ponds. Aquatic Animal Health Research Institute, Bangkok, 63pp.
- Chartois, H., Latrouitte, D., Lecarre, P., 1994. Stockage et transport des crustacés vivants. Rapports internes de la Direction des Ressources vivantes, Ifremer, RI/DRV 94-09 : 66 pp.
- Chen, H.Y., Wu, F.C., Tang, S.Y., 1991. Thiamin requirement of juvenile shrimp *P. monodon*. Journal of Nutrition 121: 1984-1989.
- Chen, H.Y., Wang, G., 1992. Estimation of dietary riboflavin required to maximize tissue riboflavin concentration in juvenile shrimp *P. monodon*. Journal of Nutrition 122: 2474-2478.
- Chen, J.C., Liu, P.C., Lin, Y.Y., 1988. Super intensive culture of red tailed shrimp *Penaeus penicillatus*. Journal of the World Aquaculture Society 19: 127-131.
- Chen, J.C., Kou, Y. Z., 1991. Accumulation of ammonia in the hemolymph of *P. japonicus* exposed to ambient ammonia. Disease of Aquatic Organisms 11: 187-191.
- Chen, J.C., Lin, C.H., 2001. Toxicity of copper sulfate for survival, growth molting and feeding of juveniles of the tiger shrimp, *Penaeus monodon*. Aquaculture 192: 55-65.
- Chiayvareesajja, S., Boyd, C.E., 1993. Effects of zeolite, formalin, bacterial augmentation, and aeration on total ammonia nitrogen concentrations. Aquaculture 116: 33-45.
- Chien, Y.H., 1989. The management of sediment in prawn ponds. Pages 219-243 In: III simposio brasileiro sobre cultivo de camarão. Joao Pessoa, Paraíba, Brasil.
- Chien, Y.H., 1992. Water quality requirements and management for marine shrimp culture. Pages 144-156 In Chamberlain, G., Villalon, J., Wyban, J., (eds.). Proceedings of the special session on shrimp farming. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA USA.
- Chistoserdov, A.Y., Gubbala, S.L., 2005. A microbiological assessment of epizootic shell disease in the American lobster indicates its strictly dermal etiology. Pages 12-20 In M. Tlusty, H. Halvorson, R. Smolovitz, U. Sharma (Editors). Proceedings of lobster shell disease workshop assessing research priorities on how lobster biology and health issues impact productivity. University of Massachusetts, Boston, 12-13 march 2005.
- Choune, E., 1994. Etude de l'effet d'un larvicide organophosphoré, l'Abate, sur la crevette *Penaeus stylostris*. Mémoire de stage DEUST. Ifremer COP, Tahiti. 37pp.
- Clark, J.V. (1986). Inhibition of moulting in *Penaeus semisulcatus* (De Haan) by long-term hypoxia. Aquaculture 52 : 253-254.
- Clifford, H.C., 1992. Marine shrimp pond management : a review. Pages 110-138 In Chamberlain, G., Villalon, J., Wyban, J., (eds.). Proceedings of the special session on shrimp farming. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA USA.
- Clifford, H.C., 1994. Semi intensive sensation. A case study in marine shrimp pond management. World Aquaculture 25: 6-104.
- Clifford, H.C., 1997. Standard operating manual for managing super shrimp ponds. Super shrimp, S.A. de C.V. Technical services division, 91 pp.
- Clifford, H.C., 1998. Manejo de piscinas sembradas con camarón azul *L. stylostris*. In: Jory, D.E., (ed.). Proceedings, first latin american shrimp farming congress. Grupo de ferias, congresos y eventos, Panama, Panama.
- C.P., 1991. Techniques for feeding black tiger shrimp. Charoen Pokphand Feedmill Co. Ltd. Technical Information Document 1.
- Cockcroft, A., McLachlan, A., 1986. Food and feeding habits of the surf zone penaeid prawn *Macrobrachium africanum*. Marine Ecology 7: 345-357.
- Colman, J.A., Edwards, P., 1987. Feeding pathways and environmental constraints in waste fed aquaculture: balance and optimization. Pages 240-281 In Moriarty, D.J.W., Pullin, R.S.V. (Eds.). Detritus and microbial ecology in aquaculture. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines.
- Coloso, R., Cruz, L.J., 1980. Preliminary studies in some aspects of amino acids biosynthesis in juveniles *P. monodon* Fabricius: 1. Incorporation of C<sup>14</sup> from (U-<sup>14</sup>C) acetate amino acids of precipitable proteins. Bulletin Philadelphia Biochemical Society 3: 12-22.
- Colvin, L.B., Brand, C.W., 1977. The protein requirement of penaeid shrimp at various life stages in controlled environment systems. Journal of World Mariculture Society 8: 821-840.
- Colvin, P.M., 1976. Nutritional studies on penaeids prawns: protein requirements in compounded diets for juveniles *P. indicus*. Aquaculture 7: 315-326.
- Coman, F.E., Connolly, R.M., Preston, N.P., 2003. ZooPlankton and epibenthic fauna in shrimp Elevage de la crevette *Litopenaeus stylostris* en Nouvelle-Calédonie

- ponds: factors influencing assemblage dynamics. *Aquaculture Research* 34: 359-370.
- Conklin, D.E., 1997. Vitamins. Pages 123-149 In D'Abromo, L.R., Conklin, D.E., Akiyama, D.M. (Eds.). Crustacean nutrition. Advances in world aquaculture 6, WAS, LSU, Baton Rouge, Louisiana, USA.
- Cook, H.L., Clifford, H.C., 1998. Fertilization of shrimp ponds and nursery tanks. *Aquaculture Magazine* 24: 52-62.
- Corbett, J.R., Wright, K., Baillie, A.C., 1984. Herbicide interfering with photosynthesis. Pages 50-93 In Jovanovitch, H.B. (Ed.). The biochemical mode of action of pesticides. Academic Press, London.
- Cortes-Altamirano, R., Agraz., C.M., 1994. Presencia de *Prorocentrum minimum* (Pav.) Schiller en estanques para cultivo de camarón. *Ciencias del mar* 13: 11-16.
- Cortes-Altamirano, R., Alonso-Rodriguez, R., 1997. Mareas rojas durante 1977 en la bahía de Mazatlán, Sinaloa, Mexico. *Ciencias Marinas* 15: 31-37.
- Cortes-Altamirano, R., Licea Duran, S., 1999. Florecimientos de microalgas nocivas en estanques para cultivos semi intensivos de camarón en Mexico. *Revista Latinoamericana de Microbiología* 41: 157-166.
- Costa, R., Mermoud, I., Koblavi, S., Morlet, B., Haffner, P., Berthe, F., Le Groumellec, M., Grimont, P., 1998a. Isolation and characterization of bacteria associated with *Penaeus stylostris* disease (Syndrome 93) in New Caledonia. *Aquaculture* 164: 297-309.
- Costa, R., Mermoud, I., Mari, J., Bonami, J.R., Hasson, K., Lightner, D.V., 1998b. Investigations on a disease on *Penaeus stylostris* (Syndrome 93) in New Caledonia, exploring a viral hypothesis. *Aquaculture* 164: 311-322.
- Coull, B., 1985. Long term variability of estuarine meiobenthos: an 11 year study. *Marine Ecology Progress Series* 25: 205-218.
- Coull, B., Chandler, T., 1992. Pollution and meiofauna: field, laboratory, and mesocosm studies. *Oceanography and Marine Biology, Annual Review* 30: 191-271.
- Courties, C., Boeuf, G., 2004. Mesure en cytométrie en flux du picoplancton autotrophe et hétérotrophe : un outil de contrôle de la qualité des eaux de fermes d'élevage de crevettes. Pages 150-157 In *Styli 2003. Trente ans de crevetticulture en Nouvelle-Calédonie*. Nouméa-Koné, 2-6 juin 2003. Edition Ifremer, Actes de colloques 38.
- Cruz, L.E., Guillaume, J., Ricque, D., 1987. Squid protein effect on growth for penaeid shrimp. *Journal of the World Aquaculture Society* 18: 209-217.
- Cruz, P.S., 1991. Shrimp feeding management. Principles and practices. Kabukiran Enterprises, Inc., Davao City, Philippines, 57pp.
- Cuzon, G., Hew, M., Cognie, D., Solechnik, P., 1982. Time lag effect of feeding on growth of juvenile shrimp *Penaeus japonicus* bate. *Aquaculture* 29: 33-44.
- Cuzon, G., Guillaume, J., 1997. Energy and protein/energy ratio. Pages 51-70 In D'Abromo, L.R., Conklin, D.E., Akiyama, D.M. (Eds.). Crustacean nutrition. Advances in world aquaculture 6, WAS, LSU, Baton Rouge, Louisiana, USA.
- Cuzon, G., Lawrence, A.L., Gaxiola, G., Rosas, C., Guillaume, J., 2004. Nutrition of *L. vannamei* reared in tanks or in ponds. *Aquaculture* 235: 513-551.
- D'Abromo, L.R., 1997. Triacylglycerols and fatty acids. Pages 71-84 In D'Abromo, L.R., Conklin, D.E., Akiyama, D.M. (Eds.). Crustacean nutrition. Advances in world aquaculture 6, WAS, LSU, Baton Rouge, Louisiana, USA.
- D'Abromo, L.R., Sheen, S.S., 1994. Nutritional requirements, feed formulation, and feeding practices for intensive culture of the freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. *Review of Fish Science* 21: 1-21.
- Daget, J., 1971. L'échantillonnage des peuplements de poissons d'eau douce. Pages 85-108 In Lamotte M., Bourlière, F., Problèmes d'écologie : l'échantillonnage des peuplements animaux des milieux aquatiques, Ed. Masson, Paris.
- Dall, W., 1968. Food and feeding of some Australian penaeid shrimps. *FAO Fisheries Report* 57: 51-258.
- Dall, W., Hill, B.J., Rothlisberg, P.G., Staples, D.J., 1990. The biology of Penaeidae. *Advances. Marine Biology* 27: 1-489.
- Dall, W., Smith, D.M., Moore, L.E., 1991: Biochemical composition of some prey species of *Penaeus esculentus* Haswell (Penaeidae: Decapoda). *Aquaculture* 96: 151-166.
- Dalsgaard, A., 1995. Surveying bacterial human pathogens in shrimp culture in Thailand. Naga, The Elevage de la crevette *Litopenaeus stylostris* en Nouvelle-Calédonie

- ICLARM quarterly: 24-27.
- Dando, P.R., Southward, A.J., Southward, E.C., Terwilliger, N., Terwilliger, R.C., 1985. Sulphur-oxydising bacteria and haemoglobin in gills of the bivalve mollusc *Myrtea spinifera*. Marine Ecology progress Series 23: 85-98.
- Danovaro, R., Marrale, D., Croce, ND., Parodi, P., Fabiano, M., 1999. Biochemical composition of sedimentary organic matter and bacterial distribution in the Aegean Sea: trophic state and pelagic-benthic coupling. Journal of Sea Research 42: 117-129.
- Davis, D.A., Lawrence, A.L., Gatlin, D.M., 1992. Mineral requirements of *P. vannamei*: a preliminary examination of the dietary essentiality for thirteen minerals. Journal of the World Aquaculture Society 23: 8-14.
- Davis, D.A., Lawrence, A.L., Gatlin, D.M., 1993a. Response of *Penaeus vannamei* to dietary calcium, phosphorus and calcium: phosphorus ratio. Journal of the World Aquaculture Society 24: 504-515.
- Davis, D.A., Lawrence, A.L., Gatlin, D.M., 1993b. Dietary copper requirement of *P. vannamei*. Nippon Suisan Gakkaishi 59: 117-122.
- Davis, D.A., Arnold, C.R., 1994. Growth response of *P. setiferus* to four commercial feeds under controlled laboratories conditions. Journal of the World Aquaculture Society 25: 561-565.
- Debo, T.N., Reese, A.J., 1995. Municipal storm water management. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. 756 pp.
- De la Peña, L.D., Momoyama, K., Nakai, T., Muroga, K., 1992. Detection of the causative agent of vibriosis in Kuruma prawn, *Penaeus japonicus*. Gyobyo Kenkyu 244: 223-228.
- De la Peña, L.D., Nakai, Muroga, K., 1995. Dynamics of Vibrio sp. PJ in organs of orally infected Kuruma prawn, *Penaeus japonicus*. Fish Pathology 30: 39-45.
- De la Peña, L.D., Nakai, T., Muroga, K., 1998. Experimental infection of Kuruma prawn, *Penaeus japonicus* with *Vibrio penaeicida*. Bamidgeh 50: 128-133.
- Delgado, G., Arencibia, G., De La Paz, L., Nodar, R.E., 1996. Red tide in shrimp culture ponds. Revista Cubana de Investigación Pesquera 20 : 23-24.
- Delgado, P.C., Avnimelech, Y., McNeil, R., Bratvold, D., Browdy, C.L., Sandifer, P., 2003. Physical, chemical and biological characteristics of distinctive regions in paddlewheel aerated shrimp ponds. Aquaculture 217: 235-248.
- Della Patrona, L., 1988. Cas d'empoisonnement de la faune (poissons et crustacés) d'un ruisseau par les résidus d'activité d'un atelier de bête de mer dans la région de Poum (Région Nord-Nouvelle-Calédonie). Tests de toxicité. Intérêt pour le traitement des bassins d'élevage de crevette. Doc. Interne SMMPP, Nouvelle-Calédonie, 6 p.
- Della Patrona, L., 1989. Importance de la prédatation par les oiseaux sur les fermes d'élevage de crevettes en Nouvelle-Calédonie. Aqua revue 26: 40-45.
- Della Patrona, L., 2000. Expertise concernant les mortalités induites par le Malathion sur trois fermes de Calédonie. Client GROUPAMA, 12pp.
- Della Patrona, L., 2005. Analyse des résultats d'une ferme d'élevage de crevettes sur 20 années : SODACAL 1984-2004. « Elasticité » de la capacité de production d'un écosystème bassin crevetticole. Ifremer/DAC/RST 2005-01 : 50 pp.
- Della Patrona, L., Brun, P., Lemaire, P., Chim, L., 2001. Etude préliminaire du phénomène Black spot à BLF : hypothèses sur les conditions favorisantes. Ifremer/LAC/Fiche Biotechnique 2001-16.
- Della Patrona, L., Chim, L., Brun, P., Lemaire, P., Martin, J.L.M., 2004a. Black spot necrosis occurrence in blue shrimp *Litopenaeus stylorostris* may be related to the rearing environment conditions. Book of Abstracts WAS 2004: 104.
- Della Patrona, L., Chim, L., Capo, S., Lemaire, P., Brun, P., Martin, J.L., 2004b. Stimulation de la chaîne trophique naturelle dans les bassins d'élevage de *L. stylorostris*: influence sur les performances zootechniques. Pages 173-179 In Styli 2003. Trente ans de crevetticulture en Nouvelle-Calédonie. Nouméa-Koné, 2-6 juin 2003. Edition Ifremer, Actes de colloques 38.
- Della Patrona, L., Brun, P., Capo, S., 2005. Essais d'aliments avec différents taux de protéines en bassins de terre : résultats biotechniques et effets sur le milieu d'élevage. Ifremer/DAC/Fiche Biotechnique 2005-04.
- Della Patrona, L., Brun, P., Chim, L., 2006. New Caledonian shrimp farming aims for a zero defect product : case study on black spots. World Aquaculture 37: 33-37.
- Della Patrona, L., Brun, P., Chim, L., Herblard, A., (soumis à Journal of Aquaculture in the Tropics). ZooPlankton community responses in earthern pond culture of blue shrimp *Litopenaeus*

