

**Centre du Pacifique**  
**Département Aquaculture en Calédonie**  
BP 2059 – 98846 Nouméa Cedex  
Nouvelle-Calédonie

**ifremer**

**Série Rapports Scientifiques et Techniques**

Ifremer/DAC/RST. 2005.02

Décembre 2005

**Luc Della Patrona**

**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.**



## SOMMAIRE

Résumé.....	2
I. Introduction.....	3
II. Généralités sur le site.....	4
1. Site.....	4
2. Conditions climatiques.....	4
3. Les sols.....	5
III. Résultats commentés.....	6
1. Constats de dysfonctionnement de l'écosystème du bassin.....	6
a. Observations d'épisodes de mortalités de crevettes supposées être liées à des vibriosés.....	6
b. Histogramme mortalités saisonnières 1994-1996.....	6
c. Epidémiologie : coexistence de bassins « affectés » et « indemnes » sur la ferme....	6
d. Autres évènements remarquables.....	6
2. Etudes sur le climat.....	8
3. Analyses des sédiments.....	9
a. Evolution physique différentielle des fonds de bassins.....	9
b. Evolution géochimique des fonds de bassins.....	12
4. Etudes de la gestion zootechnique.....	14
a. Post larves et animaux pré grossis.....	14
b. Alimentation.....	17
c. Renouvellement.....	18
d. Croissance.....	20
e. Evolution des survies.....	21
f. Préparation des bassins.....	27
IV. Discussion.....	28
1. Principaux facteurs ayant conduit au déclin des performances.....	28
a. Facteurs d'ordre climatique.....	29
b. Facteurs d'ordre pédologique.....	29
c. Facteurs d'ordre pathologique.....	30
d. Facteurs d'ordre zootechnique.....	32
e. Synthèse des évènements.....	37
2. Facteurs ayant permis la réhabilitation du site.....	39
a. Facteurs d'ordre climatique.....	39
b. Facteurs d'ordre pédologique.....	39
c. Facteurs d'ordre zootechnique.....	39
V. Recommandations et conclusions.....	40
Version abrégée.....	44
Références bibliographiques.....	48

**Remerciements à C. Goarant, E. Goyard et A. Herbrand (Ifremer DAC) pour les corrections, les remarques et la rédaction de la version abrégée qui ont grandement amélioré le document.**

## Résumé

La ferme de SODACAL, conçue à l'origine comme une ferme de démonstration pour le développement d'une filière d'aquaculture exportatrice de crevettes en Nouvelle-Calédonie a connu une phase de croissance exponentielle de sa production de 1984 à 1992 (jusqu'à 400 t/an), puis une chute brutale en 1993 (250 t/an) qui s'est prolongée jusqu'en 1997 et enfin une reprise à partir de 1998 pour arriver à une stabilisation autour de 420 t/an depuis 1999.

L'étude inventorie les dysfonctionnements observés avant et pendant la crise de production. Parmi ceux-ci sont évoqués les épisodes de mortalité de crevettes, d'autres désordres biologiques (décollements de tapis benthique et « hécatombes » de crabes et de poissons), l'état délétère des fonds (sédiments réduits et odeur d'hydrogène sulfuré). Elle permet notamment de montrer que des épisodes de mortalité typiques du Syndrome 93 pouvaient être observés sur cette ferme dès 1990.

L'étude met en évidence les conditions climatiques remarquables qui ont sévi en Nouvelle-Calédonie de 1990 à 1995 (sécheresse) et leur impact probable sur les élevages.

La genèse du phénomène très particulier d'évolution physique et topographique des fonds des bassins par l'effet du vent (accumulation et creusement) et des conséquences sur la préparation des bassins est explicitée.

Ce travail aborde la gestion zootechnique : l'âge et la « qualité » des post larves, la pratique des ensemencements à partir d'animaux pré grossis, la gestion de l'alimentation et la nature de la provende, le contrôle du renouvellement d'eau et la capacité de pompage, le choix des densités et du calibre des animaux récoltés. Les résultats ont pu être évalués à travers un outil original «le différentiel de survie », permettant des comparaisons inter-bassins au sein du site, inter-fermes à des périodes pluri annuelles distinctes.

A partir des résultats commentés de la ferme obtenus sur 20 années, on a pu distinguer les principaux facteurs qui ont provoqué cette chute d'aptitude culturale de certains bassins. Un schéma conceptuel des différents paramètres ayant conduit à la baisse des survies, un scénario épidémiologique ainsi qu'un tableau synoptique de la chronologie des événements et de leur relative sévérité sont esquissés.

Le rapport ébauche l'hypothèse d'un cumul de causes favorables qui ont permis le retour à des résultats zootechniques satisfaisants : une réhabilitation physique et biochimique des fonds de bassins, une zootechnie modifiée et standardisée, une capacité de pompage adéquate et une climatologie de nouveau favorable.

Cette étude de cas permet ainsi d'illustrer les notions d « élasticité » de l'aptitude culturale et de durabilité de la crevetticulture en Nouvelle-Calédonie.

Le but de cette enquête historique sur 20 ans est l'acquisition d'informations pertinentes permettant d'améliorer la compréhension du « Syndrome d'été » qui affecte actuellement deux fermes de production et ainsi aider à compléter le scénario hypothétique avancé par le Dac (2005).

Enfin, au travers de cet historique, on a cherché également à sensibiliser les nouveaux opérateurs de la filière sur la fragilité de l'écosystème-bassin et présenter quelques conseils de bon sens pour éviter que de tels phénomènes ne se reproduisent ailleurs.

## I. Introduction

A la fin des années 70, le groupe CNEXO-France Aquaculture avait développé pour les crevettes péneides une technologie transposable dans toute la zone intertropicale. La maîtrise des processus de maturation et de ponte à partir de géniteurs nés en captivité libérait de l'obligation de capturer les reproducteurs dans le milieu naturel, et permettait l'implantation de fermes dans les zones favorables, qu'il existe ou non des espèces indigènes.

Les travaux réalisés en Nouvelle-Calédonie à la Station d'aquaculture de Saint Vincent sous la direction du Centre Océanologique du Pacifique ont permis d'atteindre la phase de production pilote dès 1982. Il convenait alors de lancer les élevages de crevettes suivant deux voies qui se confortaient mutuellement : un développement des fermes artisanales axé sur le marché local, un développement de grandes fermes axé sur l'exportation. L'outil majeur d'un tel développement passait par la réalisation d'une grande ferme de démonstration qui seule permettrait de rentabiliser la construction d'une éclosérie de production, une alimentation spécialisée et une unité de conditionnement pour l'exportation.

La ferme de SODACAL a été réalisée en deux étapes : 4 grands bassins de productions opérationnels en 1984 (8-10 ha chacun) puis 8 bassins supplémentaires de productions (9-11 ha chacun) en activité dès 1986, 12 bassins de pré grossissement (1 ha), 12 bassins de géniteurs (0,3 ha), une éclosérie sur le site et un atelier de conditionnement à Nouméa.

La ferme a connu une phase exponentielle de production de 1984 à 1992 jusqu'à 400 t, puis une chute brutale en 1993 à 250 t qui s'est maintenue jusqu'en 1997, puis une reprise à partir de 1998 et une stabilisation autour de 450 t jusqu'à aujourd'hui (Figure 1).

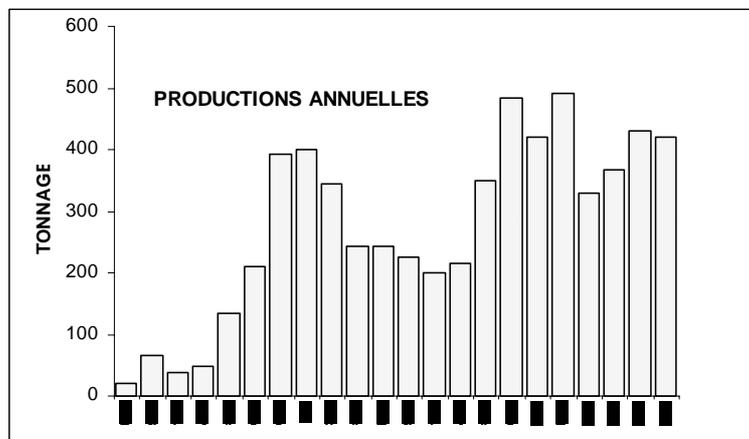


Figure 1 : Evolution des productions annuelles de la SODACAL

Plusieurs hypothèses sur la chute de production ont été évoquées dès 1993:

- émergence de *Vibrio penaeicida*, en 1993, période de la « prise de conscience » du « syndrome 93 » ;
- vieillissement généralisé des fonds de bassins ;
- dérive zootechnique ;
- affaiblissement « génétique » de la souche.

D'autre part, les facteurs qui ont permis la reprise d'activité « normale » n'ont jamais été véritablement cernés. Parmi ceux-ci, ont été suggérés :

- un « re conditionnement » des fonds de bassins ;
- une augmentation de la capacité de pompage ;
- une amélioration des pratiques zootechniques.

## II. Généralités sur le site

### 1. Site

Le marais de Mara se situe sur la commune de Moindou. Il a la forme d'un trèfle à trois feuilles dont le lobe central est le plus étendu. La genèse de ce milieu est complexe (Baltzer, 1965). L'accumulation de sédiments s'est réalisée par épisodes, liées aux régressions et transgressions marines du Quaternaire. En se dirigeant de la mer vers la terre on rencontre la succession suivante :

- Marais actif soumis à une immersion régulière :
  - la forêt de Palétuviers où prédomine *Rhizophora mucronata* ;
  - une zone de mangrove arbustive à *Avicennia officinalis* ;
- Marais ancien immergé en circonstances exceptionnelles
  - une zone herbeuse à *Salicornia australis* ;
  - une zone recouverte d'un voile algaire 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.

Les bassins ont été édifiés sur les deux dernières zones avec pour certains l'utilisation de terrains décapés en amont du ressaut limitant les vases salées.

### 2. Conditions climatiques

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 de températures s'étend de septembre à novembre.

Pendant une bonne partie de l'année, l'île est sous l'influence de vents très forts (Figure 2).

La température de l'eau de mer se situe entre 20°C et 27°C (Figure 3). La salinité de l'arroyo du site de pompage oscille entre 35 et 38 ‰ .

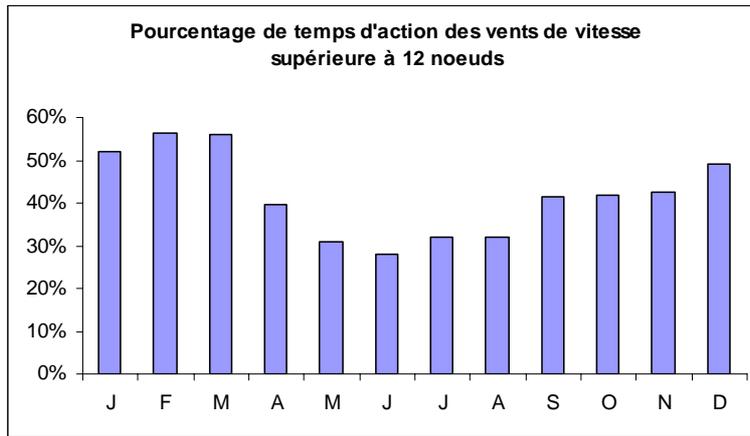


Figure 2 : pourcentage de temps d'action des vents de vitesse supérieure à 12 noeuds (Source : Atlas Nouvelle-Calédonie ORSTOM , 1983).

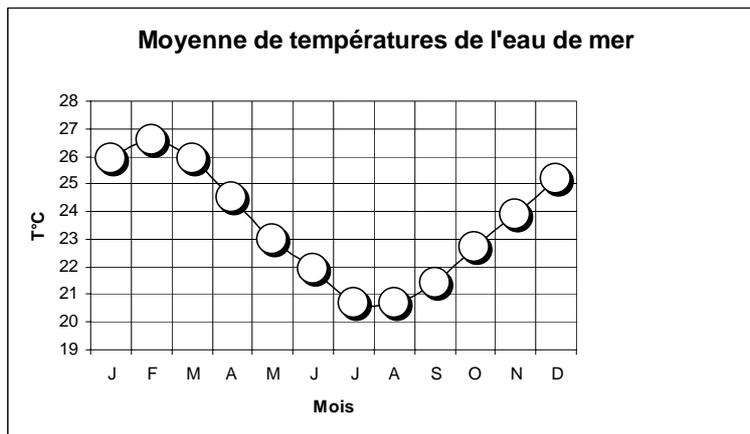


Figure 3 : Moyennes saisonnières des températures de l'eau de mer (Source : Atlas Nouvelle-Calédonie ORSTOM, 1983)

### 3. Les sols

La stratigraphie du marais de Mara est connue et est très complexe. Elle comprend 21 faciès sédimentologiques (Baltzer, 1965). On peut grossièrement les rassembler en trois niveaux. En surface des argiles d'aspect grumeleux, puis d'épaisses masses de débris végétaux et enfin des argiles montmorillonitiques riches en calcaires. On ne considère que les deux horizons premiers ici. L'horizon supérieur constituant le fond naturel des bassins est composé de minéraux argileux illite et kaolinite. La teneur en carbonates de calcium est comprise entre 0 et 5% voire exceptionnellement 18% du poids sec. L'épaisseur de cette couche est en moyenne de 35 à 45 cm. Sous ces niveaux on trouve fréquemment des débris végétaux ou des vases rouges quasi liquides. Au fur et à mesure que l'on descend dans ce

faciès, les conditions deviennent de plus en plus réductrices et les pH deviennent acides de l'ordre de 5,4.

### III. Résultats commentés

#### 1. *Constats de dysfonctionnement de l'écosystème du bassin*

##### a. **Observations d'épisodes de mortalités de crevettes supposées être liées à des vibrioses.**

En mi-avril **1990** des centaines de mortes ont été comptées autour des bassins de pré grossissements M et N. Plus de 1000 mortes ont été enregistrées entre mi-mai et mi-juin **1991** sur les bassins Q et R (pré grossissements).

En fin **mars 91**, un épisode de mortalité de plus de 10 000 animaux pré grossis était signalé dans le bassin récipiendaire alors que les transferts précédents n'avaient pas conduit à des mortalités d'une telle ampleur. Entre 1992 et 1993, tous les transferts d'animaux pré grossis conduisaient à des observations de milliers de mortes dans les deux jours qui suivaient.

Historiquement, ces épisodes représentaient peut-être les premiers cas de ce qui devint le Syndrome 93.

##### b. **Histogramme mortalités saisonnières 1994-1996**

La collecte du dénombrement journalier des mortes sur 4 autres fermes au cours des 3 années consécutives après la chute de production de 1993 (**figure 4**) indique que l'intensité des mortalités est variable suivant les saisons : extrêmement forte sur la première saison intermédiaire (*automne* mi-avril à mi-mai) , conséquente sur la seconde saison (*printemps* mi-septembre à mi-novembre), faible en saison fraîche (mi-mai- à mi-septembre) et quasi-inexistante en saison chaude (mi-novembre à mi-avril). Il existe aussi des variations inter annuelles suivant l'*arrivée* précoce ou retardée de la première saison de transition.

##### c. **Epidémiologie : coexistence de bassins « affectés » et « indemnes » sur la ferme**

En suivant le sens du courant d'arrivée d'eau de pompage, on notait que les élevages indemnes de mortalités atypiques étaient obtenus dans les unités de 3000 m<sup>2</sup>-géniteurs situées en amont et dans les enceintes de 1 ha -pré grossissements localisés en aval des bassins qui présentaient de faibles taux de survies (8-10 ha). Tous les élevages recevaient la même eau de pompage, le même granulé et étaientensemencées avec des post larves de même origine.

##### d. **Autres évènements remarquables**

A plusieurs reprises (1993 et 1994) des milliers de poissons Gobiidae « lochons » ont été observés en « train de chercher l'air » aux bords des digues et aux entrées d'eau de même

que des crabes remontant en surface en tournoyant malgré des valeurs d'oxygène dissous non létales pour les crevettes (bassins D,E,F). Il faut noter que ces évènements n'ont jamais coïncidé avec des mortalités de crevettes.

Des décollements de plaques de tapis algaux (cyanophycées) composés de *Oscillatoria spp.* agglomérées avec du sédiment réduit « sentant l'œuf pourri » (présence H<sub>2</sub>S) ont été fréquemment notés.

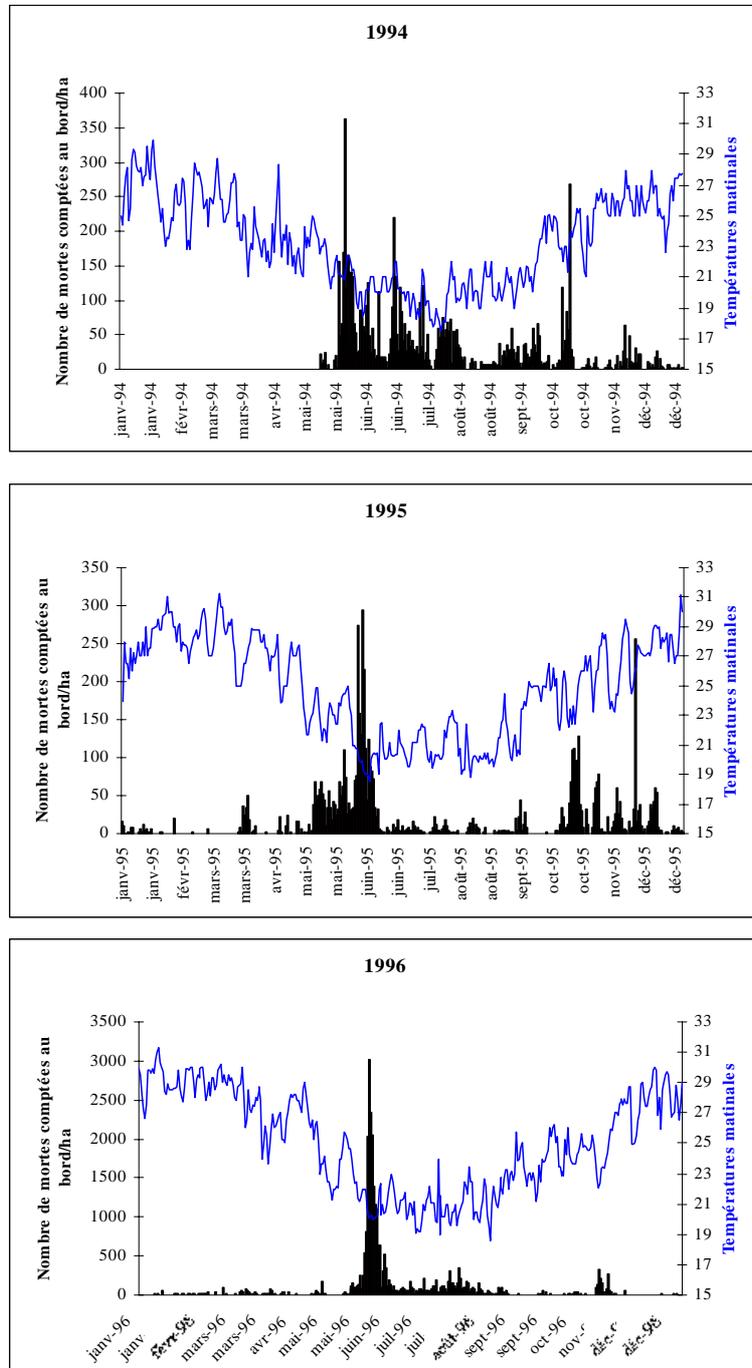


Figure 4 : Episodes de mortalités saisonnières

## 2. Etudes sur le climat

La climatologie sur les années 1988 à 1998 a vu la coïncidence de deux tendances contraires pour la salinité et la température de l'eau de mer. Une diminution progressive des températures moyennes avec une bascule en 1995. Une augmentation forte des salinités avec une inversion de tendance en 1996 (Figure 5a).