- stylirostris* under various seasonal regimes.
- Della Patrona, L., Brun, P., Herblard, A., Boucher, G., (soumis à Aquaculture) Meiofauna responses to seasonal and fertilization regimes, and effects of physical disturbance and predation by the blue shrimp *Litopenaeus stylirostris* in earthern pond culture.
- Deshimaru, O., Kuroki, K., 1974. Studies on a purified diet for prawn : I .Basal composition of diet. Bulletin of the Japanese Society for Scientific Fisheries 40: 413-419.
- Deshimaru, O., Yone, Y., 1978. Optimum level of dietary protein for prawn. Bulletin of the Japanese Society for Scientific Fisheries 44: 1395-1397.
- Deshimaru, O., Kuroki, K., 1979. Requirement of prawn for dietary thiamine, pyridoxine and choline chloride. Bulletin of the Japanese Society for Scientific Fisheries 45: 363-367.
- Dove, A.D.M., LoBlue, C., Bowser, P., Powell, M., 2004. Excretory calcinosis: a new fatal disease of wild american lobsters *Homarus americanus*. Diseases of Aquatic Organisms 58: 215-221.
- Dyrinda, E.A., 1998. Shell disease in the common shrimp *Crangon crangon*: variations within an enclosed estuarine system. Marine Biology 132: 445-452.
- Egglishaw, H., 1972. Experimental study of breakdown of cellulose in fast flowing streams. Memorias. Ist. Ital. Idrobiol. 29: 407-428.
- Ellis, M.S., 1992. Oxygen, carbon and sulfur cycling in the sediments of hypereutrophic mesocosms (shrimp mariculture ponds). MSc thesis, Texas A et M University, Texas 152 pp.
- Engel, A., 2000. The role of transparent exopolymer particles (TEP) in the increase in apparent particle stickiness ( $\alpha$ ) during the decline of a diatom bloom. Journal of Plankton Research 22: 485-497.
- Engle, C.R., 1989. An economic comparison of aeration devices for aquaculture ponds. Aquacultural Engineering 8: 193-207.
- Etcheverria, F., Otero, V., Cornejo, F., Montesdeoca, M., Betancourt, I., Rodriguez, J., 2001. WSSV y el ciclo de muda de *Litopenaeus vannamei*: que relacion hay? CENAIM Boletin Informativo Quincenal 43.
- Fabiano, M., Marrale, D., Misic, C., 2003. Bacteria and organic matter dynamics during a bioremediation treatment of organic-rich harbour sediments. Marine Pollution Bulletin 46: 1164-1173.
- Farman, R., Baillon, N., 2004. La filière crevette en Nouvelle-Calédonie vue par les collectivités locales. Pages 9-12 In Styli 2003. Trente ans de crevetticulture en Nouvelle-Calédonie. Nouméa-Koné, 2-6 juin 2003. Edition Ifremer, Actes de colloques 38.
- Fast, A.W., Carpenter, K.E., Estilo, V.J., Gonzales, H.G., 1988. Effects of water depth and artificial mixing on dynamics of Phillipines brackishwater shrimp ponds. Aquacultural Engineering 7: 349-361.
- Fenchel, T., 1969. The ecology of marine microbenthos. IV. Structure and functions of the benthic ecosystem, its chemical and physical factors and the microfauna communities with special reference to the ciliate protozoa. Ophelia 6: 1-182.
- Ferrer, O.J., Koburger, J.A., Simpson, B.K., Gleeson, R.A., Marshall, M.R., 1989. Phenoloxidase levels in spiny lobster (*Panulirus argus*): relation ship to season and molting stage. Comparative Biochemistry and Physiology 93: 595-599.
- Feuillet-Girard, M., Fardeau, J.C., Gouleau, D., Hussonot, J., 1993. Bioavailable phosphate in marine pond sediment: fixing capacity. Book of Abtracts WAS 1993: 593.
- Fichez, R., 1991: Composition and fate of organic matter in submarine cave sediments; implications for the biogeochemical cycle of organic carbon. Oceanologica Acta 144: 369-377.
- FIGIS - FAO/SIDP Species Identification Sheet: *Penaeus stylirostris*. Species Identification and Data Programme FIGIS. [www.fao.org/figis/servlet/species](http://www.fao.org/figis/servlet/species)
- Fisher, W.S., Nilson, E.H., Steenberge, J.F., Lightner, D.V., 1978. Microbial diseases of cultured lobsters : a review. Aquaculture 14:115-140
- Focken, U., Groth, A., Coloso, M.R., Becker, K., 1998. Contribution of natural food and supplemental feed to the gut content of *Penaeus monodon* Fabricius in a semi intensive pond systems in the Philippines. Aquaculture 164: 105-116.
- Fontfreyde, C., Capo, S., Guillaume, M., 2004. La filière crevette en Nouvelle-Calédonie : situation actuelle, développement et besoins de recherche. Pages 13-22 In Styli 2003. Trente ans de crevetticulture en Nouvelle-Calédonie. Nouméa-Koné, 2-6 juin 2003. Edition Ifremer, Actes de colloques 38.
- Fox, J.M., Lawrence, A.L., Li-Chan, E., 1995. Dietary requirement for lysine by juvenile *P. vannamei* Elevage de la crevette *Litopenaeus stylirostris* en Nouvelle-Calédonie

- using intact and free amino acid sources. *Aquaculture* 131: 279-290.
- Fox, J.M., Trece, G.D., Sanchez, D.R., 2001. Shrimp nutrition and feed management. In Haws, M.C. and Boyd, C.E. (Eds.). *Methods for improving shrimp farming in Central America*; UCA Press, Managua, Nicaragua, 292 pp.
- Frankos, V.H., Schmitt, D.F., Haws, L.C., McEvily, A.J., Iyengar, R., 1991. Generally recognized as sage (GRAS) evaluation of 4-hexylresorcinol for use as processin aid for prevention of melanosis of shrimp. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 14: 202-212.
- Freeman, D.W., Duerr, E.O., Leber, K.M., 1992. Use of bagasse as a feed input to semi intensive shrimp grow out ponds. *Journal of the World Aquaculture Society* 23: 23-30.
- Frouin, P., 1996. Structure et fonctionnement des écosystèmes benthiques dans les lagons soumis aux perturbations anthropiques. Thèse doctorat Université Française du Pacifique, 206 pp.
- Funge-Smith, S.J., Hawthorn, S., 1996. The effect of bacterial remediation products on water quality in the presence of shrimp pond sediments. Book of abstracts WAS 1996: 133.
- Funge-Smith, S.J., Briggs, M.R.P., 1998. Nutrients budgets in intensive shrimp ponds: implications for sustainability. *Aquaculture* 164:117-133.
- Galindo-Reyes, J.G., Leyva, N.R., Millan, O.A., Lazcano, G.A., 2002. Effects of pesticides on DNA and protein of shrimp larvae *Litopenaeus stylostris* of the California Gulf. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 53: 191-195.
- Garcia, W.U., Garcia, R.U., Garcia, A.F., 1989. Maximizing the use of natural food organisms in intensive prawn farming. Mimeo rapport 35 p.
- Garriquez, D., Arevalo, G., 1995. An evaluation of the production and use of live bacteria isolate to manipulate the microbial flora in the commercial production of *Penaeus vannamei* postlarvae in Ecuador. Pages 53-59 In C.L Broody and J.S. Hopkins, editors. *Swimming through troubled water. Proceedings of the special session on shrimp farming*, Aquaculture 95. World aquaculture society, Baton rouge, Louisiana, USA.
- Gasol, J.M., Del Giorgio, P.A., 2000. Using flow cytometry for counting natural planktonic bacteria and understanding the structure of planktonic bacterial communities. *Scientia marina* 64: 197-224.
- Gatesoupe, F.J., 1999. The use of probiotics in aquaculture. *Aquaculture* 180: 147-165.
- Gauquelin, F., 1996. Effet du taux de protéine alimentaire sur la croissance, la consommation d'oxygène et l'excrétion ammoniacale de la crevette *Penaeus stylostris*. Mémoire de stage MST, Université de Corse, 38 pp.
- GFA, 2004. Comparaison des deux systèmes calédoniens de production de crevettes. Observatoire Aquacole, Document interne, 13 p.
- Giasson, B.K., Lee, V.M., 2000. A new link between pesticides and Parkinson Disease. *Nature Neuroscience* 3: 1227-1228.
- Giere, O., 1993. Meiobenthology. The microscopic fauna in aquatic sediments. Springer-Verlag, 329 pp.
- Glenn, R.P., Pugh, T.L., 2005. Observation and chronology of lobster shell disease in Massachusetts coastal waters. Pages 141-155 In M. Tlusty, H. Halvorson, R. Smolovitz, U. Sharma (Editors). *Proceedings of lobster shell disease workshop assessing research priorities on how lobster biology and health issues impact productivity*. University of Massachusetts, Boston, 12-13 march 2005.
- Glibert, P.M., Harrisson, J., Heil, C., Seitzinger, S., 2006. Escalating worldwide use of urea- a global change contributing to coastal eutrophication. *Biogeochemistry* 77: 441-463.
- Goarant, C., 2001. Bases des connaissances sur l'épidémiologie de *Vibrio nigripulchritudo*, agent étiologique de la mortalité à Seafarm. Ifremer, Note interne du Laboratoire d'Aquaculture de Calédonie.
- Goarant, C., Régnier, F., Brizard, R., Marteau, A.L., 1998. Acquisition of susceptibility to *Vibrio penaeicida* in *Penaeus stylostris* postlarvae and juvenile. *Aquaculture* 169: 291-296.
- Goarant, C., Mérien, F., Berthe, F., Mermoud, I., Pérolat, P., 1999. Arbitrarily primed PCR to type *Vibrio spp.* pathogenic for shrimp. *Applied Environmental Microbiology* 65: 1145-1151.
- Goarant, C., Brizard, R., Marteau, A.L., 2000. A white spot disease like syndrome in the pacific blue shrimp *L. stylostris* as a form of bacterial shell disease. *Aquaculture* 183: 25-30.
- Goarant, C., Herlin, J., Ansquer, D., Brizard, R., Marteau, A.L., 2004a. *Vibrio penaeicida* et le syndrome 93 dans les fermes de crevettes de Nouvelle-Calédonie : revue et perspective. Pages 203-209 In Styli 2003. Trente ans de crevetticulture en Nouvelle-Calédonie. Nouméa-Koné, 2-6 juin 2003. Edition Ifremer, Actes de colloques 38.

- Goarant, C., Herlin, J., Ansquer, D., Imbert, F., Domalain, D., Marteau, A.L., 2004b. Epidémiologie de *Vibrio nigripulchritudo* dans le cadre du syndrome d'été : résultats préliminaires du programme DESANS. Pages 210-215 In Styli 2003. Trente ans de crevetticulture en Nouvelle-Calédonie. Nouméa-Koné, 2-6 juin 2003. Edition Ifremer, Actes de colloques 38.
- Gomes, L.A., 1992. Zen and the art of aquafarming : a close look at taiwanese aquaculture practices. World Aquaculture 23: 18-26.
- Gong, H., Lawrence, A.L., Jiang, D.H., Castille, F.L., Gatlin, D.M., 2000a. Lipid nutrition of juvenile *L. vannamei*: I. Dietary cholesterol and de-oiled soy lecithin requirements and their interaction. Aquaculture 190: 305-324.
- Gong, H., Lawrence, A.L., Jiang, D.H., Gatlin, D.M., 2000b. Lipid nutrition of juvenile *L. vannamei*: II. Active components of soybean lecithin. Aquaculture 190: 325-342.
- Gonzalez-Felix, M.L., Lawrence, A.L., Gatlin, D.M., Perez-Velazquez, M., 2003a. Nutritional evaluation of fatty acids for the open thelycum shrimp, *L. vannamei*. I. Effect of dietary linoleic and linolenic acids at different concentrations and ratios of juvenile shrimp growth, survival and fatty acid composition. Aquaculture Nutrition 9: 105-113.
- Gonzalez-Felix, M.L., Lawrence, A.L., Gatlin, D.M., Perez-Velazquez, M., 2003b. Nutritional evaluation of fatty acids for the open thelycum shrimp, *L. vannamei*. II. Effect of dietary n-3 and n-6 polyunsaturated and highly unsaturated fatty on juvenile shrimp growth, survival and fatty acid composition. Aquaculture Nutrition 9: 115-122.
- Gopakumar, G., Kuuttyamma, V.J., 1996. Effect of hydrogen sulphide on two species of penaeid prawns *Penaeus indicus* (H.Milne Edwards) and *Metapenaeus dobsoni* (Miers). Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 57: 824-828.
- Gopakumar, G., Kuuttyamma, V.J., 1997. Effect of hydrogen sulphide on the substratum selectivity of shrimp *Penaeus indicus*. Indian Journal of Marine Science 26: 104-106.
- Gournier-Château, N., Larpent, J.P., Castellanos, I., Larpent, J.L., 1994. Les probiotiques en alimentation animale et humaine. Technique et Documentation Lavoisier, Paris 192 p.
- Goyard E., Arnaud, S., Vonau, V., Bishoff, V., Mouchel, O., Pham, D., Wyban, J., Boudry, P., Aquacop, 2003. Residual genetic variability in domesticated populations of the Pacific blue shrimp (*Litopenaeus stylostris*) of New-Caledonia, French Polynesia and Hawaii and some management recommendations. Aquatic Living Resources 16: 501–508.
- Goxe, D., 2001. Compte rendu des expérimentations menées à Sea farm pour la période allant du 1<sup>er</sup> juillet 2000 au 30 juin 2001. Rapport du GFA, Nouvelle-Calédonie.
- Grabowski, J., 2005. Interactions among lobster diet, the environment and lobster health: linking dietary changes and environmental pollutants to the incidence of shell disease. Pages 88-90 in M. Tlusty, H. Halvorson, R. Smolovitz, U. Sharma Editors. Proceedings of lobster shell disease workshop assessing research priorities on how lobster biology and health issues impact productivity. University of Massachusetts, Boston 12-13 march 2005.
- Gräslund, S., Bengtson, B.E., 2001. Chemicals and biological products used in south-east Asian shrimp farming, and their potential impact on the environment-a review. The Science of the Total Environment 280: 93-131.
- Grémillet, D., 2006. Des pêcheurs efficaces : les cormorans. Pour la Science 347: 62-67.
- Griessinger, J.M., 1994. Rapport de mission à la SODACAL. Rapport Ifremer.
- Griessinger, J.M., Lacroix, D., Gondouin, P., 1991. L'élevage de la crevette tropicale d'eau douce. Editions Ifremer 372 pp.
- Guillard, L., 1989. Présentation du problème soft-shell chez les pénéides en Nouvelle-Calédonie. DESS Exploitation des ressources vivantes. Université de Caen 40 pp.
- Guillaume, J., 1999. Généralités. In Guillaume, J., Kaushik, S., Bergot, P., Métailler, R. (Eds.) Nutrition et alimentation des poissons et des crustacés. INRA ed., Brest, France ;pp ;25-29.
- Guyotte, K., 2005. Caractérisation des sédiments aquacoles. Rapport de stage, GFA, 60pp.
- Hajek, B.F., Boyd, C.E., 1994. Rating soil and water informations for aquaculture. Aquacultural Engineering 13: 115-128.
- Hannecart, F., Letocart, Y., 1985. Oiseaux de Nouvelle-Calédonie et des Loyautés. Tome 1 et 2. Service des Eaux et Forêts. Nouvelle-Calédonie.
- He, H., Lawrence, A.L., 1993. Vitamine E requirement of *P. vannamei*. Aquaculture 118: 245-255.
- Hentschel, B., Feller, R.J., 1990. Quantitative immunoessay of the proventricular contents of the white shrimp *Penaeus setiferus* Linnaeus : a laboratory study. Experimental Marine Biology Ecology 139 : 85-99.

- Herblard, A., 2006. Mesure des Matières Aisément Oxydables (MAO) dans les sédiments aquacoles par une méthode spectrophotométrique. Méthode pratiquée au DAC. Ifremer, DAC, Doc. Interne, 13 pp.
- Herblard, A., 2007. La culture du phytoplancton dans les bassins aquacoles. Aspects théoriques et applications pratiques. Ifremer/DAC/RST. 2007-04, 26 pp.
- Herblard, A., 2008. Utilisation du fluorimètre et turbidimètre de terrain Aquafluor® (Turner Designs). Ifremer/LEAD-NC/Protocole 2008-02, 6 pp.
- Herlin, J., 1999. Synthèse bibliographique sur l'action des probiotiques en aquaculture et travaux en élevage larvaire de *L. stylifera*. Ifremer, SASV, Fiche Biotechnique 99.12, 16 pp.
- Herlin, J., 2002. Mortalités crevettes et efflorescences d'anémones. Vérification de toxicité et essais d'éradication au sulfate de cuivre. Rapport interne, Ifremer/DAC, Nouvelle-Calédonie.
- Herlin, J., 2003. Compte rendu d'intervention 26-09-03 sur la ferme de la Pénède de Ouano. Ifremer/DAC, Nouvelle-Calédonie.
- Herlin, J., 2004. Compte rendu d'intervention 17-12-04 sur la ferme de Pointe Monot. Ifremer/DAC, Nouvelle-Calédonie.
- Hernandez-Llamas, A., Hernandez-Lizardi, J.L., Gonzalez-Garibay, M., Magallan-Brajas, F.J., 1993. Growth and survival response of *P. stylirostris* (Stimpson) to fertilization, pelleted feed and stocking density in earthen ponds. Aquaculture and fisheries management 24: 57-69.
- Hill, B.J., Wassenberg, T.J., 1987. Feeding behaviour of adult tiger prawns *Penaeus esculentus*, under laboratory conditions. Australian Journal of Marine and Freshwater Research 38: 183-190.
- Hirono, Y., 1992. Current practices of water quality management in shrimp farming and their limitations. Pages 157-165 In Wyban, J. (ed.). Proceedings of the Special Session on Shrimp Farming. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA.
- Hirono, Y., Ayala, L., Buchelli, P., Valencia, F., 1991. Use of copper sulfate as a herbicide to control an excessive growth of blue green algae, *Oscillatoria sp.* And *Glothece sp.* and effect on the pacific white shrimp *Penaeus vannamei* in culture ponds in Ecuador. Abstract, 22<sup>nd</sup> World aquaculture conference, San Juan, Porto Rico.
- Howerton, R.D., Boyd, C.E., 1992. Measurement of water circulation in ponds with gypsum blocks. Aquacultural Engineering 11: 141-155.
- Hopkins, J.S., 1994. An apparatus for continuous removal of sludge and foam fractions in intensive shrimp culture ponds. The Progressive Fish Culturist 56: 135-139.
- Hopkins, J.S., Stokes, A.D., Browdy, C.L., Sandifer, P.A., 1991. The relation ship between feeding rate, paddlewheel aeration rate and expected dawn dissolved oxygen in intensive shrimp ponds. Aquacultural Engineering 10: 281-290.
- Hopkins, J.S., Browdy, C.L., Sandifer, P.A., 1994. Sludge management in Intensive pond Culture of shrimp: effect of management regime on water quality, sludge characteristics, nitrogen extinction, and shrimp production. Aquacultural Engineering 13: 11-30.
- Hori, H., Tateishi, M., Yamada, H., 2002. Acute toxicity of organotin compounds, pesticides and chromium to *Penaeus japonicus* and *Heptacarpus futilirostris*: effects of moulting, water temperature and salinity. Bulletin of Japanese Society of Scientific Fisheries 68: 29-36.
- Horowitz, A., Horowitz, S., 2000a. Efficacy of probiotics in growout systems. The Advocate 3(2): 33-34.
- Horowitz, A., Horowitz, S., 2000b. Sludge: an obstacle to shrimp health. The Advocate 3(6): 27-28.
- Huei-Meei, S., I-Chiu, L., Young-men, C., 1993. Mass mortality of prawn caused by *Alexandrium tamarense* blooming in a culture pond in southern Taiwan. Pages 329-333 In Smayda, T.J., Shimizu, Y. (Eds.). Toxic phytoplankton blooms in the Sea. Elsevier, New York.
- Hulthe, G., Hulth, S., Hall, O.J., 1997. Effect of oxygen on degradation rate of refractory and labile organic matter in continental margin sediments. Geochimica et Cosmochimica Acta 62: 1319-1328.
- Hunter, B., Pruder, G., Wyban, J.A., 1987. Biochemical composition of pond biota, shrimp ingesta and relative growth of *Penaeus vannamei* in earthern ponds. Journal of the World Aquaculture Society 18: 162-174.
- Husnah, Lin, C.K., 2001. Toxicity of chlorine to different size of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) in low-salinity shrimp pond water. Aquaculture Research 33: 1129-1135.
- Hussenot, J., Feuillet-Girard, M., 1988. Le sédiment des marais salés aquacoles de la côte atlantique. Recherche de paramètres indicateurs de la qualité des fonds. L'exemple des bassins d'élevage de la crevette impériale. Aqua Revue 17: 25-28.
- Hussenot, J., Brossard, N., 1995. Premiers essais automnaux en culture de masse de diatomées en eau

- de mer stérilisée en N, P et Si. Ifremer, Rapport Interne DRV/RI/95-02.
- Jayasree, L., Janakiram, P., Madhavi, R., 1999. Shell disease in the freshwater prawn *M. rosenbergii*: aetiology, pathogenicity and antibiotic sensitivity. Journal of Aquaculture in the Tropics 14: 289-298.
- Jenneman, G.E., McInerney, M.J., Knapp, R.M., 1986. Effect of nitrate on biogenic sulfide production. Applied Environmental Microbiology 51: 1205-1211.
- Jiasheng, X., Mingyuan, Z., Binchang, L. 1993. The formation and environmental characteristics of the largest red tide in North China. Pages 359-362 In Smayda, T.J., Shimidzu, Y. (Eds.). Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea. Elsevier, New York.
- Jimenez, R., 1993. Ecological factors related to *Gyrodinium istriatum* bloom in the inner estuary of Gulf of Guayaquil. Pages 257-262 In Smayda, T.J., Shimidzu, Y. (Eds.). Toxic phytoplankton blooms in the Sea. Elsevier, New York.
- Jory, D.E., 1995. Feed management practices for a healthy pond environment. Pages 118-144 In: Browdy, C.L. and Hopkins, J.S. (eds.) Proceedings of the special session, aquaculture "95". World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana USA.
- Jory, D.E., 1998. Use of probiotics in penaeid shrimp growout. Aquaculture Magazine 24: 62-67.
- 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: C.L. Browdy et D.E. Jory (eds.). The new wave. Proceedings of the special session on sustainable shrimp culture, Aquaculture 2001. The world aquaculture society, Baton Rouge, LA, USA.
- Kanazawa, A., Teshima, S., Endo, M., 1979. Requirements of prawn *P. japonicus* for essential fatty acids. Memoires of Faculty of Fisheries, Kagoshima University, 28: 27-33.
- Kanazawa, A., Teshima, S., 1981. Essential amino acids of the prawn. Bulletin of Japanese Society of Scientific Fisheries 47: 1357-1377.
- Keys, S.J., 2003. Aspects of the biology and ecology of the brown tiger prawn, *Penaeus esculentus*, relevant to aquaculture. Aquaculture 217: 4325-334.
- Knud-Hansen, C.F., 1992. Pond history as a source of error in fish culture experimentation: a quantitative assessment using covariate analysis. Aquaculture 105: 21-36.
- Knud-Hansen, C.F., Pautong, A.K., 1993. On the role of urea in pond fertilization. Aquaculture 114: 273-283.
- Kristensen, E., Ahmed, S.I., Devol, A.H., 1995. Aerobic and anaerobic decomposition of organic matter in marine sediment: which is the fastest? Limnology and Oceanography 40: 1430-1437.
- Kureshy, N., Davis, D.A., 2002. Protein requirement for maintenance and maximum weight gain for the pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture 204: 125-143.
- Kutt, E.C., Martin, D.F., 1974. Report on a biochemical red tide repressive agent. Environmental Letter 9: 195-208.
- Lawrence, A.L., 1997. Shrimp feeds: a closer look at recommended vitamins. Details about minerals for shrimp. Feed International, February 1997: 12-15.
- Lawrence, C.S., Bellanger, J.E., Morrissey, N.M., 1999. The use of calcium nitrate to increase dissolved oxygen levels in ponds. WAS 1999. Book of abstracts, p 66.
- Laws, E.A., Malecha, S.R., 1981. Application of nutrient-saturated growth model to phytoplankton management in freshwater prawn (*M. rosenbergii*) ponds in Hawaii. Aquaculture 24: 91-101.
- Lawson, T.B., Wheaton, F.W., 1983. Crawfish culture systems and their management. Journal of World Mariculture Society 14: 325-335.
- Leber, K.M., Dominy, M., Pruder, G.D., 1988. Shrimp feeding responses to food web manipulation in experimental grow out ponds. Journal of the World Aquaculture Society 19: 44.
- 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.
- Lee, D.L., 1971. Studies on protein utilization related to growth of *P. monodon* Fabricius. Aquaculture 1: 1-13.
- Lefèvre, J., 1997. Dynamique des communautés phytoplanctoniques dans les basins d'élevage de crevettes en saison froide en relation avec les épisodes de mortalités du syndrome 93. Rapport DESS Université de Caen, 140 pp.
- Lei, C.H., Hsieh, L.Y., Chen, C.K., 1989. Effect of salinity on the oxygen consumption and ammonia-Elevage de la crevette *Litopenaeus stylostris* en Nouvelle-Calédonie

- N excretion of young juvenile of the grass shrimp, *P. monodon* Fabricius. Bulletin of Institute of Zoology, Academia Sinica 28: 245-256.
- Lemaire, P., Bernard, E., Martinez-paz, J.A., Chim, L., 2002. Combined effect of temperature and salinity on osmoregulation of juvenile and subadult *Penaeus stylostris*. Aquaculture 209: 307-317.
- Lemos, D., Ezquerro, J.M., Garcia-Carreño, F.L., 2000. Protein digestion in penaeid shrimp : digestive proteinases, proteinase inhibitors and feed digestibility. Aquaculture 186: 89-105.
- Lewis, M.A., Dantin, D.D., Walker, C.C., Kurtz, J.C., Greene, R.M., 2003. Toxicity of clay flocculation of the toxic dinoflagellate, *Karenia brevis*, to estuarine invertebrates and fish. Harmful Algae 2: 235-246.
- Li, W.K.W., 1990. Bivariate and trivariate analysis in flow cytometry: phytoplankton size and fluorescence. Limnology et Oceanography 35: 1356-1367.
- Lignot, J.H., Charmantier, G., Cochard, J.C., 1998. Effect of organophosphorous insecticide, fenitrothion on survival osmoregulation and acetylcholinesterase activity in different life stages of two penaeids shrimps: *Penaeus stylostris* and *Penaeus vannamei*. Journal of shell fish Research 17: 1251-1258.
- Lim, C., 1993. Effect of dietary pH on amino acid utilization by shrimp *P. vannamei*. Aquaculture 114: 293-303.
- Lim, C., Ako, H., Brown, C.L., Hahn, K., 1997. Growth response of fatty acid composition of juvenile *L. vannamei* fed different sources of dietary lipid. Aquaculture 151: 143-153.
- Lin, S.J., Tin, Y.Y., 1993. The toxicity of heavy metals to juveniles *Penaeus penicillatus* in each stage. Journal of Taiwan Fisheries Research 1: 55-65.
- Lightner, D.V., 2000. Report of the histological findings in moribund *L. stylostris* from Seafarm, New Caledonia. Rapport pour la DAVAR, Nouvelle-Calédonie.
- Lightner, D.V., Colvin, L.B., Brand, C., Donald, D.A., 1977. Black death, a disease syndrome of penaeid shrimp related to a dietary deficiency of ascorbic acid. Proceedings World Mariculture Society 8: 611-623.
- Lightner, D.V., 1988. Hemocytic enteritis (HE) disease of penaeid shrimp. Pages 89-92 In: Sindermann, C.J., Lightner, D.V. (Eds.) Disease diagnosis and control in North American marine aquaculture, Elsevier, Amsterdam.
- Liu, C.H., Yeh, S.T., Cheng, S.Y., Chen, J.C., 2004. The immune response of the white shrimp *Litopenaeus vannamei* and its susceptibility to *Vibrio* infection in relation with the moult cycle. Fish and Shellfish Immunology 16: 151-161.
- Longmuir, E., 1983. Setal development, moult staging and ecdysis in the banana prawn, *Penaeus merguiensis*. Marine Biology 77: 183-190.
- Lopez, C., Velasco, M., Hinrichsen, J.P., Lawrence, A.L., Rutman, M., 1998. Effect of krill meal on *P. vannamei* growth. WAS 98 Book of Abstracts, Las Vegas, Nevada, USA, p. 336.
- Losordo, T.M., Piedrahita, R.H., 1991. Modelling temperature variation and thermal stratification in shallow aquaculture ponds. Ecology Modelling 54: 189-226.
- Lotz, J.M., 1997. Special topic review: Viruses, biosecurity and specific pathogen free stocks in shrimp aquaculture. World Journal of Microbiology and Biotechnology 13: 405-413.
- Lotz, J.M., Browdy, C., Carr, W., Frelier, P., Lightner, D., 1995. USMSFP suggested procedures and guidelines for assuring the specific pathogen free status of shrimp broodstock and seed. Pages 66-74 In: Browdy, C.L. and Hopkins, J.S. (eds.) Proceedings of the special session, aquaculture "95". World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana USA.
- Lyons, M.M., Smolowitz, R., Uhlinger, K.R., Gast, R.J. et Ward, J.E., 2005. Lethal marine snow: Pathogen of bivalve mollusc concealed in marine aggregates. Limnology and Oceanography 50: 1983-1988.
- McGraw, W., Teichert-Coddington, D.R., Rouse, D.B., Boyd, C.E., 2001. Higher minimum dissolved oxygen concentrations increase penaeid shrimp yields in earthen ponds. Aquaculture 199: 311-321.
- McIntosh, P.R., 2000. Changing paradigms in shrimp culture: III. Pond design and operation considerations. The Advocate 3: 42-45.
- McIntosh, R.P., Drennan, D.P., Bowen, B.M., 1999. Belize aquaculture: development of an intensive sustainable, environmentally friendly shrimp farm in Belize. Pages 85-98 In B.W. Green *et al.* (eds). Aquacultura y ambiente, junto hacia el nuevo milenio.
- McTigue, T.A., Feller, R.J., 1989. Feeding of juvenile white shrimp *Penaeus setiferus*: periodic or continuous ?. Marine Ecological Progress Series 52: 227-233.

- Madenjian, C.P., Rogers, G.L., Fast, A.W., 1987a. Predicting night time dissolved oxygen loss in prawn ponds of Hawaii: Part I: Evaluation of traditional methods. *Aquacultural Engineering* 6: 191-208.
- Madenjian, C.P., Rogers, G.L., Fast, A.W., 1987b. Predicting night time dissolved oxygen loss in prawn ponds of Hawaii. Part II: New method. *Aquacultural Engineering* 6: 209-225.
- Madenjian, C.P., 1990. Patterns of oxygen production and consumption in intensively managed marine shrimp ponds. *Aquaculture and Fisheries Management* 21: 407-417.
- Maeda, M., Nogami, K., Kanematsu, M., Hirayama, K., 1997. The concept of biological control methods in aquaculture. *Hydrobiologia* 358: 285-290.
- Maguire, G.B., Bell, J.D., 1981. The effect of fish on growth and survival of school prawns *Metapenaeus macleayi* in some Australian brackish water farming ponds. *Aquaculture* 24 : 267-283.
- Manini, E., Fiordelmondo, C., Gambi, C., Pusceddu, A., Danovaro, R., 2003. Benthic microbial loop functioning in coastal lagoons: a comparative approach. *Oceanologica Acta* 26: 27-38.
- Mari, X., Burd, A., 1998. Seasonal size spectra of transparent exopolymeric particles (TEP) in a coastal sea and comparison with those predicted using coagulation theory. *Marine Ecological Progress Series* 163: 63-76.
- Marie, D., Brussaard, C.P.D., Thyrhaug, R., Bratbak, G., Vaulot, D., 1999. Enumeration of marine viruses in culture and natural samples by flow cytometry. *Applied Environmental Microbiology* 65: 45-52.
- Marshall, M.R., Simpson, B.K., Ferrer, O., Otwell, W.S., 1988. Purification and characterization of phenoloxidases in crustaceans: shrimp and lobster. Pages 1-12 In Proceedings XII Annual Conference Tropical and Subtropical Fisheries, Technological Society of the Americas, Florida.
- Marte, C.L., 1980. The food and feeding habit of *Penaeus monodon* Fabricius collected from Makato River Aklan Philippines (Decapodes, Natantia). *Crustaceana* 38: 225-236.
- Martin, J.F., 1987a. La fertilisation des étangs I. *Aqua revue* 11: 34-39.
- Martin, J.F., 1987b. La fertilisation des étangs II. *Aqua revue* 12: 35-41.
- Martin, J.L., 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.
- Martinez-Cordova, L.R., Pasten-Miranda, N., Barraza-Guardado, R., 1998. Effect of fertilization on growth, survival, food conversion ratio and production of pacific white shrimp *P. vannamei* in earthen ponds in Sonora, Mexico. *The Progressive Fish-culturist* 60: 101-108.
- Martinez-Cordova, L.R., Campaña-Torres, & Porchas-Cornejo, M.A., 2003. Dietary protein level and natural food management in the culture of blue (*Litopenaeus stylorostis*) and white (*Litopenaeus vannamei*) shrimp in microcosms. *Aquaculture Nutrition* 9: 155-160.
- Mazzola, A., Mirto, S., Danovaro, R., 1999. Initial fish-farm impact on meiofaunal assemblages in coastal sediments of the Western Mediterranean. *Marine Pollution Bulletin* 38: 1126-1133.
- Mazzola, A., Mirto, S., La Rosa, T., Fabiano, M., Danovaro, R., 2000. Fish-farming effects on benthic community structure in coastal sediments: analysis of meiofaunal recovery. *ICES Journal of Marine Science* 57: 1454-1461.
- Meijer, L.E., Avnimelech, Y., 1999. On the use of micro-electrodes in fish pond sediments. *Aquacultural Engineering* 21: 71-83.
- Mendez, L., Racotta, I.S., Acosta, B., Portillo-Clark, G., 2001. Effect of sediment on the growth and survival of *Penaeus stylorostis*. Pages 355-358 In: C. I. Hendry, G. van Stappen, M. Wille et P. Sorgeloos (Eds). Larvi'01. Fish and shellfish larviculture symposium. European Aquaculture Society, Special publication N°30, Oostende, Belgium.
- Milton, N., 1954. Chemical prevention of black spot (melanogenesis) in ice stirred shrimp. *Food Technology*, July, 317-319.
- Mingyuan, Z., Jiasheng, X., 1993. Red tide in shrimp ponds along the Bohai Sea. Pages 363-367 In Smayda, T.J., Shimizu, Y. (Eds.). *Toxic phytoplankton blooms in the Sea*. Elsevier, New York.
- Mirto, S., La Rosa, T., Moccia, G., Kosta, K., Sara, G., Mazzola, A., 2004. Meiofauna and benthic microbial biomass in a semi-enclosed mediterranean marine system (stagnone of Marsala, Italy). *Chemistry and Ecology* 20 (supplement 1): 387-396.
- Molina, C., Cadena, E., Orellana, F., 2000. Alimentacion de camarones en relacion a la actividad enzimatica como una respuesta natural al ritmo circadiano y ciclo de muda. Pages 358-380