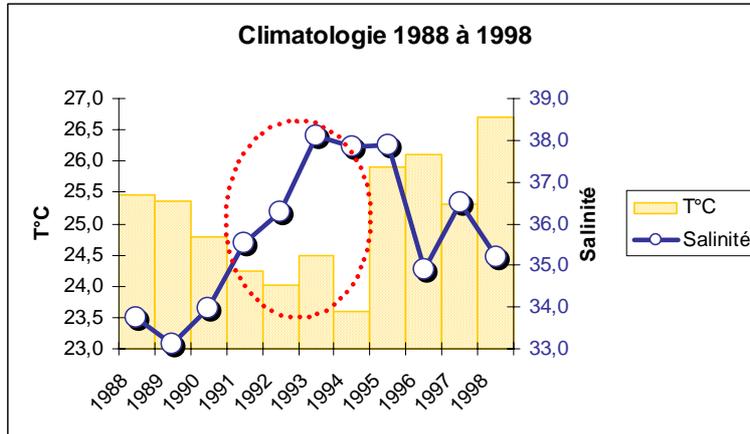


Figure 5a : Evolution des moyennes annuelles de températures et des salinités enregistrées dans les bassins de la SODACAL

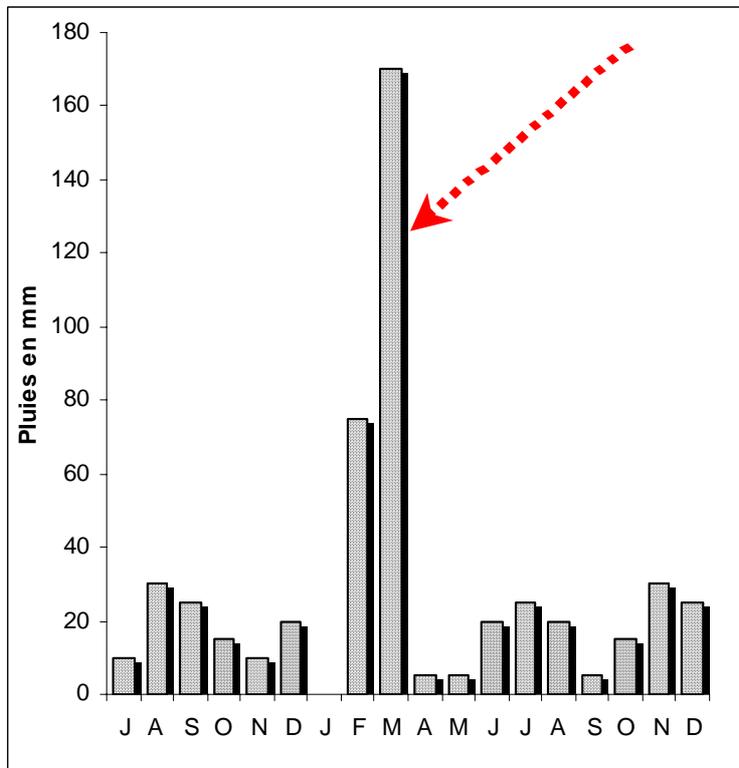


Figure 5b : Evolution des précipitations enregistrées sur la période juillet 1992 à décembre 1993 (Station météo Moindou mairie)

Les années 1991 à 1995 ont été caractérisées par une sécheresse sans précédent pour le Territoire. Au cours de la période de juillet 1992 à décembre 1993 s'est produit un épisode très bref mais très intense de précipitations à l'entrée de l'automne (Figure 5b).

### 3. Analyses des sédiments

#### a. Evolution physique différentielle des fonds de bassins

Au fur et mesure des cycles d'élevage, les surfaces initialement homogènes uniformément planes et en pente douce vers la mer ont été modifiées. Des zones d'accumulation et d'abrasion sont apparues dans les bassins de grossissement de 8-10 ha mais pas dans les bassins géniteurs de 0,3 ha ni dans les bassins de pré grossissement de 1 ha. En 1994, les amoncellements mesurés atteignaient +40 cm et les dépressions - 30 cm /cote 0 cm= zone indemne. Les conséquences étaient multiples :

- impossibilité de sécher, de labourer et donc de « régénérer » ces zones sous peine d'enlèvement ;
- impossibilité de vidanger les bassins où une « barre » de sédiment s'était formée devant les moines de sortie ;
- difficultés pour récupérer les crevettes (grosses pertes) dans les cuvettes;
- impossibilité de vider l'eau des grandes flaques à l'assec qui présentaient un point bas à une cote inférieure aux moines de sortie
- impossibilité de distribuer en bateau dans les zones d'accumulation.

L'identification du phénomène a été faite par Griessinger (1994). La cause première est l'effet du vent (Figure 6).

Le phénomène a été aggravé par la percolation des digues inter bassins (absence de clé d'ancrage et de noyau argileux du matériau des digues mal compacté) et le manque de matériel adéquat pour racler et labourer les accumulations d'une part et combler les dépressions d'autre part.

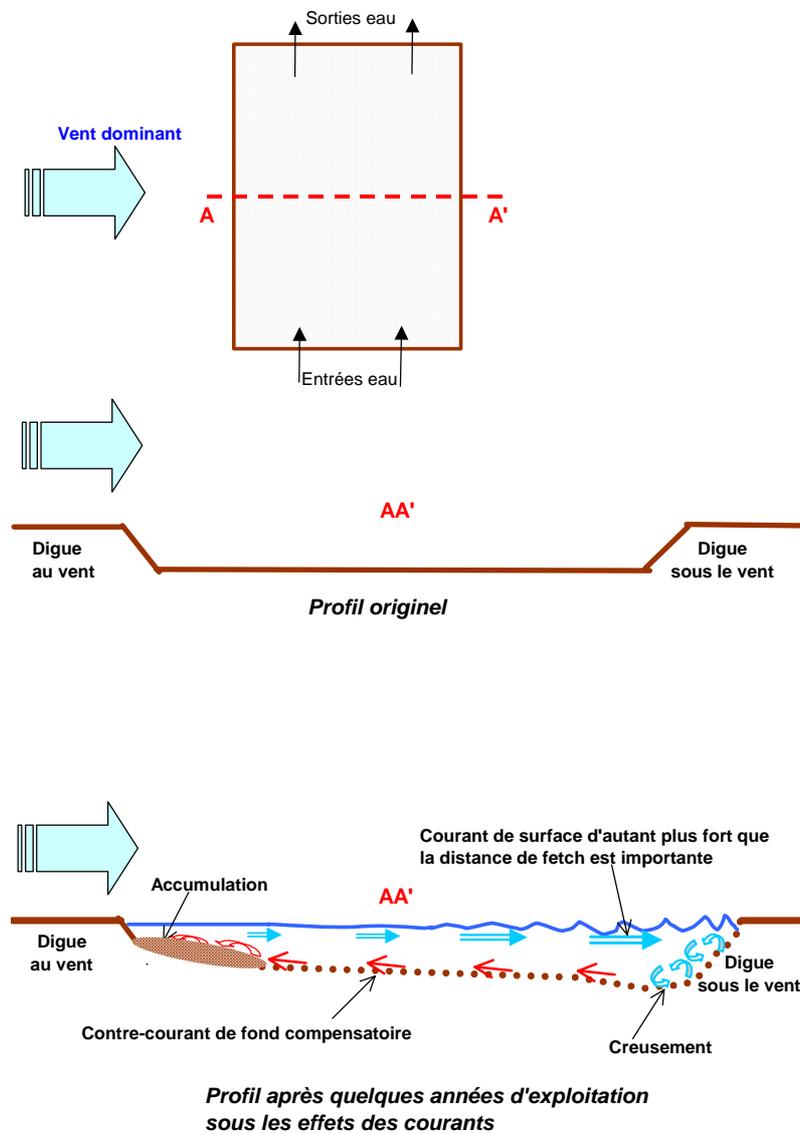


Figure 6 : Effet du vent sur les profils transversaux des bassins de SODACAL (Griessinger, 1994).

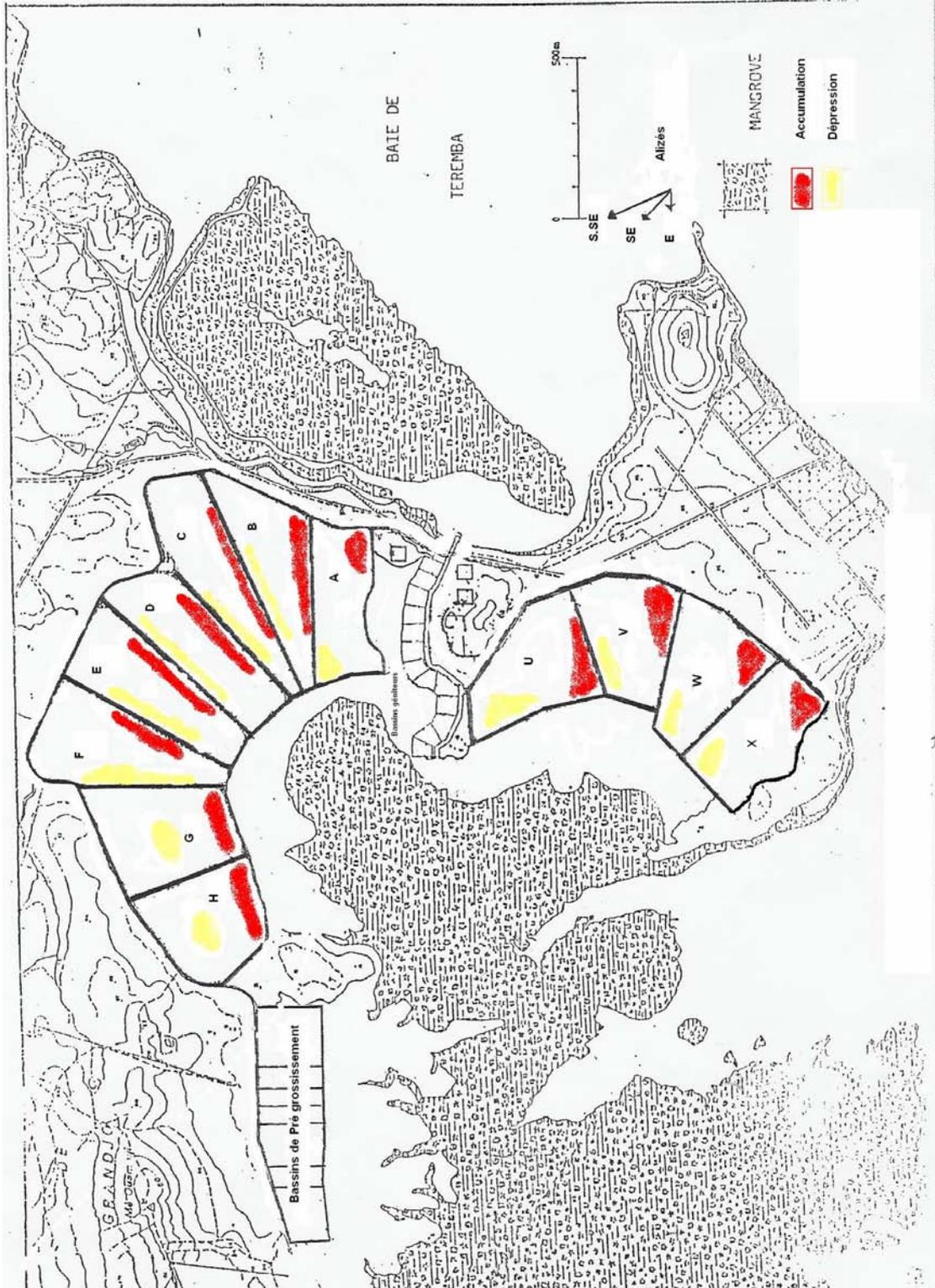


Figure 7 : Impact différentiel de l'érosion due au vent à la SODACAL (1994)

On note que l'impact des alizés est très différent suivant les bassins (Figure 7).

Il varie selon:

- l'aire des bassins : les bassins d'élevage géniteurs de 0,3 ha et de pré grossissements de 1 ha sont épargnés ;
- la protection par le relief : les bassins U,V,W, X et A sont protégés par une colline ;
- l'angle du vent
  - dans le même sens (V,W et X) ou inverse (G,H) que le flux d'eau des moines d'entrée (renouvellement) et de son intensité ;
  - perpendiculaire (B,C,D ,E,F) ou parallèle (G,H,W et X) à la plus grande digue du bassin.
  - le rapport longueur-largeur des bassins :  $>3$  B,C,D,E,F et  $<2$  et moins A,X,W,V,G,H,U).

## b. Evolution géochimique des fonds de bassins

Durant la succession des élevages, les effets combinés du contre courant de fond et de la pratique du labour entre deux productions d'une part et l'apport de matière organique exogène (granulé) et endogène (production naturelle) d'autre part ont modifié la nature du tanne initial. Dans le cas des bassins les plus touchés, on constatait dans la zone d'accumulation, en cours d'élevage et à l'assec, une forte odeur de sulfure d'hydrogène traduisant un milieu anaérobie.

On atteignait dans la zone d'abrasion, le niveau caractéristique à *cristaux de gypse translucides en baguette* décrit par Baltzer (1965) indiquant des pH très acides et des conditions fortement réductrices.

Une seule analyse relativement complète (Carbone, rapport C/N, Phosphore, Matière organique, pH, granulométrie) a été faite en 1994 à l'époque par la SODACAL dans le bassin A (figure 8a). Les autres études plus sommaires ont porté sur le phosphore (figure 8b) dans quelques bassins du lobe Nord et la proportion de particules fines (figure 8c) sur l'ensemble de la ferme afin de mettre en évidence des différences entre les zones indemnes et d'accumulation.

Il apparaît que la portée de ces différentes informations demeure très limitée. D'une part, le choix du bassin A, un des moins touchés par le phénomène d'érosion, était peu pertinent. Les différences minimales entre traitements l'attestent (8a).

On note néanmoins une diminution du pH de près d'une unité par rapport au tanne originel (ouest et/ou est).

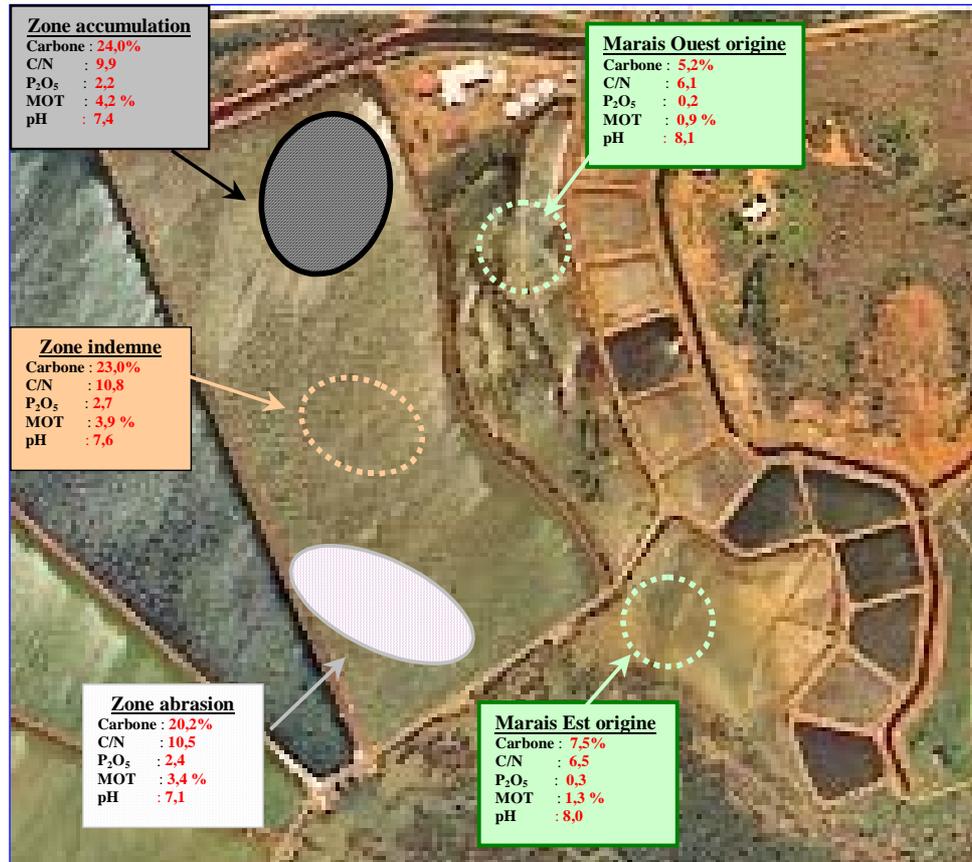


Figure 8a : Evolution de la nature géochimique du sédiment du bassin A suivant les zones d'érosion éolienne

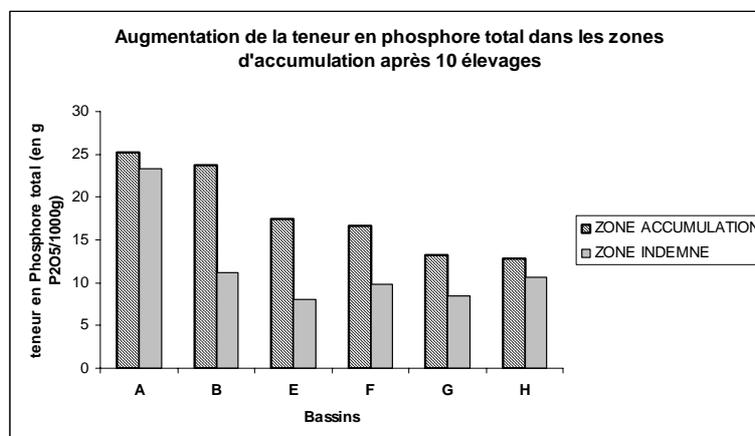


Figure 8b : Augmentation de la teneur en phosphore total dans les zones d'accumulation après 10 élevages

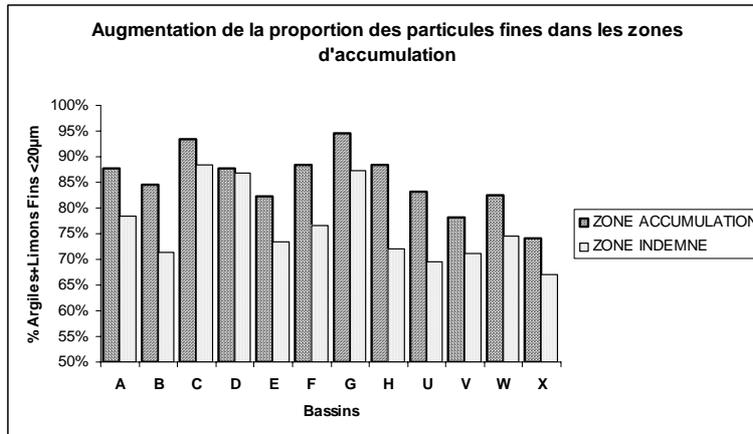


Figure 8c : Augmentation de la proportion en particules fines teneur en phosphore total dans les zones d'accumulation après 10 (A-H) et 15 (U-X) élevages

## 4. Etudes de la gestion zootechnique

### a. Post larves et animaux pré grossis

#### □ Post larves

#### **Relation qualité des post larves-survie finale en grossissement**

Intuitivement, il apparaissait que la qualité des post larves produites en éclosérie avait eu une influence importante sur la production en bassins de terre sur la période 1989 à 1994. Nous avons appréhendé cette « qualité » à travers la survie en nurserie, phase précédant immédiatement l'ensemencement des bassins.

Clifford (1992) établit un lien direct entre « qualité » des post larves et survie finale en bassin de grossissement. Mais dans les conditions d'élevages pratiquées à la SODACAL, il semblait que d'autres facteurs importants pouvaient affecter la survie finale d'élevages intensifs (15-35/m<sup>2</sup>) traversant plusieurs saisons, sur une période de plusieurs mois (8-10 mois) avec des fonds de bassins délétères .

De sorte que nous avons choisi d'illustrer le lien éventuel qu'il y a pu y avoir entre la qualité des post larves *sensu* « survie nurserie » et la survie finale en bassin de grossissement à partir d'ensemencements directs (post larves) à travers l'examen d'autres filières telle que celle des géniteurs ou de pré grossissement.

L'idée étant que si relation il y avait, celle-ci devait être plus étroite sur ces filières « douces » où la zootechnie, la saisonnalité et la dégradation des conditions environnementales jouaient un rôle minime.

Ces filières étaient pratiquées dans les unités qui présentaient les caractéristiques suivantes :

- « géniteurs » : durée moyenne : 4 mois, très faible densité : 1 à 2/m<sup>2</sup>, fonds de bassins favorables (faible charge organique, absence d'érosion éolienne)

- « pré grossissement » : durée très brève : 2 mois, très forte densité : 150-200/m<sup>2</sup>, fonds de bassins favorables (forte charge organique mais assez longs > 6-12 mois, absence d'érosion éolienne).

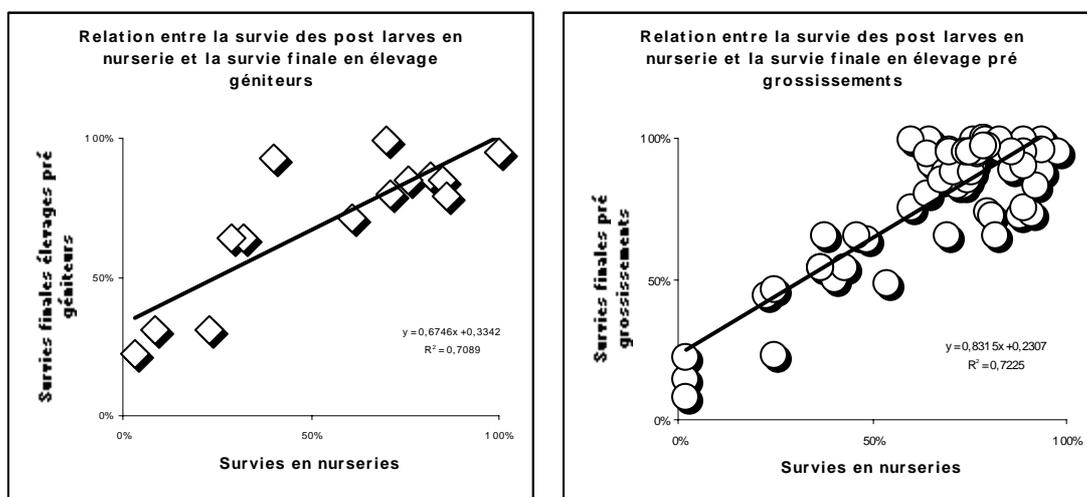


Figure 9 : Relation qualité des post larves (survie en nurserie) et survies dans les bassins

De très bonnes corrélations entre la survie-assimilée à la « qualité » des post larves en nurseries et celle obtenue en élevages extensifs de pré- géniteurs et intensifs courts de juvéniles ont été montrées (Figure 9).