- In E . Cruz Suarez, D. Ricque, M. Tapia Salazar, M.A. Olivera Novoa et R. Civera Cerecedo (eds). Memorias, avances en nutricion acuicola V, Universidad Autonoma de Nuevo Leon, Monterrey, NL, Mexico.
- Moriarty, D.J.W., 1996a. Microbial ecology-its fundamental role in sustainable aquaculture. Page 262 In R.L. Creswell (editor). Book of abstracts. Annual meeting of the World Aquaculture Society. January 29-February 2, 1996. Bangkok, Thailand.
- Moriarty, D.J.W., 1996b. Microbial biotechnology: a key ingredient for sustainable aquaculture. INFOFISH International 4: 29-33.
- Moriarty, D.J.W., 1997. The role of microorganisms in aquaculture ponds. Aquaculture 151: 333-349.
- Moriarty, D.J.W., 1998. Control of luminous Vibrio species in penaeid aquaculture ponds. Aquaculture 164: 351-358.
- Moriarty, D.J.W., 2006. Pond management manual. Use of Sanolife® Probiotics products, 10 pp.
- Moss, S.M., Pruder, G.D., 1991. Effect of feed quality on the growth enhancing properties of suspended particles in shrimp pond water. Journal of the World Aquaculture Society 22: 43A.
- Moss, S.M., Pruder, G.D., Leber, K.M., Wyban, J.A., 1992. The relative enhancement of *P. vannamei* growth by selected fractions of shrimp pond water. Aquaculture 101: 229-239.
- Moss, S.M., 1995. Production of growth enhancing particles in a plastic-lined shrimp pond. Aquaculture 132: 253-260.
- Mugnier, C; Justou, C., 2004a. La crevette et le syndrome d'été en Nouvelle-Calédonie: quelles réponses physiologiques et immunitaires ? Résultats préliminaires du programme DESANS. Pages 85-92 In Styli 2003. Trente ans de crevetticulture en Nouvelle-Calédonie. Nouméa-Koné, 2-6 juin 2003. Edition Ifremer, Actes de colloques 38.
- Mugnier, C; Justou, C., 2004b. Combined effect of external ammonia and molt stage on the blue shrimp *Litopenaeus stylostris* physiological response. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 309: 35-46.
- Mugnier, C., Soyez, C., 2005. Response of the blue shrimp *Litopenaeus stylostris* to temperature decrease and hypoxia in relation to molt stage. Aquaculture 244: 315-322.
- Munsiri, P., Boyd, C.E., Hajek, B.F., 1995. Physical and chemical characteristics of bottom soils profiles in ponds at Auburn, Alabama and a proposed system for describing pond soils horizons. Journal of the World Aquaculture Society 26: 346-377.
- Munsiri, P., Boyd, C.E., Teichert-Coddington, D., Hajek, B.F., 1996. Texture and chemical composition of soils from shrimp ponds near Choluteca. Aquaculture International 4: 157-168.
- Musig, Y., Boyd, C.E., 1980. Comparison of polyphosphate and orthophosphate as fertilizers for fish ponds. Aquaculture 20: 135-138.
- Na, W., Choi, W., Chun, Y., 1996. A study on red tide control with loess suspension. Aquaculture 9: 239-245.
- Nelson, D.W., Sommers, L.E., 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Pages 363-375 In A. Klute (Ed.). Methods of soils analysis. Part II. Physical and mineralogical methods. American society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Neves, R.J., 1975. ZooPlankton recolonization of a lake cover treated with rotenone. Transaction of American Fisheries Society 2: 390-393.
- Nga, B.T., Lürling, M., Peeters, E.T.H.M., Roijackers, R., Scheffer, M., Nghia, T.T., 2005. Chemical and physical effects of crowding on growth and survival of *Penaeus monodon* Fabricius post larvae. Aquaculture 246: 455-465.
- Nunes, A.J.P., Gesteira, T.C.V., Goddard, S., 1996. Feeding activity patterns of the southern brown shrimp *Penaeus subtilis* under semi intensive conditions in NE Brazil. Aquaculture 144: 371-386.
- Nunes, A.J.P., Gesteira, T.C.V., Goddard, S., 1997. Food ingestion and assimilation by the southern brown shrimp *Penaeus subtilis* under semi-intensive culture in NE Brazil. Aquaculture 149: 121-136.
- Nunes, A.J.P., Parsons, G.J., 1998. Food handling efficiency and particle size selectivity by the southern brown shrimp *Penaeus subtilis* fed a dry pelleted feed. Marine Behaviour and Physiology 31: 193-213.
- Nunes, A.J.P., Parsons, G.J., 1999. Feeding levels of the southern brown shrimp *Penaeus subtilis* in response to food dispersal. Journal of the World Aquaculture Society 30: 331-348.
- Nunes, A.J.P., 2000. Purina feeding manual for marine shrimp. Agribrands do Brasil. Ltda. Paulinia,

- Sao Paulo, Brazil 40 pp.
- Nunes, A.J.P., Parsons, G.J., 2000. Size related feeding and gastric evacuation measurements for the southern brown shrimp *Penaeus subtilis*. Aquaculture 187: 133-151.
- Nunes, A.G.P., Suresh, V., 2001. Using feeding trays in brazilian shrimp farms : improved techniques for efficient feed management. The Advocate 4: 23-26.
- Otwell, W.S., Iyengar, R., McEvily, A.J., 1992. Inhibition of shrimp melanosis by 4-hexylresorcinol. Journal Aquatic Product and Technology 1: 53-65.
- Paelrl, H.W., Tucker, C., 1995. Ecology of blue-green algae in aquaculture ponds. Journal of the World Aquaculture Society 26: 109-137.
- Paez-Osuna, F., Guerrero-Galvan, S.R., Ruiz-Fernandez, A.C., Espioza-Angulo, R.E., 1997a. Fluxes and mass balances of nutrients in semi-intensive shrimp farm in North-West Mexico. Marine Pollution Bulletin 34: 290-297.
- Paez-Osuna, F., Guerrero-Galvan, S.R., Ruiz-Fernandez, A.C., 1999b. Discharge of nutrients from shrimp farming to Coastal waters of the Gulf of California. Marine Pollution Bulletin 38: 585-592.
- Patrois, J., Goyard, E., Peignon, J.M., Dufour, R., Ansquer, D., 2007. Sécurisation des souches de crevettes d'élevage en Nouvelle-Calédonie : Résultats de la quarantaine et du conservatoire expérimental et éléments pour la définition d'une stratégie de sécurisation des souches de crevettes en Nouvelle-Calédonie. Ifremer/DAC/RST. 2007-02, 43 pp.
- Paul, J.H., 1983. Uptake of organic nutrients. Pages 275-308 In Carpenter, E.J and Capone, D.G. (eds.). Nitrogen in the marine environment. Academic Press, New York.
- Peignon, J.M., Broutor, F., Dufour, R., Maillez, J-R., Patrois, J., Pham, D., Goyard, E., 2006. Normes d'élevage en bacs 500-1600 litres pour les phases de nurseries et de pré grossissement chez *L. stylirostris*. Détermination de la progression journalière de la ration. Ifremer/DAC/Fiche biotechnique 2006-2.
- Peñaflorida, V.D., 1999. Interaction between dietary levels of calcium and phosphorus on growth of juveniles shrimp, *Penaeus monodon*. Aquaculture 172: 281-289.
- Perrier, T., 1990. Etude des stades de mue chez *Penaeus stylirostris* afin de minimiser le pourcentage de crevettes molles lors des pêches. Rapport de stage de DESS. Université de Caen, 88 pp.
- Peterson, E.L., 2001. Review of engineering for sustainable shrimp farming. Pages 153-166 In Browdy, C.L. Jory, D.E. (Eds.). Proceedings of the special session on sustainable shrimp culture, Aquaculture 2001. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA.
- Peterson, E.L., Pearson, D., 2000. Aeration in a square shrimp pond. The Advocate 3: 44-46.
- Peterson, E.L., Wadhwa, L.C., Harris., J.A. 2001. Arrangement of aerators in an intensive shrimp growout pond having a rectangular shape. Aquacultural Engineering 25: 51-65.
- Peterson, E.L., Walker, M.B., 2002. Effect of speed on Taiwanese paddlewheel aeration. Aquacultural Engineering 26: 129-147.
- Peterson, E.L., Welch, J., Berry, K., 2003. Energy-efficiency manual for aquaculture pond aeration. University of Queensland and Queensland Government, 31 pp. [http://www.marine.uq.edu.au/publications/PetersonEric/Energy\\_efficient\\_aeration.pdf](http://www.marine.uq.edu.au/publications/PetersonEric/Energy_efficient_aeration.pdf)
- Peterson, J., Daniels, H., 1992. Shrimp industry perspective on soil and sediment management. Pages 182-186 In: Wyban, J., (Ed.), Proceedings of the Special Session on Shrimp Farming, World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, USA.
- Pillay, V.K., Boyd, C.E., 1985. A simple method for calculating liming rates for fish ponds. Aquaculture 46: 157-162.
- Preston, N.P., Coman, F.E., Fry, V.M., 2003. Shrimp pond zooplankton dynamics and the efficiency of sampling effort. Aquaculture Research 34: 373-380.
- Primavera, J.H., 1993. Environmental and socio economic effect of shrimp farming: the Philippines experience. Reviews in Fisheries Science 1: 151-201.
- Primavera, J.H., 1994. Environmental and socio economic effect of shrimp farming: the Philippines experience. Infofish International 1/94: 44-49.
- Prince, D.L., Bayer, R.C., 2005. Are all lobsters created equal ? Understanding the role of host susceptibility in the development of shell disease in *Homarus americanus*. Pages 58-67 In M. Tlusty, H. Halvorson, R. Smolovitz, U. Sharma (Editors). Proceedings of lobster shell disease workshop assessing research priorities on how lobster biology and health issues impact productivity. University of Massachusetts, Boston, 12-13 march 2005.
- Purcell, S.W., Patrois, J., Fraisse, N., 2006. Experimental evaluation of co-culture of juvenile sea

- cucumbers, *Holothuria scabra* (Jaeger), with juvenile blue shrimp, *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson). Aquaculture Research 37: 515-522.
- Queiroz, J.F., Boyd, C.E., 1998. Effects of a bacterial inoculum in channel catfish ponds. Journal of the World Aquaculture Society 29: 67-73.
- Queiroz, J.F., Boyd, C.E., Gross, A., 1998. Evaluation of a bio-organic catalyst in channel catfish, *Ictalurus punctatus*, ponds. Journal of Applied Aquaculture 8: 49-61.
- Rajagopal, S., Srinivasan, M., Ajmal Khan, S., 1995. Problems in culturing black tiger shrimp *Penaeus monodon* the semi intensive-way: an Indian experience. NAGA, The ICLARM quarterly, july:29-30.
- Ram, N.M., Aur, O., Avnimelech, Y., 1982. Microbial changes occurring at the sediment-water interface in an intensively stocked and fed fish pond. Aquaculture 27: 63-72.
- Renaud, L., 1949. Le cycle des réserves organiques chez les crustacés décapodes. Annales Institut Océanographique 24: 249-357.
- Rengpipat, S., Rukpratanporn, S., Piyatiratitivorakul, S., Mensaveta, P., 1998. Probiotics in Aquaculture: A case study of probiotics for larvae of the black tiger shrimp *Penaeus monodon*. In Flegel, T.W. (ed.). Advances in shrimp biotechnology. Proceedings of the special session on shrimp biotechnology, 5<sup>th</sup> Asian Fisheries Forum, Chiengmai, Thailand. The National Centre for Genetic Engineering and Biotechnology, Bangkok, Thailand.
- Reymond, H., Lagardère, J.P., 1990. Feeding rhythms and food for *P. japonicus* bate (Crustacea, Penaeidae) in salt marsh ponds : role of halophilic entomofauna. Aquaculture 84: 125-143.
- Ritvo, G., 1999. Elemental composition of shrimp pond soils, with emphasis on the potential negative effect of sulfur and its control. PhD dissertation, Texas A et M University, College station, TX, USA, 91 pp.
- Ritvo, G., Speed, F.M., Samocha, T.M., Lawrence, A.L., Neill, W.H., Dixon, J.B., 1997a. Soil chemical composition for two shrimp farms in south Texas. Pages 391 In Book of abstracts, Annual Meeting World Aquaculture Society, Seattle, Washington, USA.
- Ritvo, G., Lawrence, A.L., Neill, T.M., Samocha, W.H., Dixon, J.B., Speed, F.M., 1997b. Elemental accumulations in soils of shrimp ponds in six years. Pages 390 In Book of abstracts, Annual Meeting World Aquaculture Society, Seattle, Washington, USA.
- Ritvo, G., Samocha, T.M., Lawrence, A.L., Neill, W.H., 1998. Growth of *Penaeus vannamei* on soils from various Texas shrimp farms, under laboratory conditions. Aquaculture 163: 101-110.
- Ritvo, G., Dixon, J.B., Lawrence, A.L., Neill, W.H., Speed, M.F., 1998a. Accumulation of chemical elements in Texas shrimp pond soils. Journal of the World Aquaculture Society 29: 422-431.
- Ritvo, G., Sherman, M., Lawrence, A.L., Samocha, T.M., 1998b. Determining the bottom soil sampling rate in shrimp ponds using variograms. Aquacultural Engineering 17: 273-282.
- Ritvo, G., Speed, F.M., Nelly, W.H., Nixon, J.B., Samocha, T.M., Lawrence, A.L., 1999. Regression analysis of soil chemical composition for two shrimp farms in Texas. Journal of the World Aquaculture Society 30: 26-35.
- Rivas, J.F., 1997. El uso de comederos (charolas de alimentacion) en lagunas de cultivos de camarón en una finca de Honduras. Pages 194-195 In D.E. Alston, B.W., Green et H.G. Clifford (eds.). Memorias V Simposio Centroamericano de acuacultura, Asociacion nacional de acuicultores de Honduras, Tegucigalpa, Honduras.
- Rivera, G.L., 1992. Utilizacion de urea par promover la reduccion de materia organica en piscinas camaroneras. Memorias I congresso Ecuatoriano de Acuicultura : 157-162.
- Roberts, J.P., 2003. Flow cytometry. The scientist 17: 43-45.
- Robertson, L., Bray, W., Leung-trujillo, J., Lawrence, A., 1987. Practical molt staging of *Penaeus setiferus* and *Penaeus stylostris*. Journal of the World Aquaculture Society 18: 180-185.
- Robertson, L., Lawrence, A., Castille, F.L., 1993a. Effect of feeding frequency and feeding time on growth of *Penaeus vannamei* (Boone). Aquaculture and Fisheries Management 24: 1-6.
- Robertson, L., Lawrence, A., Castille, F.L., 1993b. Interaction of salinity and feed protein level on growth of *P. vannamei*. Journal of Applied Aquaculture 2: 43-54.
- Rodriguez, G.A., 1981. Osmoregulation and total serum protein of two species of penaeidean shrimps from the pacific coast of Mexico. Journal of Crustacean Biology 1: 392-400.
- Roessink, G., 1989. The handling of feeds in aquaculture- an equipment review. Infosfish international 1: 30-34.
- Rosas, C., Martinez, E., Gaxiola, G., Diaz, E., Brito, R., Soto, L., 1998. Effect of dissolved oxygen on the energy balance and survival of *P. setiferus* juveniles. Marine Ecology Progress Series 174:

67-75.

- Rosati, R., Respcio, P., 2000. Treatment of shrimp pond effluent using constructed wetlands. *The Advocate* 3: 94.
- Rosenberry, B., 2002. World shrimp farming 2002. *Shrimp News International* 276 pp.
- Rothlisberg, P.C., 1998. Aspects of penaeid biology and ecology of relevance to aquaculture: a review. *Aquaculture* 164: 49-65.
- Rounsefell, G.A., Evans, J.E., 1958. Large scale experimental test of copper sulphate as control for the Florida red tide. US Fish and Wildlife Service, Washington, DC Special Report on Fisheries 270.
- Rubright, J.S., Harrell, J.L., Holcomb, H.W., Parker, J.C., 1981. Responses of Planctonic and benthic communities to fertilized and feed applications in shrimp mariculture ponds. *Journal of World Mariculture Society* 12: 281-299.
- Russett, J.C., 2000. Phospholipids in shrimp aquafeeds. *The Advocate* 3: 35-37.
- Sahoo, A.K., Prakash, P., Shankar, K.M. 2005. White spots ? A loaded question for shrimp farmers. *Current Science* 88: 1914-1917.
- Salame, M., 1993. Feeding trays in Penaeid shrimp ponds? *Aquaculture Magazine* 24 : 59-63.
- Sarac, Z., Thaggard, H., Saunders, J., Gravel, M., Neill, A., Cowan, R.T., 1993. Observation on the chemical composition of some commercial prawn feed and associated responses in *Penaeus monodon*. *Aquaculture* 115: 97-110.
- Saroglia, M.G., Queirazza, G., Scarano, G., 1981. Water quality criteria for aquaculture in thermal effluents, heavy metals and residual antifouling products. Pages 99-112 In Tiews, K.(Ed.). *Aquaculture in Heated effluents and recirculation systems. Proceedings of a world symposium*, Stavanger, Norway.
- Schnitzer, M., 1982. Organic matter characterization. Pages 581-594 in A.L. Page (ed.). *Methods of soils analysis. Part 2. Chemical and biological properties*. American society of agronomy Inc., Soil science society of America Inc., Madison, Wisconsin USA.
- Schroeder, G.L., 1987. Carbon and nitrogen budgets in manured fish ponds on Israël's coast plain. *Aquaculture* 62: 259-279.
- Schwartz, M.F., Boyd, C.E., 1995. The use of constructed wetlands to treat aquacultural effluents. *World Aquaculture* 26: 42-44.
- Scura, E.D., 1995. Dry season production problems on shrimp farms in Central America and the Caribbean basin. Pages 200-213 In C.L. Browdy et J.S. Hopkins (eds.). *Swimming through troubled waters. Proceedings of the special session on shrimp farming*, Aquaculture 95. World aquaculture society, Baton Rouge, LA, USA.
- Sedgwick, R.W., 1979a. Effect of ration size and feeding frequency on the growth and food conversion of juveniles *Penaeus merguiensis* de Man. *Aquaculture* 16: 279-298.
- Sedgwick, R.W., 1979b. Influence of dietary protein and energy on growth, food consumption and food conversion efficiency in *Penaeus merguiensis* De man. *Aquaculture* 16: 7-30.
- Seidman E.R., Lawrence, A.L., 1986. Growth, feed digestibility and proximate body composition of juvenile *Penaeus vannamei* and *Penaeus monodon* growth at different dissolved oxygen levels. *Journal of the World Aquaculture Society* 16: 333-346.
- Senadheera, S., Pathiratne, K., 2003. Bioaccumulation potential of three toxic heavy metals in shrimp, *Penaeus monodon* from different fractions of the culture environment. *Sri Lanka Journal of Aquatic Sciences* 8: 27-39.
- Seymour, E.A., 1980. The effects and control of algal blooms in fish ponds. *Aquaculture* 19: 55-74.
- Shiau, S.Y., 1998. Nutrient requirements of peneids shrimps. *Aquaculture* 164: 77-93.
- Shiau, S.Y., Chou, B.S., 1991. Effects of dietary protein and energy on growth performance of tiger shrimp *P. monodon* reared in seawater. *Nippon Suisan Gakkaishi* 57: 2271-2276.
- Shiau, S.Y., Kwok, C.C., Chou, B.S., 1991. Optimal dietary protein level of *P. monodon* reared in seawater and brackishwater. *Nippon Suisan Gakkaishi* 57: 711-716.
- Shiau, S.Y., Lin, K.P., Chiou, C.L., 1992. Digestibility of different protein sources by *P. monodon* raised in brackish water and sea water. *Journal of Applied Aquaculture* 1: 47-53.
- Shiau, S.Y., Peng, C.Y., 1992. Utilization of different carbohydrates at different dietary protein levels in grass prawn, *P. monodon*, reared in seawater. *Aquaculture* 101: 241-250.
- Shiau, S.Y., Liu, J.S., 1994a. Quantifying the vitamin K requirement of juvenile marine shrimp *P. monodon* with menadione. *Journal of Nutrition* 124: 277-282.

- Shiau, S.Y., Liu, J.S., 1994b. Estimation of the dietary vitamin K requirement of juvenile *P. chinensis* using menadione. Aquaculture 126: 129-135.
- Shigueno, K., 1978. Problems in prawn culture. Amerind Publishing company, New Dehli, India, 103 pp.
- Sierra-Beltran, A.P., Cortés-Altamirano, R., Cortés-Lara, M.C., 2005. Occurrences of *Prorocentrum minimum* (Pavillard) in Mexico. Harmful Algae 4 : 507-517.
- Silapajarn, K., Silapajarn, O., Boyd, C.E., 2005. Evaluation of lime requirement procedures and liming materials for aquaculture ponds in Thailand. Journal of Applied Aquaculture 17: 77-88.
- Sick, L.V., Baptist, G.J., 1973. Effects of selected physical and nutritional factors on rates pf pelleted diet ingestion by postlarval penaeid shrimp. Journal of Elisha Mitchell Scientific Society 89: 161-165.
- Sick, L.V., White, B.B., Baptist, G.J., 1973. The effect of duration of feeding, amont of food, light intensity and animal size on rate of ingestion of pelleted food by juvenile penaeid shrimp. Progressive Fish-Culturist 35: 22-26.
- Sinderman, C.J., 1991. Shell disease in marine crustaceans: a conceptual approach. Journal of Shellfish Research 10: 491-494.
- Smil, V., 2001. Enriching the earth: Fritz Haber, Carl Bosh and the transformation of world food. The MIT Press, Cambridge, United Kingdom.
- Smith, L.L., Lee, P.G., Lawrence, A.L., Stawn, K., 1985. Growth and digestibility by three sizes of *P. vannamei* Boone : effect of dietary protein level and protein source. Aquaculture 46: 85-96.
- Smith, P.T., 1992. Level of bacteria in dried sediment from prawn ponds. Report to NSW Prawn farmers association, Australia, 6 pp.
- Smith, P.T., 1996. Physical and chemical characteristics of sediments from prawn farms and mangrove habitats on the Clarence River, Australia. Aquaculture 146: 47-83.
- Smith, D.M., Burford, M.A., Tabrett, S.J., Irvin, S.J., Ward, L., 2002. The effect of feeding frequency on water quality and growth of the black tiger shrimp (*Penaeus monodon*). Aquaculture 207: 125-136.
- Smolovitz, R., Tlusty, M., Halvorston, H., 2005. Priority setting for continued shell disease research. Pages 182-185 In M. Tlusty, H. Halvorson, R. Smolovitz, U. Sharma (Editors). Proceedings of lobster shell disease workshop assessing research priorities on how lobster biology and health issues impact productivity. University of Massachusetts, Boston, 12-13 march 2005.
- Snieszko, S.F., 1973. Diseases of fishes and their control in the US. Pages 55-66 In: The two lakes fifth fishery management training course report. Jansen, London.
- Sonnenholzner, S., Boyd, C.E., 2000. Managing the accumulation of organic matter deposited on the bottom of shrimp ponds. Do chemical and biological probiotics really works? World Aquaculture 31: 24-28.
- Stahl, M.S., 1979. The role of natural productivity and applied feeds in the growth of *M. rosenbergii*. Journal of World Mariculture Society 10: 92-109.
- Steidinger, K.A., Joyce Jr, E.A., 1973. Florida red tides. Florida Department Natural Ressources, St Petersburg, Florida. Educ. Ser. 26 pp.
- Stern, S., Cohen, D., 1982. Oxygen consumption and ammonia excretion during the moult cycle of the freshwater prawn *M. rosenbergii* (de Man). Comparative Biochemistry and Physiology A 73: 417-419.
- Strickland, J.D.H., Parsons, T.R., 1972. A practical handbook of seawater analysis. Bulletin of Fisheries Research Board of Canada 167. 310 pp.
- Suhendra, T.J., Handoko, D., Octaviano, D., Porubcan, R.S., Douillet, P.A., 1997. Management with bacterial probiotics for *Vibrio* and virus control in an Indonesian prawn farm. Pages 201-202 In D.E. Alston, B.W. Green et H.C. Clifford III (eds.). Proceedings IV Central American Aquaculture Symposium: sustainable culture of shrimp and tilapia.
- Sullivan, E.R., Nelson, K.M., 2005. A comparison of bacterial diversity on healthy and shell diseased american lobster. Pages 45-47 In M. Tlusty, H. Halvorson, R. Smolovitz, U. Sharma (Editors). Proceedings of lobster shell disease workshop assessing research priorities on how lobster biology and health issues impact productivity. University of Massachusetts, Boston, 12-13 march 2005.
- Sun, X., Zhang, B., Yu, Z., 2000. Toxicity study of anti-red tide agents to *Penaeus chinensis*. Marine Environmental Science 19: 6-8.
- Suplee, M.W., Cotner, J.B., 1996. Temporal changes in oxygen demand and bacterial sulfate reduction in inland shrimp ponds. Aquaculture 145: 141-158.

- Suresh, V., Zendejas, J., 2000. Environmentally friendly feeds : trends and recent developments. *The advocate* 3: 39-42.
- Szyper, J.P., 1996. Comparison of three mixing devices in earthern culture ponds of four different surface areas. *Aquacultural Engineering* 15: 381-396.
- Tacon, A.G.J., 1993. Feed formulation and on farm-management. Pages 61-67 In M.B.New, A.G.J. Tacon, I. Casavas (eds.). Farm-made aquafeeds. Proceedings of the FAO/AADCP Regional expert consultation on farm-made aquafeeds, 14-18 december 1992, Bangkok, Thailand, 434pp.
- Tacon, A.G.J., 1996. Nutritional studies in crustaceans and the problems of applying research findings to practical farming systems. *Aquaculture Nutrition* 2: 165-174.
- Tacon, A.G.J., 2000a. Nutritional disorders and aquatic animal health .*The Advocate* 3: 40-41.
- Tacon, A.G.J., 2000b. Shrimp fees and feeding regimes in zero-exchange outdoor tanks. *The Advocate* 3: 15-16.
- Tacon, A.G.J., Cody, J.J., Conquest, L.D., Divakaran, S., Forster, I.P., Decamp, O.E., 2002. Effect of culture system on the nutrition and growth performance of pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) fed different diets. *Aquaculture Nutrition* 8: 121-137.
- Takahashi, Y., Itami, T., Nakagawa, A., Nishimaru, H., Abe, T., 1985. Therapeutic effects of oxytetracycline trails against vibriosis in cultured Kuruma Prawns *Penaeus japonicus* Bate. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 51: 1639-1643.
- Tarsitano, S.F., 2005. Shell disease in American lobsters, *Homarus americanus* disease or malfunction of the calcification process followed by opportunistic infection? Pages 83-85 In M. Tlusty, H. Halvorson, R. Smolovitz, U. Sharma (Editors). Proceedings of lobster shell disease workshop assessing research priorities on how lobster biology and health issues impact productivity. University of Massachusetts, Boston, 12-13 march 2005.
- Teichert-Coddington, D.R., Rodriguez, R., 1995. Semi-intensive commercial grow out of *P. vannamei* fed diets containing diffreing levels of crude protein during wet and dry seasons in Honduras. *Journal of the World Aquaculture Society* 26: 72-79.
- Teichert-Coddington, D.R., Boyd, C.E., Martinez De Pinel, D., 1997. Solubility of selected inorganic fertilizers in brackish water. *Journal of the World Aquaculture Society* 28: 205-210.
- 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.
- Thoresen, M., Samocha, T.M., Lawtence, A.L., Mott, J.B., 1996. The effect of two bacterial supplements on bacterial populations, nitrogenous wastes degradation, and ammonia oxydation in a south Texas shrimp pond. Book of abstracts. WAS 1996 : 460.
- Tlusty, M., 2005. New *in vivo* methods to measure shell formation and possible implications for the study of shell disease. Pages 68-71 In M. Tlusty, H. Halvorson, R. Smolovitz, U. Sharma (Editors). Proceedings of lobster shell disease workshop assessing research priorities on how lobster biology and health issues impact productivity. University of Massachusetts, Boston, 12-13 march 2005.
- Tlusty, M., Halvorson, H., Smolovitz, R., Sharma, U., 2005. State of lobster science. Proceedings of lobster shell disease workshop assessing research priorities on how lobster biology and health issues impact productivity. University of Massachusetts, Boston, 12-13 march 2005. 194 pp.
- Trino, A.T., Penflorida, V.D., Bolivar, E.C., 1992. Growth and survival of *P. monodon* juveniles fed a diet lacking vitamins supplements in a modified extensive culture system. *Aquaculture* 101: 25-32.
- Trino, A.T., Sarroza, J.C., 1995. Effect of diet lacking in vitamin and mineral supplements on growth and survival of *P. monodon* juveniles in a modified extensive culture system. *Aquaculture* 136: 323-330.
- Truog, E., Meyer, A.H. 1929. Improvements in the Deniges, colorimetric method for phosphorus and arsenic. *Industrial and Engineering Chemistry, Analytical Edition* 1, 136-9.
- Tucker, F.Y., Lloyd, S.W., 1985. Evaluation of a commercial bacterial amendment for improving water quality in channel catfish ponds. Mississippi agricultural and forestry experimental station, Mississippi State University, Technical Bulletin 129, 8 pp.
- Vanega, C., Espina, S., Botello, AV., Villanueva, S., 1997. Acute toxicity and synergism of cadmium and zinc in white shrimp *Penaeus setiferus*, juveniles. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 58: 87-92.
- Velasco, M., Lawrence, A.L., Castille, F.L., 1999. Effect of variations in daily feeding frequency and Elevage de la crevette *Litopenaeus stylirostris* en Nouvelle-Calédonie

- ration size on growth of shrimp *L. vannamei* (Boone), in zero water exchange culture tank. Aquaculture 179: 141-148.
- Venkataramiah, A., Lakshmi, G.J., Gunter, G., 1975. Effect of protein level and vegetable matter on growth and food conversion efficiency of brown shrimp. Aquaculture 6: 115-125.
- Viacava, M., 1995. Feeder trays for commercial shrimp farming in Peru. World Aquaculture 26: 11-17.
- Vijayan, K.K., Diwan, A.D., 1995. Influence of temperature, salinity, pH and light on molting and growth in the Indian white prawn *Penaeus indicus* (Crustacea: Decapoda: Penaeidae) under laboratory conditions. Asian Fisheries Science 8: 63-72.
- Villalon, J.R., 1991. Practical manual for semi-intensive commercial production of marine shrimp. Tamu SG 501, 104 pp.
- Villarreal, H., Hinojosa, P., Naranjo, J., 1994. Effect of temperature and salinity on the oxygen consumption of laboratory produced *P. vannamei* post larvae. Comparative Biochemistry and Physiology 108: 331-336.
- Wabete, N., Chim, L., Lemaire, P., Massabuau, J.C., 2008. Life on the edge : physiological problems in penaeid prawns *Litopenaeus stylostris*, living on the low side of their thermopreferendum. Marine Biology
- Wajsbrot, A., Gasith, M.D., Krom, Samocha, T.M., Effect of dissolved oxygen and the molt stage on the acute toxicity of ammonia to juvenile green tiger prawn *Penaeus semisulcatus*. Environ. Toxicol. Chem. 9: 497-504.
- Walkley, A., Black, C.A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposal modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37: 29-38.
- Wang, Y.G., Lee, K.L., Najah, M., Shariff, M., Hassan, M.D., 2000a. A new bacterial white spot syndrome BWSS in cultured tiger shrimp *Penaeus monodon* and its comparison with white spot syndrome WSS caused by virus. Disease of Aquatic Organisms 39: 1-11.
- Wang, H., Fang, W., Lai, Q., 2000b. Effects of concentrations of Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> on survival and growth of *Penaeus chinensis*. Journal of Fish Science 7: 82-86.
- Wang, F., Dong, S., Huang, G., 2004. Effects of photoperiod on the molting and growth of juvenile Chinese shrimp *Fenneropenaeus chinensis*. Journal of Fishery Sciences of China/Zhongguo Shuichuan Kexue 11: 354-359.
- Wang, Z., Ly, G., Xu, J., Zhong, A., 2005. Study on the acute toxicity and joint toxicity of Cr<sup>6+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Hg<sup>2+</sup> acting on *L. vannamei* juvenile. Marine Fisheries Research 26: 6-12.
- Wassenberg, T.J., Hill, B.J., 1987. Natural diet of the tiger prawn *Penaeus esculentus* and *Penaeus semisulcatus*. Australian Journal of Marine and Freshwater Research 38: 169-182.
- Weber, S., Thusty, M., 2005. Discussion of the causes of disease. Proceedings of State of lobster science. Pages 48-52 In M. Thusty, H. Halvorson, R. Smolovitz, U. Sharma (Editors). Proceedings of lobster shell disease workshop assessing research priorities on how lobster biology and health issues impact productivity. University of Massachusetts, Boston, 12-13 march 2005.
- Weigel, C., 1993. Certains l'aiment chaux. Aqua revue 50: 12-17.
- Weigel, C., 1994. Fertilisation : des conseils d'application à prendre avec précaution. Aqua revue 53: 8-11.
- Weppe, M., Bonami, J.R., Lightner, D.V., AQUACOP. 1992. Demostracion de la altas cualidades de la cepa de *P. stylostris* (AQUACOP SPR 43) resistente al virus IHHN. Pages 229-232 In Escuela Superior Politecnica del Litoral (Ed.). Memorias I congreso Ecuatoriano de acuicultura.
- Wickins, J.F., 1976. The tolerance of warm water prawns to recirculated water. Aquaculture 9: 19-37.
- Wyban, J.A. et Sweeney, J.N., 1991. The Oceanic Institute shrimp manual. Oceanic Institute, Honolulu, Hawaii, USA, 158 pp.
- Wyban, J.A., Walsh, W.A., Godin, D.M., 1995. Temperature effect on growth, feeding rate and feed conversion of the pacific white shrimp. Aquaculture 138: 267-279.
- Yoo, K.H., Boyd, C.E., 1994. Hydrology and water supply for pond aquaculture. Chapman and Hall, New York, 64 pp.
- Yu, Z., Zou, J.Z., Ma, X., 1994. Application of clays to removal of red tide organisms. III. The coagulation of kaolin on red tide organisms. Chinese Journal of Oceanology and Limnology 12: 193-200.
- Yusoff, F.L., Mc Nabb, C.D., 1989. Effects of nutrient availability on primary productivity and fish production in fertilized tropical ponds. Aquaculture 78: 303-319.