L'écloserie de SODACAL a eu ses plus mauvaises survies en nurseries au cours des années 1991 et 1992 (figure 10). De sorte que, la qualité des post larves produites sur ces deux années a pu avoir une incidence négative sur les survies en bassins de production.

L'effet intrinsèque de la médiocre qualité des post larves a pu être corroborée par l'examen de l'indice de conversion. Il a été vérifié que les valeurs de l'IC obtenues sur les élevages géniteurs et de pré grossissement ensemencés avec des animaux issus de nurseries à faibles survies se sont maintenues dans une gamme normale. Ce qui signifie que la perte d'animaux a eu lieu en phase de démarrage des bassins et qu'elle n'est pas imputable à d'autres facteurs.

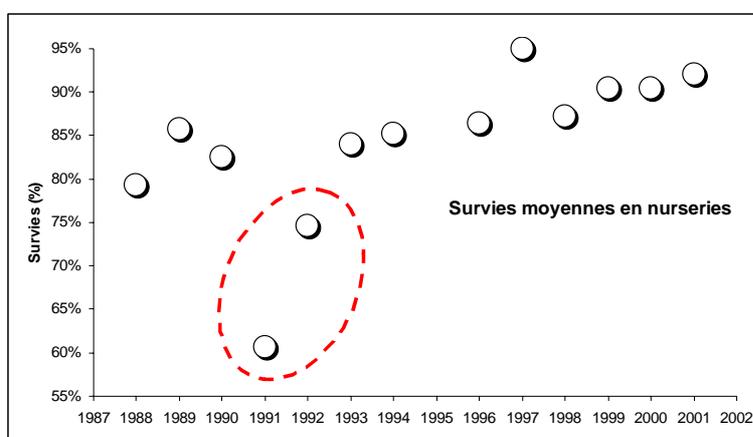


Figure 10 : Evolution des survies en nurseries

## Recul de l'âge des post larves à l'ensemencement

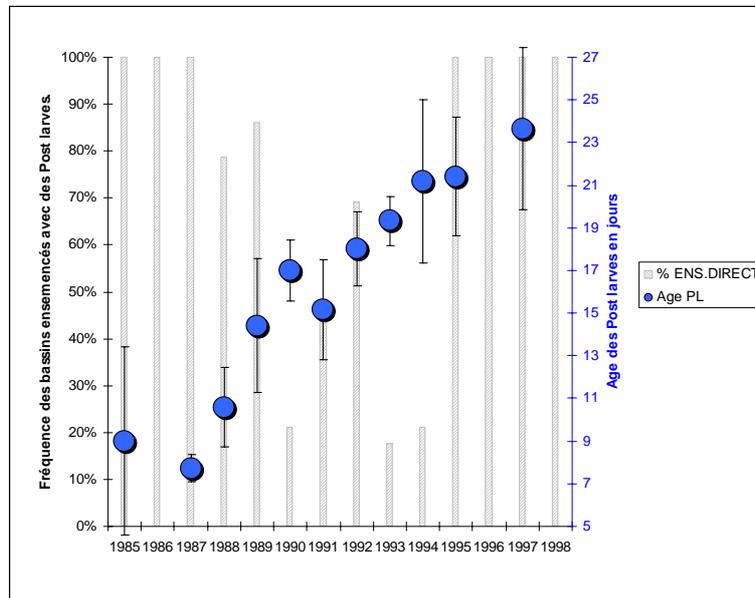


Figure 11: Evolution de l'âge des post larves et de la pratique des grossissements à partir de juvéniles

L'âge des post larves à l'ensemencement a été progressivement retardé de 9 jours (1985) à 23 jours (1998) et s'est stabilisé autour de P<sub>22</sub> après (Figure 11). Cette tendance qui perdure aujourd'hui a pour origine l'idée que des post larves « plus grosses » seraient plus résistantes en bassin et conduiraient à une accélération plus forte de la croissance.

### □ Juvéniles pré grossis

Le recours à la technique de pré grossissement utilisée en Equateur venait de la volonté initiale de raccourcir les durées d'utilisation des grands bassins afin de mieux les préparer (durée assec plus longues), de les « épargner » (moins aliment/surface, eutrophisation retardée), de réduire les densités d'élevages (meilleures survies finales à partir de juvéniles (70%) vs PI (50%) , de mieux appréhender le nombre d'animaux (décompte initial par pesée plus fiable, juvéniles plus résistants que PI.

Si l'idée de départ était séduisante (Bador & Alborno 1992 ; Anonyme 1990), elle a rapidement été dévoyée par souci de rentabilité :

- les densités d'ensemencement de juvéniles ont rapidement été alignées sur celles des ensemencements directs (PI) et ont même augmenté ensuite;
- la proportion des élevages à partir d'animaux pré grossis a pris une ampleur considérable à partir de 1990 à 1994 (figure 11) mais les équipements nécessaires pour assurer une telle logistique n'ont pas pu être achetés ;

- il y a eu intensification des bassins de pré grossissement (100-120 pl/m<sup>2</sup> à l'origine puis 175-200/m<sup>2</sup>) et accroissement du poids des juvéniles récoltés (1 à 1,5 g au départ jusqu'à 6 g par la suite !);
- cette période a coïncidé avec les durées d'assecs les plus courtes;
- les comptages à la pêche des bassins de pré grossissement (1 ha) permettaient effectivement une estimation très précise des juvéniles pêchés. Toutefois après 1991, les mortalités aléatoires mais fortes résultantes du transfert de ces animaux dans le bassin de grossissement (8-11 ha) rendaient très difficile l'évaluation de la survie puis le contrôle de l'alimentation.

## b. Alimentation

Des indices de conversion anormalement élevés ont été obtenus sur la période 1987 à 1996 (figure 12).

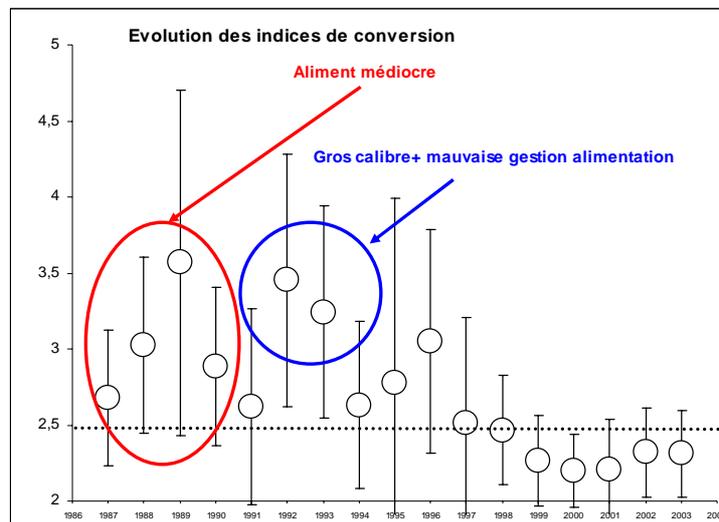
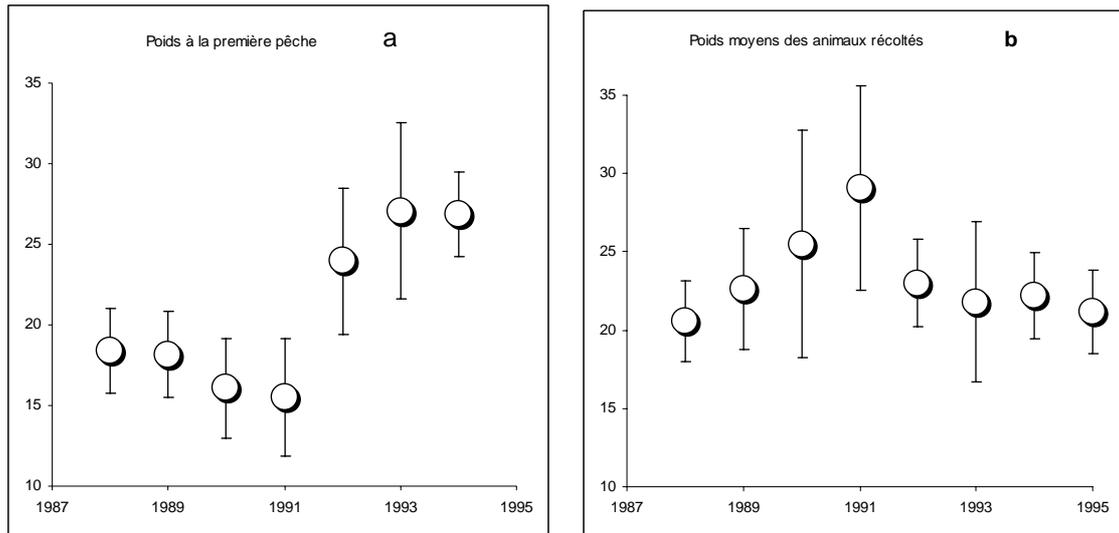


Figure 12 : Evolution des indices de conversion sur 16 ans

Ces fortes valeurs ont plusieurs origines.

- un aliment de qualité médiocre (Anonyme, 1989,1990,1991);
- un mauvais contrôle de l'alimentation des crevettes ;
- La production de gros calibres de crevettes pour l'exportation et ses corollaires à savoir des élevages plus longs (poids des animaux à la première pêche et poids moyens récoltés plus élevés (Figure 13));
- L'augmentation des densités (selon la relation densité-conversion établie par Tacon,1993) et l'inadéquation du choix des densités saisonnières ;



**Figure 13 :**

**a :** Evolution des poids moyens à la première pêche (moyenne des poids moyens non pondérée par la quantité pêchée) :

**b :** Evolution des poids moyens récoltés (moyenne pondérée par la quantité pêchée)

N.B : L'incohérence « apparente » des valeurs des poids à la première pêche et poids finaux est liée au mode de calcul et au fait que tous les bassins ne sont pas pêchés intégralement dans une année calendaire.

### c. Renouvellement

#### Capacité de pompage

En 1987, la station de pompage était équipée de 6 pompes immergées de 2500 m<sup>3</sup>/H représentant une capacité de 25-30% du renouvellement journalier de l'ensemble de la ferme.

De 1988 à 1994, la ferme a connu des problèmes récurrents de capacité insuffisante de pompage liés à un défaut initial de génie civil de la station. En prenant en compte les coûts de réparation, de reconditionnement, d'expertise et finalement d'achat de nouvelles pompes, 275% du montant de l'investissement initial a dû être réinjecté pour pallier ce défaut. Ce qui a permis de conserver une capacité de pompage suffisante bien que limitée jusqu'en 1994.