- Yuvanatemiya, V., Boyd, C.E., 2006. Physical and chemical changes in aquaculture pond bottom soil resulting from sediment removal. *Aquacultural Engineering* 35: 199-205.
- Zein-Eldin, Z.P., Corliss, J., 1976. The effect of protein levels and sources on growth of *Penaeus aztecus*. In Advances in aquaculture. FAO technical conference on aquaculture, Kyoto, Japan, Fisheries New Books.
- Zendejas-Hernandez, J., 1994. Manual para la alimentacion y manejo des camaron. Purina, S.A. de C.V., Mexico., D.F. Mexico.
- Zur, O., 1980. The importance of chironomid larvae as natural feed and biological indicator of the soil conditions in pond containing *Cyprinus carpio* and *Tilapia sp*. *Bamidgeh* 32: 57-67.

# Annexes



Annexe 1.1 : Réajustement des rations sur 3 jours en fonction des restes observés

<b>LUNDI/semaine 2</b>											
<b>Ration prévue</b>		<b>Restes sur mangeoires (oui/non)</b>									
Horaires	Quantité (kg)	n°1	n°2	n°3	n°4	n°5	n°6	n°7	n°8	n°9	n°10
7h30	137,5	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
9h30	125										
13h30	125										
15h30	137,5										
	<b>525</b>										

0% de restes (y compris dimanche) on augmente de 5%  
on cherche une ration de ≈530 kg

<b>Ration donnée</b>	
Horaires	Quantité (kg)
7h30	137,5
9h30	125
13h30	137,5
15h30	150
	<b>550</b>

<b>MARDI/semaine 2</b>											
<b>Ration prévue</b>		<b>Restes sur mangeoires (oui/non)</b>									
Horaires	Quantité (kg)	n°1	n°2	n°3	n°4	n°5	n°6	n°7	n°8	n°9	n°10
7h30	137,5	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
9h30	137,5										
13h30	137,5										
15h30	137,5										
	<b>550</b>										

0% de restes on maintient la ration

<b>Ration donnée</b>	
Horaires	Quantité (kg)
7h30	137,5
9h30	137,5
13h30	137,5
15h30	137,5
	<b>550</b>

<b>MERCREDI</b>											
<b>Ration prévue</b>		<b>Restes sur mangeoires (oui/non)</b>									
Horaires	Quantité (kg)	n°1	n°2	n°3	n°4	n°5	n°6	n°7	n°8	n°9	n°10
7h30	137,5	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
9h30	137,5										
13h30	137,5										
15h30	137,5										
	<b>550</b>										

0% de restes on augmente de 5%  
on ne limite pas aux 530 kg prévus

<b>Ration donnée</b>	
Horaires	Quantité (kg)
7h30	137,5
9h30	137,5
13h30	150
15h30	150
	<b>575</b>

L'échantillonnage du jeudi devrait indiquer un poids moyen inférieur à 8,23 g (~8,0g). La ration supérieure au prévisionnel ≈575 vs 530 kg vient confirmer une légère sous estimation de la survie.

**Annexe 1.2 : Réajustement des rations sur 3 jours en fonction des restes observés**

**LUNDI/semaine 2**

<b>Ration prévue</b>	
Horaires	Quantité (kg)
7h30	137,5
9h30	125
13h30	125
15h30	137,5
	<b>525</b>

<b>Restes sur mangeoires (oui/non)</b>									
n°1	n°2	n°3	n°4	n°5	n°6	n°7	n°8	n°9	n°10
n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
n	n	n	n	n	n	n	n	n	n

0% de restes (y compris dimanche) on augmente de 5%

<b>Ration donnée</b>	
Horaires	Quantité (kg)
7h30	137,5
9h30	125
13h30	137,5
15h30	150
	<b>550</b>

<b>MARDI/semaine 2</b>	
Horaires	Quantité (kg)
7h30	137,5
9h30	137,5
13h30	137,5
15h30	137,5
	<b>550</b>

<b>Restes sur mangeoires (oui/non)</b>									
n°1	n°2	n°3	n°4	n°5	n°6	n°7	n°8	n°9	n°10
n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
n	n	n	n	n	n	n	n	n	n

0% de restes on maintient la ration

<b>Ration donnée</b>	
Horaires	Quantité (kg)
7h30	137,5
9h30	137,5
13h30	137,5
15h30	137,5
	<b>550</b>

**MERCREDI**

<b>Ration prévue</b>	
Horaires	Quantité (kg)
7h30	137,5
9h30	137,5
13h30	137,5
15h30	137,5
	<b>550</b>

<b>Restes sur mangeoires (oui/non)</b>									
n°1	n°2	n°3	n°4	n°5	n°6	n°7	n°8	n°9	n°10
0	n	n	n	n	n	n	n	n	n
n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
n	n	n	n	n	n	n	n	n	n

un peu de restes (une mangeoire/10)  
on propose une ration intermédiaire de 537,5 kg pour le jeudi

<b>Ration donnée</b>	
Horaires	Quantité (kg)
7h30	137,5
9h30	137,5
13h30	125
15h30	137,5
	<b>537,5</b>

L'échantillonnage du jeudi devrait indiquer un poids moyen assez proche voire légèrement supérieur à 8,23 g (8,2-8,5g). La ration très proche du prévisionnel confirme qu'une bonne approximation de la biomasse est faite.

### Annexe 1.3 Réajustement des rations sur 3 jours en fonction des restes observés

#### LUNDI/semaine 2

Ration prévue	
Horaires	Quantité (kg)
7h30	125
9h30	125
13h30	125
15h30	125
	500

Restes sur mangeoires (oui/non)									
n°1	n°2	n°3	n°4	n°5	n°6	n°7	n°8	n°9	n°10
0	0	n	n	n	n	n	n	n	n

un peu de restes (deux mangeoire/10)  
on baisse la ration de 5% (une mangeoire/10 dimanche)

Ration donnée	
Horaires	Quantité (kg)
7h30	125
9h30	125
13h30	112,5
15h30	112,5
	475

Ration prévue	
Horaires	Quantité (kg)
7h30	125
9h30	112,5
13h30	112,5
15h30	125
	475

Restes sur mangeoires (oui/non)									
n°1	n°2	n°3	n°4	n°5	n°6	n°7	n°8	n°9	n°10
0	0	0	0	0	0	n	n	n	n

50% de restes on baisse de 50% la ration  
on vérifie que les animaux ne sont pas en mue

Ration donnée	
Horaires	Quantité (kg)
7h30	125
9h30	112,5
13h30	0
15h30	0
	237,5

#### MERCREDI

Ration prévue	
Horaires	Quantité (kg)
7h30	112,5
9h30	112,5
13h30	112,5
15h30	112,5
	450

Restes sur mangeoires (oui/non)									
n°1	n°2	n°3	n°4	n°5	n°6	n°7	n°8	n°9	n°10
0	0	0	n	n	n	n	n	n	n

30% de restes on diminue de 25-30% la ration du jour  
on repartira le jeudi sur une base de 400-425 kg

Ration donnée	
Horaires	Quantité (kg)
7h30	112,5
9h30	112,5
13h30	0
15h30	112,5
	337,5

L'échantillonnage du jeudi devrait indiquer un poids moyen très élevé 9,0-9,2 g et confirmer des vitesses de croissances très élevées depuis le début d'élevage. En absence d'une mue et de mortalités récentes, la ration très inférieure au prévisionnel signifie qu'une surestimation de la biomasse est faite depuis un certain temps.

## Annexe 1.4 Réajustement des rations sur 3 jours en fonction des restes observés

### LUNDI/semaine 2

Ration prévue	
Horaires	Quantité (kg)
7h30	125
9h30	125
13h30	125
15h30	125
	500

Restes sur mangeoires (oui/non)									
n°1	n°2	n°3	n°4	n°5	n°6	n°7	n°8	n°9	n°10
0	n	n	n	n	n	n	n	n	n

un peu de restes (une mangeoire/10)  
on maintient la ration (rien dimanche)

Ration donnée	
Horaires	Quantité (kg)
7h30	125
9h30	125
13h30	125
15h30	125
	500

Ration prévue	
Horaires	Quantité (kg)
7h30	125
9h30	125
13h30	125
15h30	125
	500

Restes sur mangeoires (oui/non)									
n°1	n°2	n°3	n°4	n°5	n°6	n°7	n°8	n°9	n°10
n	n	n	n	n	n	n	n	n	n

0% de restes on essaye d'augmenter de 5%  
car on vise une ration de 530 kg

Ration donnée	
Horaires	Quantité (kg)
7h30	125
9h30	125
13h30	137,5
15h30	137,5
	525

### MERCREDI

Ration prévue	
Horaires	Quantité (kg)
7h30	137,5
9h30	125
13h30	125
15h30	137,5
	525

Restes sur mangeoires (oui/non)									
n°1	n°2	n°3	n°4	n°5	n°6	n°7	n°8	n°9	n°10
0	0	0	0	n	n	n	n	n	n

40% de restes on diminue de 25-30% la ration du jour  
on repartira le jeudi sur une base de 500 kg

Ration donnée	
Horaires	Quantité (kg)
7h30	137,5
9h30	125
13h30	125
15h30	125
	387,5

L'échantillonnage du jeudi devrait indiquer un poids moyen proche voire légèrement supérieur à 8,23 g (8,5-8,7 g). La ration en deçà du prévisionnel peut signifier une surestimation de la biomasse, une mue difficile, des conditions environnementales défavorables.

## Annexe 2 : Feuille d'échantillonnage pour la détermination des calibres.

Calibres	Gamme-Poids	Nbre	%	Calibres
60-80	12,5-16,7			
58-68	16,7-20,0			
40-50	20,0-25,0			
30-40	25,0-33,3			
20-30	33,3-50,0			

Poids (g)	nbre												
12,5		17,5		22,5		27,5		32,5		37,5		42,5	
12,6		17,6		22,6		27,6		32,6		37,6		42,6	
12,7		17,7		22,7		27,7		32,7		37,7		42,7	
12,8		17,8		22,8		27,8		32,8		37,8		42,8	
12,9		17,9		22,9		27,9		32,9		37,9		42,9	
13,0		18,0		23,0		28,0		33,0		38,0		43,0	
13,1		18,1		23,1		28,1		33,1		38,1		43,1	
13,2		18,2		23,2		28,2		33,2		38,2		43,2	
13,3		18,3		23,3		28,3		33,3		38,3		43,3	
13,4		18,4		23,4		28,4		33,4		38,4		43,4	
13,5		18,5		23,5		28,5		33,5		38,5		43,5	
13,6		18,6		23,6		28,6		33,6		38,6		43,6	
13,7		18,7		23,7		28,7		33,7		38,7		43,7	
13,8		18,8		23,8		28,8		33,8		38,8		43,8	
13,9		18,9		23,9		28,9		33,9		38,9		43,9	
14,0		19,0		24,0		29,0		34,0		39,0		44,0	
14,1		19,1		24,1		29,1		34,1		39,1		44,1	
14,2		19,2		24,2		29,2		34,2		39,2		44,2	
14,3		19,3		24,3		29,3		34,3		39,3		44,3	
14,4		19,4		24,4		29,4		34,4		39,4		44,4	
14,5		19,5		24,5		29,5		34,5		39,5		44,5	
14,6		19,6		24,6		29,6		34,6		39,6		44,6	
14,7		19,7		24,7		29,7		34,7		39,7		44,7	
14,8		19,8		24,8		29,8		34,8		39,8		44,8	
14,9		19,9		24,9		29,9		34,9		39,9		44,9	
15,0		20,0		25,0		30,0		35,0		40,0		45,0	
15,1		20,1		25,1		30,1		35,1		40,1		45,1	
15,2		20,2		25,2		30,2		35,2		40,2		45,2	
15,3		20,3		25,3		30,3		35,3		40,3		45,3	
15,4		20,4		25,4		30,4		35,4		40,4		45,4	
15,5		20,5		25,5		30,5		35,5		40,5		45,5	
15,6		20,6		25,6		30,6		35,6		40,6		45,6	
15,7		20,7		25,7		30,7		35,7		40,7		45,7	
15,8		20,8		25,8		30,8		35,8		40,8		45,8	
15,9		20,9		25,9		30,9		35,9		40,9		45,9	
16,0		21,0		26,0		31,0		36,0		41,0		46,0	
16,1		21,1		26,1		31,1		36,1		41,1		46,1	
16,2		21,2		26,2		31,2		36,2		41,2		46,2	
16,3		21,3		26,3		31,3		36,3		41,3		46,3	
16,4		21,4		26,4		31,4		36,4		41,4		46,4	
16,5		21,5		26,5		31,5		36,5		41,5		46,5	
16,6		21,6		26,6		31,6		36,6		41,6		46,6	
16,7		21,7		26,7		31,7		36,7		41,7		46,7	
16,8		21,8		26,8		31,8		36,8		41,8		46,8	
16,9		21,9		26,9		31,9		36,9		41,9		46,9	
17,0		22,0		27,0		32,0		37,0		42,0		47,0	
17,1		22,1		27,1		32,1		37,1		42,1		47,1	
17,2		22,2		27,2		32,2		37,2		42,2		47,2	
17,3		22,3		27,3		32,3		37,3		42,3		47,3	
17,4		22,4		27,4		32,4		37,4		42,4		47,4	

**Annexe 3 : Gestion de l'alimentation pour des élevages semi-intensifs (18-22/m<sup>2</sup>) fertilisés N/P en saison fraîche (compilation bassins 10 ha).**

JOURS	Poids moyen prévu	RATION 10H			RATION 16H			TOTAL	OBSERVATION
		Fines	Concassé	Granulé	Fines	Concassé	Granulé		
J <sub>0</sub>	0.00 g	75 Kg						75 Kg	Plongée 14H
J <sub>1</sub>		50 Kg						50 Kg	Plongée 14H
J <sub>2</sub>					25 Kg			25 Kg	Plongée 10H
J <sub>3</sub>		20 Kg			25 Kg			45 Kg	Plongée 14H
J <sub>4</sub>		20 Kg			25 Kg			45 Kg	Plongée 14H
J <sub>5</sub>		20 Kg			25 Kg			45 Kg	Marinisation des mangeoires
J <sub>6</sub>		20 Kg			25 Kg			45 Kg	
J <sub>7</sub>		20 Kg			25 Kg			45 Kg	
J <sub>8</sub>		20 Kg			25 Kg			45 Kg	
J <sub>9</sub>		20 Kg			25 Kg			45 Kg	
J <sub>10</sub>		20 Kg			25 Kg			45 Kg	
J <sub>11</sub>		20 Kg			25 Kg			45 Kg	
J <sub>12</sub>		20 Kg			30 Kg			55 Kg	
J <sub>13</sub>		30 Kg			35 Kg			65 Kg	
J <sub>14</sub>		30 Kg			45 Kg			75 Kg	
J <sub>15</sub>	0.5 g	20 Kg	15 Kg		30 Kg	20 Kg		85 Kg	Echantillonnage chalut
J <sub>16</sub>		10 Kg	30 Kg		20 Kg	40 Kg		100 Kg	Plongée 14H
J <sub>17</sub>		10 Kg	30 Kg		10 Kg	50 Kg		100 Kg	Plongée 14H
J <sub>18</sub>			40 Kg			75 Kg		115 Kg	Plongée 14H
J <sub>19</sub>			50 Kg			75 Kg		125 Kg	Plongée / mangeoires 14H
J <sub>20</sub>			50 Kg			75 Kg		125 Kg	Plongée / mangeoires 14H
J <sub>21</sub>			60 Kg			90 Kg		150 Kg	Plongée / mangeoires 14H
J <sub>22</sub>	0.85 g		40 Kg	20 Kg		50 Kg	40 Kg	150 Kg	Echant. Chalut et épervier
J <sub>23</sub>			40 Kg	35 Kg		50 Kg	50 Kg	175 Kg	Mangeoires 14H
J <sub>24</sub>			40 Kg	35 Kg		50 Kg	50 Kg	175 Kg	Mangeoires 14H
J <sub>25</sub>			40 Kg	50 Kg		60 Kg	60 Kg	210 Kg	Mangeoires 14H
J <sub>26</sub>			40 Kg	50 Kg		60 Kg	60 Kg	210 Kg	Mangeoires 13H
J <sub>27</sub>			30 Kg	60 Kg		60 Kg	90 Kg	240 Kg	Mangeoires 13H
J <sub>28</sub>			30 Kg	60 Kg		60 Kg	90 Kg	240 Kg	Mangeoires 13H
J <sub>29</sub>	2.00 g		30 Kg	90 Kg		30 Kg	120 Kg	270 Kg	Echant. Chalut et épervier
J <sub>30</sub>			30 Kg	90 Kg		30 Kg	120 Kg	270 Kg	Mangeoires 12H
TOTAUX								3490 Kg	
Fines								850 Kg	
Concassee								1470 Kg	

**Annexe 4 : Gestion de l'alimentation pour des élevages semi-intensifs (18-22/m<sup>2</sup>) fertilisés N/P en saison chaude (compilation bassins 10 ha).**

JOURS	Poids moyen prévu	RATION 10H			RATION 16H			TOTAL	OBSERVATION
		Fines	Concassé	Granulé	Fines	Concassé	Granulé		
J <sub>1</sub>	0.00 g	75 Kg						75 Kg	Plongée 14H
J <sub>1</sub>		50 Kg			50 Kg			50 Kg	Plongée 14H
J <sub>2</sub>								50 Kg	Plongée 14H
J <sub>3</sub>								0 Kg	Plongée 14H
J <sub>4</sub>								0 Kg	Plongée 14H
J <sub>5</sub>		10 Kg			25 Kg			35 Kg	Plongée 14H
J <sub>6</sub>					25 Kg			0 Kg	Plongée 14H
J <sub>7</sub>		10 Kg			25 Kg			35 Kg	Plongée 14H
J <sub>8</sub>								0 Kg	Plongée 14H
J <sub>9</sub>								0 Kg	Plongée 14H
J <sub>10</sub>		10 Kg			25 Kg			35 Kg	Plongée 14H
J <sub>11</sub>								0 Kg	Plongée 14H
J <sub>12</sub>		10 Kg			25 Kg			35 Kg	Plongée 14H
J <sub>13</sub>								0 Kg	Plongée 14H
J <sub>14</sub>		10 Kg			25 Kg			35 Kg	Plongée 14H
J <sub>15</sub>								0 Kg	Plongée 14H
J <sub>16</sub>		10 Kg			25 Kg			35 Kg	Plongée 14H
J <sub>17</sub>								0 Kg	Plongée 14H
J <sub>18</sub>		10 Kg			25 Kg			35 Kg	Plongée 14H
J <sub>19</sub>								0 Kg	Plongée 14H
J <sub>20</sub>		10 Kg			25 Kg			35 Kg	Plongée 14H
J <sub>21</sub>	0.20 g							0 Kg	Echantillonnage chalut
J <sub>22</sub>		10 Kg			25 Kg			35 Kg	Plongée 14H
J <sub>23</sub>								0 Kg	Plongée 14H
J <sub>24</sub>		10 Kg			25 Kg			35 Kg	Plongée 14H
J <sub>25</sub>								0 Kg	Plongée 14H
J <sub>26</sub>		10 Kg			25 Kg			35 Kg	Plongée 14H
J <sub>27</sub>								0 Kg	Plongée 14H
J <sub>28</sub>	0.40 g	10 Kg			25 Kg			35 Kg	Echantillonnage chalut
J <sub>29</sub>		10 Kg			25 Kg			35 Kg	Plongée 14H
J <sub>30</sub>		10 Kg			25 Kg			35 Kg	Plongée 14H
J <sub>31</sub>		10 Kg			25 Kg			35 Kg	Plongée 14H
J <sub>32</sub>		10 Kg			25 Kg			35 Kg	Plongée 14H
J <sub>33</sub>		10 Kg			25 Kg			35 Kg	Plongée 14H
J <sub>34</sub>		10 Kg			10 Kg	15 Kg		35 Kg	Plongée 14H
J <sub>35</sub>		5 Kg	5 Kg		5 Kg	20 Kg		35 Kg	Echantillonnage chalut
J <sub>36</sub>		5 Kg	5 Kg			25 Kg		35 Kg	Plongée 14H
J <sub>37</sub>			15 Kg			25 Kg		40 Kg	Plongée 14H
J <sub>38</sub>	0.60 g		20 Kg			25 Kg		45 Kg	Marinisation des mangeoires
J <sub>39</sub>			20 Kg			30 Kg		50 Kg	Plongée 14H
J <sub>40</sub>			20 Kg			30 Kg		50 Kg	Plongée 14H
J <sub>41</sub>			20 Kg			35 Kg		55 Kg	Plongée 14H
J <sub>42</sub>			25 Kg			35 Kg		60 Kg	Echant. Chalut et épervier
J <sub>43</sub>			25 Kg			40 Kg		65 Kg	Plongée 14H
J <sub>44</sub>			30 Kg			40 Kg		70 kg	Plongée 14H
J <sub>45</sub>			30 Kg			45 Kg		75 kg	Plongée 14H
J <sub>46</sub>			35 Kg			45 Kg		80 kg	Plongée 14H
J <sub>47</sub>			35 Kg			30 Kg	20 Kg	85 kg	Plongée 14H
J <sub>48</sub>	0.80 g		35 Kg			35 Kg	40 Kg	90 kg	Plongée 14H
J <sub>49</sub>			35 Kg			20 Kg	60 Kg	95 kg	Echant. Chalut et épervier
J <sub>50</sub>			35 Kg			10 Kg		105 kg	Plongée / mangeoires 14H
TOTAUX								1839 kg	
Fines								715 kg	
Concassee								879 kg	
Granulé								155 kg	

## Annexe 5 : Tableau de pilotage simplifié.

Date	Nombre	Poids moyen	Biomasse	Durée	Durée cumulé	Ration	Ration cumulée	Taux nut.	Vitesse croiss.	Vc ->1g	Rnt Bassin	I.C. Cumulé	Charge
21-févr-06	2 000 000	0,00 g		0 j									
13-mars	1 900 000	1,00 g	1 900 Kg	20 j	20 j	1 200 Kg	1 200 Kg	6,32 %	0,050 g/j	0,050 g/j	1 %	0,63	10 g/m <sup>2</sup>
20-mars	1 868 116	1,90 g	3 549 Kg	7 j	27 j	1 000 Kg	2 200 Kg	5,24 %	0,129 g/j	0,129 g/j	3 %	0,62	27 g/m <sup>2</sup>
27-mars	1 836 768	2,90 g	5 327 Kg	7 j	34 j	1 400 Kg	3 600 Kg	4,51 %	0,143 g/j	0,136 g/j	4 %	0,68	44 g/m <sup>2</sup>
03-avr	1 805 945	4,10 g	7 404 Kg	7 j	41 j	2 000 Kg	5 600 Kg	4,49 %	0,171 g/j	0,148 g/j	6 %	0,76	64 g/m <sup>2</sup>
10-avr	1 775 640	5,80 g	10 299 Kg	7 j	48 j	2 500 Kg	8 100 Kg	4,03 %	0,243 g/j	0,171 g/j	12 %	0,79	89 g/m <sup>2</sup>
17-avr	1 745 843	7,30 g	12 745 Kg	7 j	55 j	3 000 Kg	11 100 Kg	3,72 %	0,214 g/j	0,180 g/j	12 %	0,87	115 g/m <sup>2</sup>
24-avr	1 716 547	8,70 g	14 934 Kg	7 j	62 j	3 600 Kg	14 700 Kg	3,72 %	0,200 g/j	0,183 g/j	14 %	0,98	138 g/m <sup>2</sup>
01-mai	1 687 742	10,20 g	17 215 Kg	7 j	69 j	4 000 Kg	18 700 Kg	3,55 %	0,214 g/j	0,188 g/j	17 %	1,09	161 g/m <sup>2</sup>
08-mai	1 659 420	11,70 g	19 415 Kg	7 j	76 j	4 200 Kg	22 900 Kg	3,28 %	0,214 g/j	0,191 g/j	18 %	1,18	183 g/m <sup>2</sup>
15-mai	1 631 573	13,00 g	21 210 Kg	7 j	83 j	4 400 Kg	27 300 Kg	3,09 %	0,186 g/j	0,190 g/j	20 %	1,29	203 g/m <sup>2</sup>
22-mai	1 604 194	14,50 g	23 261 Kg	7 j	90 j	4 600 Kg	31 900 Kg	2,96 %	0,214 g/j	0,193 g/j	22 %	1,37	222 g/m <sup>2</sup>
29-mai	1 577 274	15,90 g	25 079 Kg	7 j	97 j	4 800 Kg	36 700 Kg	2,84 %	0,200 g/j	0,194 g/j	25 %	1,46	242 g/m <sup>2</sup>
05-juin	1 550 806	17,30 g	26 829 Kg	7 j	104 j	4 850 Kg	41 550 Kg	2,67 %	0,200 g/j	0,194 g/j	25 %	1,55	260 g/m <sup>2</sup>
12-juin	1 524 783	18,50 g	28 208 Kg	7 j	111 j	4 900 Kg	46 450 Kg	2,54 %	0,171 g/j	0,192 g/j	30 %	1,65	275 g/m <sup>2</sup>
19-juin	1 499 195	19,80 g	29 684 Kg	7 j	118 j	4 950 Kg	51 400 Kg	2,44 %	0,186 g/j	0,192 g/j	30 %	1,73	289 g/m <sup>2</sup>
26-juin	1 474 038	21,10 g	31 102 Kg	7 j	125 j	5 000 Kg	56 400 Kg	2,35 %	0,186 g/j	0,191 g/j	30 %	1,81	304 g/m <sup>2</sup>
03-juil	1 449 302	22,40 g	32 464 Kg	7 j	132 j	5 150 Kg	61 550 Kg	2,31 %	0,186 g/j	0,191 g/j	30 %	1,90	318 g/m <sup>2</sup>
10-juil	1 424 982	23,75 g	33 843 Kg	7 j	139 j	5 100 Kg	66 650 Kg	2,20 %	0,193 g/j	0,191 g/j	30 %	1,97	332 g/m <sup>2</sup>
17-juil	1 401 069	25,00 g	35 027 Kg	7 j	146 j	5 250 Kg	71 900 Kg	2,18 %	0,179 g/j	0,190 g/j	30 %	2,05	344 g/m <sup>2</sup>

BASSIN 110000 m<sup>2</sup>

76,77%	39711 Kg	24,75 g	1604538	18,05 Kg
--------	----------	---------	---------	----------

## Hypothèses

	Survol finale	Vitesse de croissance	Poids final	Z	Surface	Profondeur moyenne
à 1g						
95,0%	75,0%	0,18 g/j	42 g	9,91E-04	110000 m <sup>2</sup>	1,20

**Annexe 6 :** Tableau de pilotage intégrant des modèles de gestion de relevé de mangeoires, de taux de nutrition, de croissance, de renouvellement et d'estimation de densité par CPUE (utilisé à SASV).

## Annexe 7 : Table de répartition par calibre.

Pm Ferme	Pm Atelier	16/20	20/30	30/40	40/50	50/60	60/80	80 et +
16,0 g	16,0 g	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	35,5%	64,2%	0,4%
17,0 g	17,0 g	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%	89,0%	10,4%	0,3%
18,0 g	18,0 g	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
18,7 g	17,9 g	0,0%	0,0%	0,0%	4,9%	84,2%	10,6%	0,3%
19,0 g	18,5 g	0,0%	0,0%	0,0%	17,5%	74,3%	7,2%	1,0%
19,0 g	19,0 g	0,0%	0,0%	0,6%	17,6%	78,4%	3,2%	0,2%
19,6 g	19,0 g	0,0%	0,0%	0,0%	25,2%	71,2%	3,3%	0,3%
20,0 g	20,0 g	0,0%	0,1%	1,2%	35,4%	60,8%	2,2%	0,4%
20,6 g	20,0 g	0,0%	0,0%	0,3%	47,8%	49,3%	1,8%	0,8%
20,9 g	21,1 g	0,0%	0,0%	0,0%	73,1%	25,0%	1,5%	0,0%
21,0 g	21,0 g	0,0%	0,0%	3,6%	74,6%	21,2%	0,5%	0,1%
21,3 g	21,4 g	0,0%	0,0%	0,1%	82,6%	15,4%	1,7%	0,2%
21,7 g	21,9 g	0,0%	0,0%	0,2%	93,8%	5,2%	0,5%	0,2%
22,0 g	22,0 g	0,0%	0,2%	7,4%	75,4%	13,1%	3,3%	0,6%
23,0 g	23,0 g	0,0%	0,3%	6,4%	84,4%	8,0%	0,9%	0,2%
23,1 g	21,7 g	0,0%	0,0%	2,2%	82,9%	13,9%	0,7%	0,2%
23,5 g	22,0 g	0,0%	0,0%	0,4%	95,7%	3,2%	0,2%	0,3%
23,5 g	23,8 g	0,0%	0,0%	26,1%	72,4%	0,8%	0,5%	0,2%
23,7 g	22,5 g	0,0%	0,0%	7,1%	90,5%	2,1%	0,3%	0,0%
24,0 g	24,0 g	0,0%	0,9%	9,4%	85,9%	3,8%	0,0%	0,0%
24,4 g	22,9 g	0,0%	0,0%	13,9%	81,9%	4,1%	0,1%	0,0%
24,7 g	23,4 g	0,0%	0,0%	19,4%	79,6%	0,7%	0,1%	0,0%
25,0 g	25,0 g	0,0%	0,3%	28,7%	64,4%	6,2%	0,1%	0,3%
25,4 g	26,3 g	0,0%	0,0%	64,5%	35,4%	0,0%	0,0%	0,0%
26,0 g	26,0 g	0,0%	1,2%	53,6%	44,6%	0,0%	0,6%	0,0%
26,0 g	26,9 g	0,0%	0,0%	72,8%	26,6%	0,5%	0,0%	0,0%
26,1 g	26,6 g	0,0%	0,0%	68,1%	31,0%	0,6%	0,1%	0,0%
26,2 g	26,6 g	0,0%	0,0%	69,0%	30,0%	0,8%	0,1%	0,0%
26,5 g	26,9 g	0,0%	0,1%	74,5%	24,0%	1,0%	0,2%	0,2%
27,0 g	27,0 g	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
27,1 g	28,2 g	0,0%	0,0%	93,5%	6,2%	0,2%	0,0%	0,0%
27,5 g	28,3 g	0,0%	0,0%	94,8%	4,9%	0,2%	0,0%	0,0%
27,7 g	28,1 g	0,0%	0,0%	91,6%	8,0%	0,0%	0,0%	0,0%
28,0 g	28,0 g	0,0%	2,4%	89,1%	7,3%	0,0%	1,3%	0,0%
28,3 g	28,5 g	0,0%	0,0%	97,7%	1,8%	0,3%	0,0%	0,0%
29,0 g	28,5 g	0,0%	0,6%	96,4%	2,6%	0,1%	0,1%	0,0%
29,0 g	29,0 g	0,0%	0,8%	93,3%	5,4%	0,5%	0,1%	0,0%
29,3 g	28,7 g	0,0%	1,8%	95,6%	2,3%	0,2%	0,1%	0,0%
29,5 g	28,6 g	0,0%	0,0%	98,9%	0,9%	0,0%	0,0%	0,0%
29,6 g	28,6 g	0,0%	0,7%	97,5%	1,3%	0,2%	0,1%	0,0%
29,7 g	29,0 g	0,0%	4,0%	95,2%	0,4%	0,1%	0,0%	0,1%
29,8 g	28,7 g	0,0%	1,1%	97,6%	1,2%	0,1%	0,0%	0,0%
30,0 g	30,0 g	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
30,1 g	28,9 g	0,0%	3,6%	93,8%	2,3%	0,2%	0,0%	0,0%
30,2 g	31,6 g	0,0%	25,0%	74,4%	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%
30,3 g	28,7 g	0,0%	2,8%	93,6%	2,7%	0,6%	0,1%	0,1%
30,5 g	28,6 g	0,0%	2,1%	93,6%	3,7%	0,4%	0,1%	0,0%
30,5 g	28,9 g	0,0%	3,2%	94,3%	2,2%	0,1%	0,0%	0,0%
31,0 g	31,0 g	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
31,0 g	31,9 g	0,0%	27,9%	71,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
31,1 g	29,0 g	0,0%	3,3%	96,3%	0,3%	0,1%	0,0%	0,0%
31,9 g	29,3 g	0,0%	6,6%	92,2%	1,1%	0,0%	0,0%	0,0%
32,0 g	32,0 g	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
32,5 g	31,5 g	0,0%	25,2%	73,7%	1,0%	0,1%	0,0%	0,0%
32,5 g	32,6 g	0,0%	34,4%	64,1%	1,3%	0,1%	0,0%	0,0%
32,7 g	31,5 g	0,0%	24,0%	75,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
32,7 g	31,5 g	0,0%	24,3%	75,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
33,0 g	31,5 g	0,0%	24,8%	73,7%	1,4%	0,0%	0,0%	0,0%
33,0 g	33,0 g	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
33,3 g	33,0 g	0,0%	37,3%	61,8%	0,8%	0,1%	0,0%	0,0%
34,0 g	32,9 g	0,0%	36,4%	62,9%	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%
34,4 g	33,9 g	0,0%	44,6%	55,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
34,8 g	33,4 g	0,0%	40,2%	59,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
35,6 g	38,8 g	0,0%	85,4%	14,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
35,9 g	36,7 g	0,0%	68,5%	31,2%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%
36,3 g	39,2 g	0,0%	89,4%	10,2%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%
36,5 g	37,2 g	0,0%	72,5%	27,3%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%
36,5 g	39,1 g	0,0%	88,2%	11,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
36,7 g	37,1 g	0,0%	71,9%	27,7%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%
37,0 g	39,2 g	0,0%	89,1%	10,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
37,7 g	39,8 g	0,0%	94,1%	5,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
38,5 g	39,7 g	0,0%	94,0%	5,8%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%
38,6 g	39,9 g	0,0%	95,0%	4,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
39,1 g	40,0 g	0,0%	95,6%	4,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
39,9 g	40,4 g	0,0%	99,6%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
40,0 g	40,0 g	0,0%	95,7%	4,2%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
41,0 g	40,2 g	1,3%	94,8%	3,6%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%
41,3 g	40,4 g	0,0%	98,8%	1,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
41,3 g	40,2 g	0,0%	99,4%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
41,7 g	32,0 g	0,0%	97,5%	2,4%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
41,7 g	40,2 g	0,0%	97,9%	2,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
42,5 g	40,3 g	0,0%	98,6%	1,3%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
42,5 g	40,3 g	0,0%	98,6%	1,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