De 1995 à 1996, la ferme en proie à des problèmes financiers n'a pas pu réinvestir sur ce poste et ne pouvait plus alimenter en même temps tous les bassins. Par manque d'oxygène, plusieurs tonnes de crevettes ont été perdues à cette époque (Bassin H notamment).

En fin 1996, les nouveaux propriétaires ont acheté 4 pompes neuves rendant l'outil opérationnel pour les biomasses obtenues à cette période.

#### Calcul du pourcentage de renouvellement d'eau dans les bassins

Le calcul des débits se faisait en routine par mesure au niveau des planches des moines d'entrée, de la hauteur de la lame d'eau. Le pompage était calculé d'après une formule fournie par un hydraulicien de l'IRD. La validité de celle-ci a été confirmée par Coatanea (1990).

## Ajustement du pompage en cours d'élevage

Avant 1993, les renouvellements étaient ajustés en fonction du mois d'élevage indépendamment de la biomasse suivant le protocole empirique établi par la SASV (mois 1 : 0%, mois 2 : 5%, mois 3 : 10% *etc...*). Celui-ci avait été construit sur la base d'élevages à densité de l'ordre de 15/m<sup>2</sup> présentant une vitesse de croissance moyenne.

La formule de Clifford (1992) n'a été employée qu'après cette date:

Renouvellement ( % .jour<sup>-1</sup>) = biomasse (g .m<sup>-2</sup>) . 10<sup>-1</sup> + K (facteur d'ajustement ~ T°C, Densité)

On note que jusqu'en 1993, les renouvellements nécessaires *sensu* Clifford (1992) étaient largement sous estimés jusqu'à la première pêche partielle vers 100-120 jours. Ils ont donc pu être limitants sur certains élevages (figure 14a).

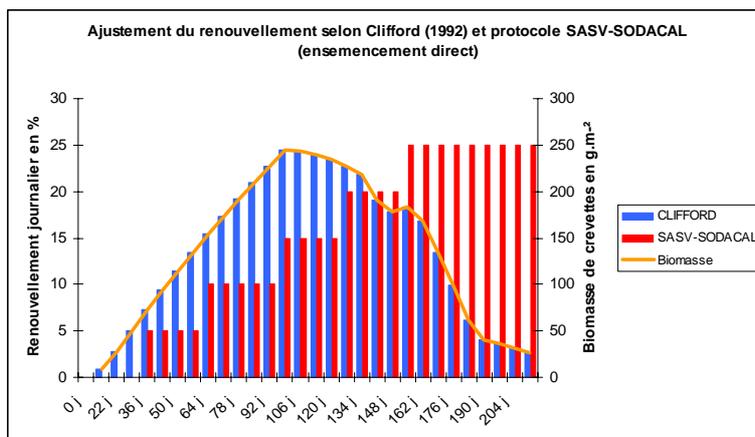


Figure 14a : Comparaison des différentes formules d'ajustement du renouvellement pour des élevages ensemencés en direct

L'écart était encore plus important pour des élevages ensemencés à partir d'animaux pré grossis de 2 g (figure 14b). Après les premières pêches partielles la tendance était au contraire à un excès de pompage.

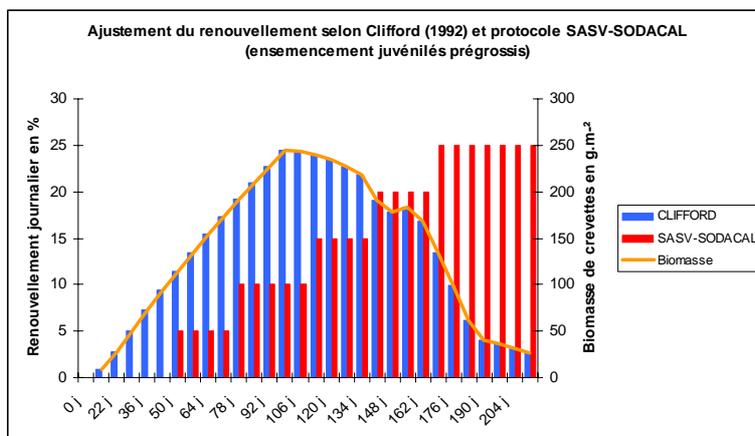


Figure 14b : Comparaison des différentes formules d'ajustement du renouvellement pour des élevages ensemencés avec des juvéniles de 2 g

## Perte de charge-sous dimensionnement du canal d'amenée

Liés à une pente et à un volume insuffisants du canal d'amenée d'eau, de faibles débits étaient observés aux moines d'entrée des bassins les plus éloignés de la station de pompage. Toutefois, aucune corrélation ( $r=0,0074$ ) n'a été établie entre la distance du point de pompage et le différentiel de survie des bassins, calculé sur la période 1987 à 1996 (Figure 15). *A contrario*, les élevages réalisés dans les zones les plus distantes (groupe des pré grossissements et bassin X du lobe sud) ont donné en moyenne les meilleurs résultats.

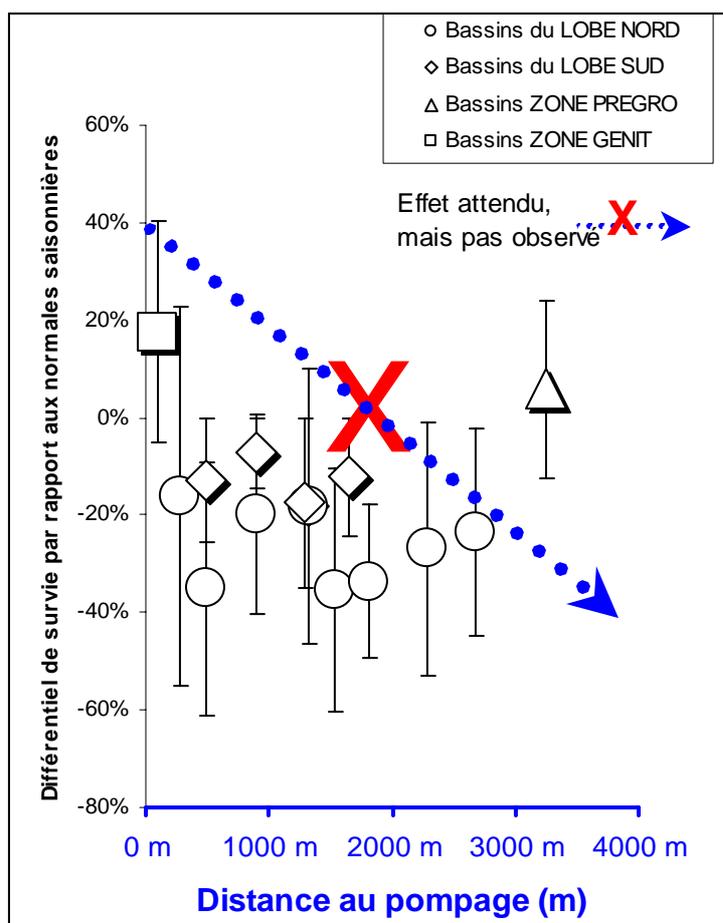


Figure 15 : Relation entre la distance au point de pompage et le différentiel de survie par bassin (Lobes) ou groupes de bassins (prégro, géniteurs) sur la période 1987 à 1996

### d. Croissance

L'évolution de la vitesse de croissance avec le temps a été étudiée sur des élevages menés à SODACAL à la même saison (saison chaude) et ayant conduit à de très bonnes survies (période 1992-1996 exclue de fait : les faibles densités pouvant biaiser le résultat).

La durée pour atteindre le poids de 18 g à partir d'ensemencements de post larves a été retenue comme critère de la vitesse de croissance. Ce poids de 18 g correspond à celui à la

première pêche partielle où la biomasse n'a pas encore été diminuée. Au-delà, les comparaisons sont généralement faussées en raison des réductions de biomasses. On constate que la durée pour atteindre 18 g est passée de 160 jours à environ 110 jours. La vitesse de croissance a progressé de 45% en dix ans à la SODACAL (Figure 16).

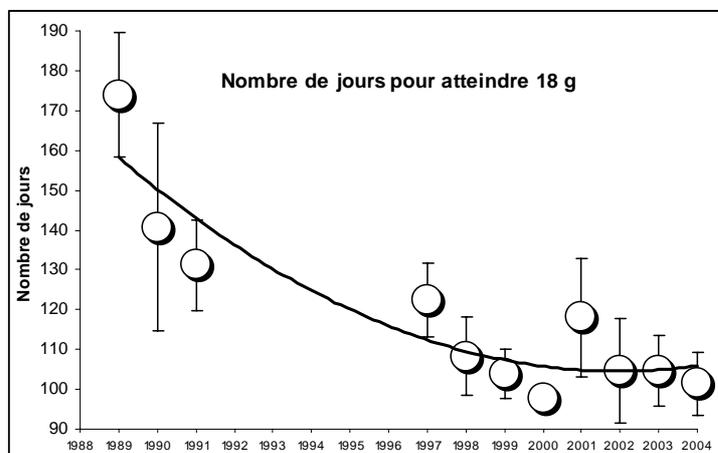


Figure 16 : Evolution du nombre de jours pour atteindre le poids de 18 g (bassins ensemencés en septembre-novembre (densité  $19,3 \pm 1,6 /m^2$ , survie  $58,9 \pm 11,6 \%$ ))

Cette *augmentation de la vitesse de croissance* est à mettre en relation avec la qualité de l'aliment dont la formulation n'a cessé d'être amendée. Mais, la cause la plus probable est l'amélioration de la pratique zootechnique (ajustement optimum des rations à la consommation des animaux).

N.B : Le manque de données entre 1992 et 1996 est lié à l'absence d'élevages de saison chaude ensemencés en direct ayant donnés de bonnes survies.

## e. Evolution des survies

### □ Saisonnalité des survies et notion de « différentiel de survie »

L'analyse des résultats de la filière crevetticole calédonienne sur 17 ans confirme que les survies finales obtenues en bassins dépendent du mois d'ensemencement.

Cette saisonnalité-dépendance est en fait la résultante extrêmement complexe de nombreux paramètres avant et après introduction des animaux (figure 24)

Malgré cette complexité de facteurs, les survies obtenues sur les périodes 1987-1994 (pré-syndrome 93) et 1995-2003 montrent des profils saisonniers similaires. Les survies les plus faibles correspondent aux mois d'ensemencement de mars à juin. Les plus fortes coïncident avec les mois de septembre à janvier (figure 17).

Il apparaît que les mois « critiques » de mars à juin coïncidaient avec des survies nettement meilleures (près de 45%) sur la période pré syndrome 93 que sur la période 1995 à 2003 (de l'ordre de 30%) justifiant le choix des éleveurs de ne plus ensemenecer à ces périodes (pour sortir de cette crise).