## Annexe 8.1 Fiche de sécurité pour le métabisulfite de sodium

# Fiches Internationales de Sécurité Chimique

**METABISULFITE DE SODIUM**

ICSC: 1461

<b>D</b> <b>O</b> <b>N</b> <b>N</b> <b>E</b> <b>E</b> <b>S</b> <b>I</b> <b>M</b> <b>P</b> <b>O</b> <b>R</b> <b>T</b> <b>A</b> <b>N</b> <b>T</b> <b>E</b> <b>S</b>	<p><b>ASPECT PHYSIQUE;</b> <b>APPARENCE:</b> POUDRE BLANCHE .</p> <p><b>DANGERS PHYSIQUES:</b></p> <p><b>DANGERS CHIMIQUES:</b> La substance se décompose en chauffant fortement , produisant des oxydes de soufre . La substance est un réducteur fort et réagit avec les oxydants. Réagit violemment avec les solutions concentrées de nitrite de sodium. La substance se décompose au contact d'acides , produisant des oxydes de soufre .</p> <p><b>LIMITES D'EXPOSITION PROFESSIONNELLE (LEP):</b> TLV: 5 mg/m<sup>3</sup> TWA; A4; (ACGIH 2002).</p>	<p><b>VOIES D'EXPOSITION:</b> La substance peut être absorbée par l'organisme par inhalation et par ingestion.</p> <p><b>RISQUE D'INHALATION:</b> L'évaporation à 20°C est négligeable; une concentration dangereuse de particules en suspension dans l'air peut cependant être atteinte rapidement par dispersion.</p> <p><b>EFFETS DES EXPOSITIONS DE COURTE DUREE:</b> La substance est irritante pour les yeux et les voies respiratoires et elle est sévèrement irritante pour les voies digestives . L'inhalation de la substance peut causer des réactions astmatiformes (voir Notes).</p> <p><b>EFFETS DES EXPOSITIONS PROLONGÉES OU REPETÉES:</b></p>		
<b>PROPRIÉTÉS PHYSIQUES</b>	Se décompose au-dessous du point de fusion à 150°C Densité: 1.4 g/cm <sup>3</sup> Solubilité dans l'eau : 54 g/100 ml bonne	( ) Coefficient de partage octanol/eau tel que log Poe : -3.7		
<b>DONNÉES ENVIRONNEMENTALES</b>	La substance est nocive pour les organismes aquatiques.			
<b>NOTES</b>				
Rincer abondamment à l'eau les vêtements contaminés (risque d'incendie). Tout individu présentant des symptômes d'asthme dus à cette substance ne doit plus jamais entrer en contact avec cette substance. Les symptômes de l'asthme ne se manifestent souvent qu'après quelques heures et sont aggravés par l'effort physique. Le repos et la surveillance médicale sont par conséquent essentiels.				
<b>AUTRES INFORMATIONS</b>				
<a href="#">Valeurs limites d'exposition professionnelle d'application en Belgique.</a>				
<b>ICSC: 1461</b>	<b>METABISULFITE DE SODIUM</b> (C) PISSC, CCE, 1999			

## Annexe 8.2 : Fiche de sécurité pour le métabisulfite de sodium

# Fiches Internationales de Sécurité Chimique

## METABISULFITE DE SODIUM

ICSC: 1461

Disulfite de disodium  
 Pyrosulfite de disodium  
 Disulfite de sodium  
 $\text{Na}_2\text{O}_5\text{S}_2$   
 Masse moléculaire: 190.1

N° ICSC : 1461

N° CAS : 7681-57-4

N° RTECS : [UX8225000](#)

N° CE : 016-063-00-2

11.10.2002 Revu en réunion

TYPES DE RISQUES/EXPOSITIONS	RISQUES/ SYMPTOMES AIGUS	PREVENTION	PREMIER SECOURS/ AGENTS D'EXTINCTION
INCENDIE	Non combustible.		En cas d'incendie à proximité: utiliser les agents d'extinction appropriés.
EXPLOSION			
<hr/>			
CONTACT PHYSIQUE		EVITER LA DISPERSION DE POUSSIÈRE!	
• INHALATION	Toux. Respiration sifflante.	Aspiration locale ou protection respiratoire.	Air frais, repos.
• PEAU		Gants de protection.	Rincer d'abord abondamment à l'eau, puis retirer les vêtements contaminés, et rincer de nouveau.
• YEUX	Rougeur. Douleur.	Lunettes de protection fermées.	Rincer d'abord abondamment à l'eau pendant plusieurs minutes (retirer si possible les lentilles de contact), puis consulter un médecin.
• INGESTION	Douleurs abdominales.	Ne pas manger, ne pas boire	Rincer la bouche. Faire boire

## Glossaire et sigles

Abattage (bac d') : bac de traitement contenant un mélange d'eau de mer et de glace à 4°C destiné à l'euthanasie des crevettes récoltées

Aération (capacité d') : somme des puissances des dispositifs d'aération (*paddle wheel* et/ou *Aire O<sub>2</sub>*) par unité de surface de bassin exprimée en ch/ha, HP/ha ou KW/ha (Facteurs de conversion : 1 HP = 0,745 kW. 1 HP = 1,014 ch)

Aérobie : se dit de tout être vivant ou phénomène, processus ou métabolisme dont l'existence exige la présence d'oxygène.

Anérobiose : environnement dépourvu d'oxygène et où organismes se développant en absence d'oxygène.

Anoxie : diminution de la quantité d'oxygène apportée par le sang (hémolymphe) aux tissus

Anti oxydant : substance capable de neutraliser ou de réduire les dommages causés par les radicaux libres dans l'organisme. Les radicaux libres sont notamment responsables de l'oxydation des cellules.

Appâtage : action de jeter une poignée de granulés pour attirer les crevettes au moment des pêches ou des échantillonnages

Arroyo : canal plus ou moins profond sillonnant la mangrove.

Artemia (artémie) : crustacé branchiopode vivant dans les lacs salés. Leurs œufs enkystés (forme de résistance) après éclosion servent de proies en élevage larvaire.

Astaxanthine : appartient à la famille des caroténoides dont elle possède les puissantes propriétés antioxydantes

Autotrophe : qualifie certains organismes vivants (végétaux ou microorganismes) capables de créer leur propre matière organique à partir d'éléments minéraux en utilisant la photosynthèse.

Bases échangeables : cations basiques (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> et Na<sup>+</sup>) susceptibles d'être fixés sur des sites négatifs dans un sol. L'unité est le milliéquivalent par 100 grammes (mEq/100 g) de sol.

Blowers (feed) : épandeur amovible utilisant de l'air pour propulser les granulés dans les bassins.

Cellule de Malassez : cellule de numération cellulaire (microalgues) formée d'une lame porte objet dans laquelle est creusée une chambre de comptage de volume connu.

Céphalothorax : région antérieure du corps de la crevette comprenant la tête et le thorax soudés ensemble

Chloroplaste : organite contenant de la chlorophylle, localisé dans le cytoplasme des cellules de plantes vertes. Le chloroplaste est le siège de la photosynthèse.

Compétiteur : la compétition, en écologie et biologie, désigne la rivalité entre espèces vivantes pour l'accès aux ressources du milieu.

Creek : cours ou collection d'eau temporaire.

Cuticule : désigne la couche externe sécrétée par l'épiderme des crustacés. Elle est en général formée de trois couches. L'épicuticule est la couche la plus fine de la cuticule, elle est également la plus externe. L'exocuticule est la couche intermédiaire de la cuticule, elle est composée essentiellement de protéines durcies responsables de sa rigidité. L'endocuticule, une couche fine, flexible, constituée d'un mélange de protéines et de chitine appelé Mucopolysaccharide.

Cyanobactéries ou Cyanophycées : appelées également algues bleues elles sont unicellulaires coloniales ou filamenteuses et les cellules sont petites. Elles n'ont pas de vrai noyau, pas de vrais chloroplastes mais possèdent de la chlorophylle a, carotènes et phycobilines (phycocyanine). Elles réalisent l'assimilation de l'azote atmosphérique par des hétérocystes.

SASV / GIE RA / DAC / LEAD : anciennes appellations du LEAD (département Lagons, Ecosystèmes et Aquaculture Durable en Nouvelle-Calédonie), Station Aquacole de Saint Vincent (SASV), Groupement Intérêt Economique Recherche Aquacole (GIE RA), Département Aquacole de Calédonie (DAC).

DCP : dispositif de concentration de poissons qui permet d'attirer les poissons.

Dégrillage : le dégrillage (grille métallique) permet d'évacuer des eaux de surfaces les gros objets du type tronc d'arbre, bidon et des matières de taille plus faible (branches, feuilles, objets métalliques ...) afin de protéger les pompes.

Dénitrification : réduction des nitrates (NO<sub>3</sub>) en azote gazeux (N<sub>2</sub>) par des bactéries en situation d'anoxie.

Desratifier : homogénéiser la colonne d'eau de la surface jusqu'au fond au moyen de l'aération et/ou du renouvellement pour éviter les effets loupe et couche.

Endopodite : l'appendice d'un crustacé est formé de deux branches, l'une externe ou exopodite l'autre interne ou endopodite. L'endopodite assure généralement la locomotion.

Eutrophisation : désigne originellement la richesse d'un milieu aquatique en éléments nutritifs, sans connotation négative. Il a aujourd'hui un sens proche de dystrophie (caractérisé par un apport excessif d'éléments minéraux nutritifs dû à diverse causes de pollution) et vient souvent comme qualificatif de sens négatif pour des milieux aquatiques d'eau douce ou marins. Un milieu aquatique pauvre en éléments nutritifs est dit oligotrophe; dans le cas intermédiaire, on qualifie le milieu de mésotrophe.

Fcfp : 100 Fcfp=0,83 euros

Fines (digues) : argiles de granulométrie <63 µm

Floculant et dispersant (algues rouges) : l'emploi d'un agent floculant aboutit à une concentration, à un épaissement de la suspension traitée (marées rouges), alors qu'à l'opposé, l'utilisation d'un agent dispersant provoque une dilution et une fluidification de la même suspension.

Grégarisme : tendance qui pousse les individus de même espèce à se grouper par attraction réciproque en fonction des stimuli émis et captés d'un animal à l'autre.

Hémolymph : « sang » des arthropodes, dépourvu de rôle respiratoire

Hétérotrophe : qualifie un être vivant qui ne peut fabriquer lui-même tous ses constituants et doit, de ce fait, utiliser des substances organiques du milieu extérieur.

Homochromie : stratégie évolutive pour échapper à un prédateur qui consiste à ressembler, au niveau de la couleur à l'environnement proche.

Hydrophobe (plumage) : que l'eau ne mouille pas ou ne pénètre pas.

Hypoxie : état d'un milieu naturel ou d'un organisme vivant en état de manque d'oxygène. Un milieu naturel, aquatique par exemple, est en hypoxie quand la teneur en oxygène ne permet pas la survie des organismes qui s'y trouvent.

Ketone (cétones) : composé organique, faisant partie de la famille des composés carbonylés, dont l'un des carbones porte un groupement carbonyle. Les aldéhydes ont un carbone primaire et les cétones un carbone secondaire (lié à exactement 2 atomes de carbones voisins) qui porte le groupement carbonyle.

Leaching : libération et/ou diffusion des substances (vitamines, etc.) contenues dans le granulé après son immersion.

Lessivage : dilution du phytoplancton par excès de renouvellement d'eau.

Macrophyte : plante aquatique de grande taille (par opposition au phytoplancton et aux algues de petite taille).

Méiofaune : appelée également méiobenthos, groupe fonctionnel de métazoaires benthiques retenus par un tamis de 40 µm et d'une taille inférieure à 1 mm.

Métaux lourds : désignent les éléments métalliques naturels dont la masse volumique dépasse 5g/cm<sup>3</sup>. Ceux-ci sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces de mercure, plomb, cadmium, cuivre, arsenic, nickel, zinc, cobalt, manganèse.

Microphytobenthos : algues unicellulaires (exemple : diatomées) et cyanobactéries associées aux substrats meubles et durs formant le tapis algairé

Moine : ouvrage hydraulique permettant de filtrer et de régler la hauteur d'eau d'un bassin.

Moribondes : désignées encore de sub claquantes ou faibles, crevettes léthargiques nageant en surface ou agglomérées au bord.

Nurserie : technique ou bac d'une centaine de m<sup>3</sup> destiné à acclimater les juvéniles sortant d'écloserie aux conditions extérieures et au granulé de grossissement.

Phanérogames : désignent les plantes à fleurs et à graines /s/ algues telles les zoostères ou herbe à tortues.

Plate : embarcation à fond plat (/s/ coque en aile de mouette) utilisée pour la distribution du granulé.

Pré grossissement (bassin de terre) : technique visant à faire passer des post larves à l'état de juvéniles de 1 à 2 g en bassin de terre à la densité de 150-250/m<sup>2</sup>.

Proventricule : partie antérieure du tube digestif

Quinones : les quinones constituent une série de diènes (hydrocarbures qui contiennent deux liaisons doubles) comportant un noyau de benzène sur lequel deux atomes d'hydrogène sont remplacés par deux oxygènes formant deux liaisons carbonyles (dicétones éthyléniques conjuguées cycliques).

Réfractomètre : il permet la mesure de l'indice de réfraction d'un milieu. Dans le cadre de la crevetticulture, il sert à déterminer la salinité.

Rostre : Prolongement rigide du céphalothorax de la crevette dont le nombre de dents constitue un critère spécifique et d'ontogénie.

Saturation : la dissolution de l'oxygène dans l'eau est régie par des lois physiques et dépend de la pression atmosphérique, de la pression de vapeur saturante, de la température de l'eau, de la salinité. Pour une valeur donnée de chacun de ces paramètres, la solubilité maximale de l'oxygène dans l'eau est appelée saturation.

Septicémie : infection générale grave de l'organisme par des germes pathogènes.

SOPAC : Société des Producteurs Aquacoles de Nouvelle-Calédonie

Stylog : base de données permettant le suivi des élevages et l'aide à la gestion des fermes et de la filière

STANC : unité de conditionnement de crevettes basée à Kone

Tanne : désigne la partie d'un marais la moins fréquemment submergée et aux sols généralement sursalés, nus ou peu végétalisés, se développant aux dépens d'une mangrove.

Turbidité : qualifie la teneur d'un liquide en matières qui le troublent. Elle est causée par des particules en suspension qui absorbent, diffusent et/ou réfléchissent la lumière (minérales ou organiques).

Uropode : appendice terminal natatoire de la crevette comprenant l'exopodite: partie externe de l'uropode et l'endopodite: partie interne de l'uropode.