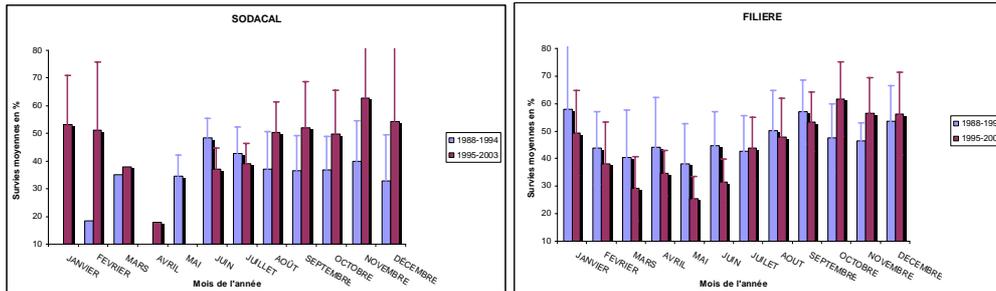


Figure 17 : Caractère saisonnier des survies en bassins (filière et SODACAL)

Compte tenu du caractère saisonnier du paramètre survie, l'analyse des résultats fait intervenir la notion de différentiel de survie. Une valeur de survie n'a de sens que si elle est rapportée à une moyenne mensuelle

Ainsi, à titre d'exemple, **51%** de survie peut traduire une **très bonne performance** pour un ensemencement de **mai** (moyenne 25% ; différentiel : **+ 26%**).

Mais, il peut signifier un **résultat médiocre** pour un ensemencement de **octobre** (moyenne 65% ; différentiel : **- 14%**).

Le différentiel de survie, exprimé en pourcentage, a été calculé par rapport aux moyennes inter-fermes FILIERE (SODACAL exclue et les résultats expérimentaux de la SASV inclus) et interannuelles.

L'analyse des survies de la SODACAL de 1988 à 2002 a été faite à l'aide de ce critère. Elle montre que la période 1991 à 1997 est caractérisée par des survies anormalement basses. Les périodes 1988 à 1990 et 1998 à 2002 correspondent à des années *normales* (figure 18).

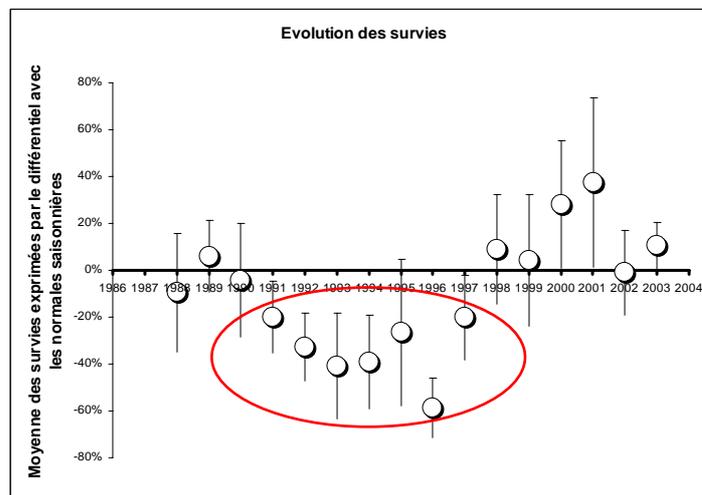


Figure 18: Evolution annuelle des différentiels de survies de la SODACAL

## □ L'année 1993

Après avoir connu une période de sécheresse de 7 mois, de fortes pluies se sont abattues en février-mars 1993 (figure 4b). Cette perturbation a fait chuter rapidement la salinité qui se maintenait à des valeurs anormalement élevées depuis un semestre. Les pluies de mars ont provoqué un refroidissement important de l'eau des bassins et ont accéléré et amplifié la baisse « saisonnière » des températures qui caractérise l'entrée en automne à la mi-avril. De fortes mortalités s'en sont suivies attestées par les survies finales médiocres enregistrées sur les élevages ayant traversé ces conditions environnementales défavorables au moment où ils supportaient de fortes biomasses de crevettes.

Le tableau 1 suivant indique l'impact du phénomène sur les survies finales de 5 bassins de la SODACAL ensemencés à la même densité et à la même période. Le bassin n°5 récolté en grande partie avant la perturbation climatique a subi un impact plus faible.

Tableau 1 : Caractéristiques des bassins

Bassins	Dateensem.	Date fin	Densité (Nb.m <sup>-2</sup> )	Survie (%)
1	15 sept.92	02 juin 93	22,2	32,4
2	15 sept.92	23 juin 93	21,5	24,9
3	22 sep.92	20 mai 93	21,0	28,2
4	23 sep.92	27 avr.93	21,0	31,7
5	22 sep.92	24 mar. 93	20,5	45,8

## □ Différences de survies entre bassins de production, de pré géniteurs et de pré grossissement

Suite à une suspicion d'une forte implication de l'état des fonds des grands bassins de production (8-11 ha) dans les mauvaises performances enregistrées, des élevages ont été entrepris dans les autres bassins épisodiquement disponibles : les bassins utilisés pour les filières « géniteurs » (3000m<sup>2</sup>) et « pré grossissement » (1 à 4 ha) dès 1993.

Ces unités ne présentaient pas de fond dégradé par l'érosion éolienne. Leur historique (pratiques zootechniques douces), très différent de celui des bassins de production, leur conférait un potentiel environnemental *intuitivement* plus favorable (Tableau 2). Ces essais menés à des densités de 20-22/m<sup>2</sup> se faisaient aléatoirement mais le plus fréquemment possible en fonction du planning serré de leur utilisation dans un outil de production peu adapté à des expérimentations.

Entre 1993 et 1996, les survies finales obtenues sur les élevages semi intensifs réalisés dans les unités de géniteurs (0,3 ha) et de pré grossissement (1- 4ha) étaient *normales* quelque soit le mois d'ensemencement alors qu'elles étaient *anormalement* faibles pour ceux achevés en bassins de production (8-11 ha).

En revanche, sur la période 1997 à 2003, les élevages menés sur les différents bassins (grossissement, géniteurs et pré grossissement) conduisaient à des survies finales « normales » (figure 19).

Tableau 2 : Caractéristiques moyennes des différents types d'élevage

Bassins	Surface (Ha)	Densité (Nb/m <sup>2</sup> )	Durée (jours)	Biomasse Max.(g/m <sup>2</sup> )	Aliment (g/m <sup>2</sup> )	A sec (jours)	Renouvel. (%/jour)
Grossissement	8-11	18-35	300	325	800	45	15
Géniteurs	0,3	1-2	120	30	65	15	15
Pré grossissement	1-4	150-175	70	200	300	180	10

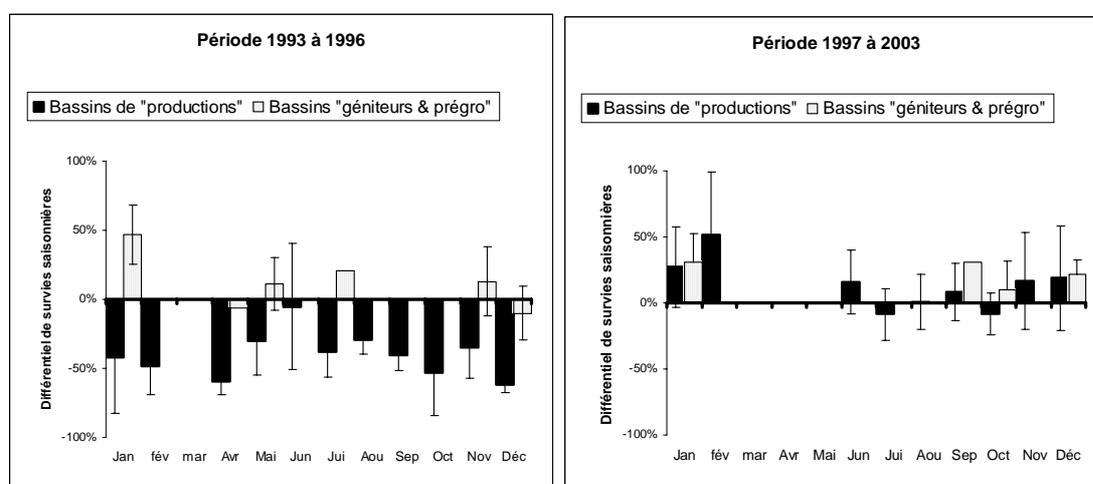


Figure 19 : Comparaison des survies obtenues sur les élevages de grossissement réalisés en bassins de productions (8-11 ha) et ceux effectués en bassins utilisés traditionnellement dans les filières « géniteurs » (0,3 ha) et de « pré grossissement » (1,0 ha) sur deux périodes (1993-1996) et (1997-2003)

#### □ Différence de survie entre bassins de production de différentes zones de la ferme

Les élevages réalisés dans différentes zones de la ferme conduisaient à des survies très variables (période 1987 à 1995). On ne peut donc pas imputer ces différences à la qualité et à la quantité d'eau arrivant aux différents bassins.

Les bassins U,V et X(lobe sud de SODACAL) bien qu'ayant connu un nombre plus élevé de cycles (+ 7), ont conduit sur la période considérée à des survies significativement meilleures que les 8 bassins A à H (figure 20).La différence pour le bassin W n'est pas aussi nette.

Le lobe sud présente des caractéristiques particulières :

- un faciès sédimentaire initial très différent de la partie nord du site (zone A à H) selon Baltzer (1965) ;
- des reliefs élevés qui offrent une certaine protection aux alizés ;

- Une orientation des courants d'eau d'entrée des bassins et un rapport longueur-largeur de ceux-ci qui limitent l'effet du contre courant de fond compensatoire (accumulation diffuse).

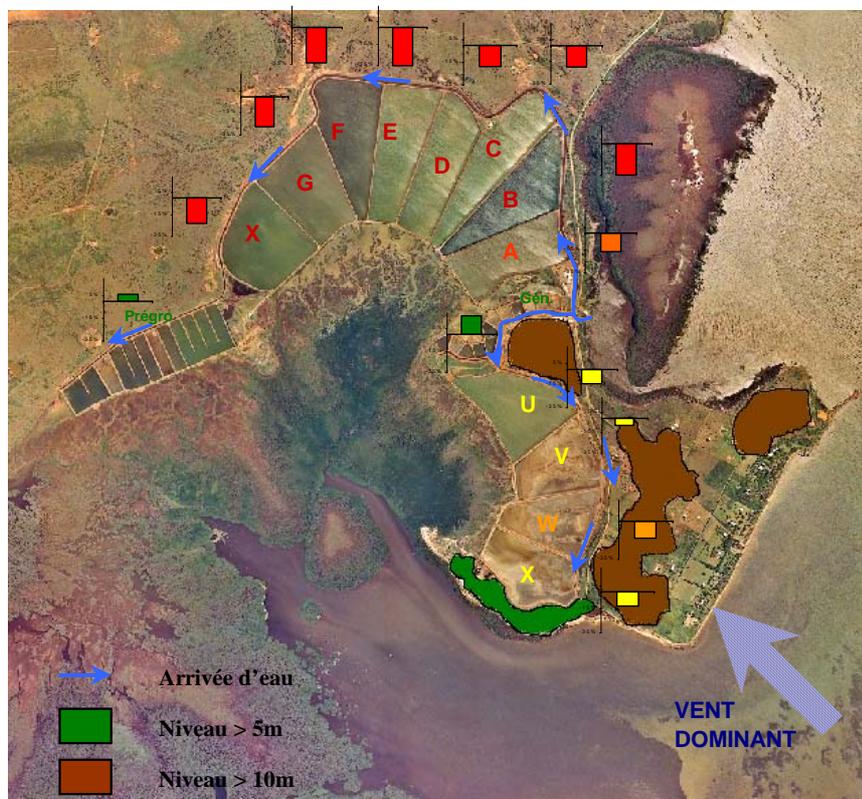


Figure 20 : Différentiel de survies des bassins de la SODACAL (1987 à 1995). La couleur variant du vert au rouge indique que l'on passe de valeurs positives à des valeurs de plus en plus négatives.

### □ Relation survie-densité

Il y a eu un accroissement progressif des densités d'élevages que ce soit à partir de post larves (« ensemencements directs ») ou de juvéniles pré grossis sur la période 1984 à 1994 (figure 21). Les densités calquées à l'origine sur celles des élevages équatoriens de *L. vannamei* (5-12/m<sup>2</sup>) ont été accrues jusqu'à 25-30/m<sup>2</sup>.

La corrélation *attendue* entre la survie et la densité a été mise en évidence pour les élevages de la SODACAL. Mais cette relation n'est pas aussi étroite ( $r^2$  faibles) que l'on pouvait s'y attendre (figure 22). La corrélation est meilleure pour les années 1997-2003 que pour la période 1987-1996. Cela amène deux réflexions :

- lorsque les conditions sont extrêmement défavorables, la diminution de la densité n'est pas suffisante pour apporter un gain de « survie » ;
- cette relation varie suivant la gamme des densités choisies et des moyens zootechniques nécessaires.

Pendant la seconde période (1997-2003), les densités sont relativement standardisées dans la gamme 15-25/m<sup>2</sup> et les survies sont nettement meilleures (figure 22).

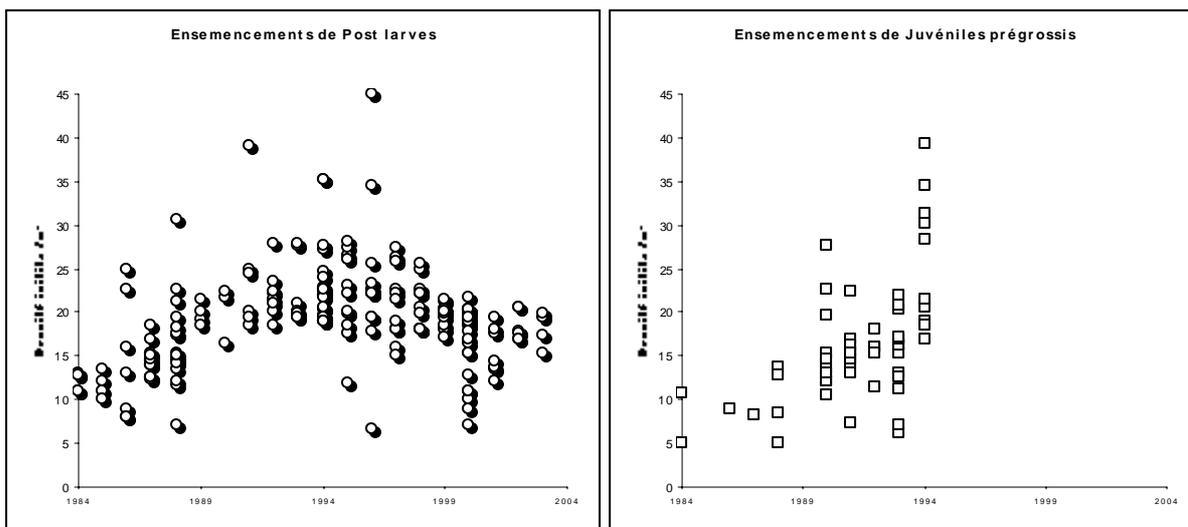


Figure 21 : Evolution des densités des ensemencements direct et pré grossis

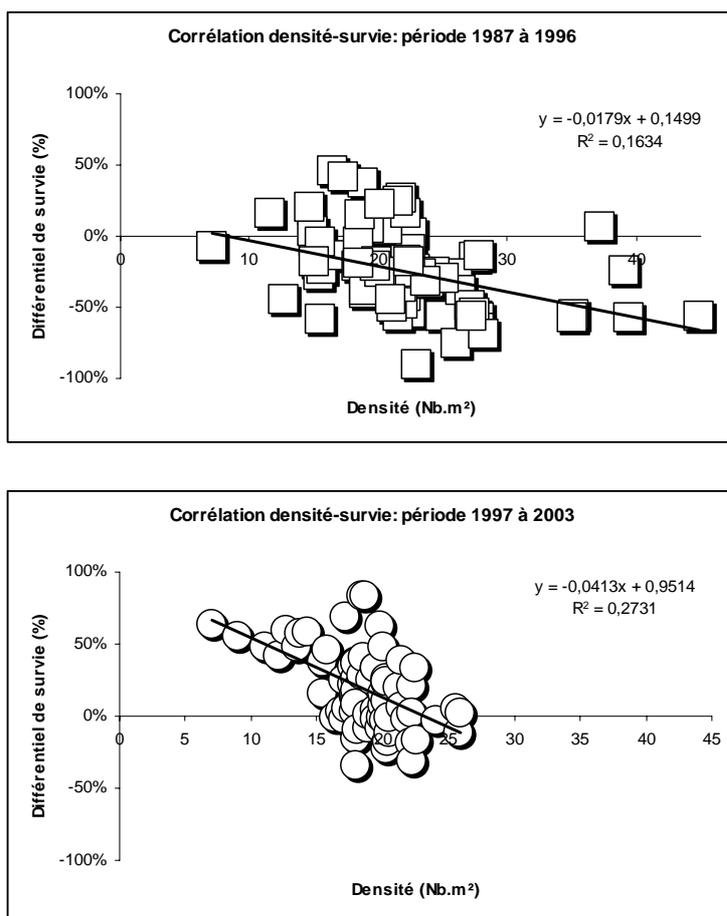


Figure 22 : Relation densité-survie

## f. Préparation des bassins

### Durée des « assecs »

Pour assurer une rotation plus rapide des bassins et accroître la production, la ferme a réduit les durées des « assecs » sur la période 1990 à 1994.

Sur les quatre années suivantes, involontairement suite à des problèmes financiers de 1995 à 1996 et volontairement en vue d'une action supposée assainissante de 1997 à 1998, les bassins ont été mis en repos.

La période de mauvaise préparation des bassins de 1990 à 1995 précède la baisse de production enregistrée de 1992 à 1997 (effet retard de deux ans ; [figure 23](#)).

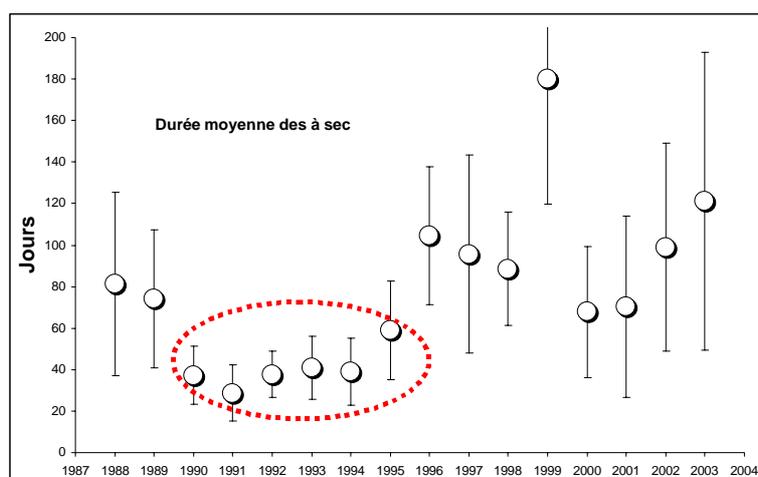


Figure 23 : Evolution des durées moyennes des « assecs »

### Travail du sol :

Du fait de la mauvaise qualité du matériau des digues (mauvais compactage, absence de clé d'ancrage et de noyau d'argile), d'un canal d'alimentation commun à tous les bassins (en permanence en eau), de la dégradation des fonds de bassins par l'effet du vent (accumulation et dépression), du manque de moyen (un tracteur 16 cv/36 bassins-130 ha), la plupart des bassins ne pouvaient pas être correctement asséchés et préparés sur la période 1987 à 1996. De 5 à 25% de la surface des bassins demeurait inondée.

Aucune désinfection des pathogènes ni élimination des compétiteurs par assèchement total n'était envisageable.

Entre 1994 et 1996, suspectant une implication directe de l'eutrophisation produite par les fortes rations, sur les mauvaises survies, des tests de faibles nourrissages ont été entrepris sur la majorité des bassins. Ces essais n'ont pas eu de répercussions « claires » et « immédiates » sur les survies. Mais la très forte activité *bioturbatrice* des crevettes « *a fortiori* affamées » a permis la remise en suspension des sédiments et leur évacuation par le renouvellement. Les résultats ont été spectaculaires sur les bassins G et H qu'une barre de sédiment à proximité des moines de sortie empêchait de vider auparavant et qui a été arasée par « effet mécanique » des crevettes. A partir de 1996-1997, la ferme a loué un engin chenillé et a commencé à racler les accumulations (bassins D, E, F, U, V, W, X)

## Elimination des compétiteurs

Les bassins étant de plus en plus difficiles à assécher, ils abritaient un nombre de plus en plus important de compétiteurs ce qui avait des conséquences sur l'indice de conversion et sur les teneurs en oxygène dissous. De sorte que de 1990 à 1993, il y a eu une utilisation renforcée de roténone et de chlore (centaines de litres dans les flaques résiduelles). Les bassins n'étant pas rincés après ce traitement, il est possible que ces produits aient eu un impact néfaste à l'ensemencement.

## IV. Discussion

### 1. Principaux facteurs ayant conduit au déclin des performances

Il apparaît clairement que la baisse de l'aptitude culturale qui a perduré à SODACAL de 1990 à 1996 a été causée par une succession et/ou une conjonction de facteurs aggravants synthétisée sur la [Figure 24](#).

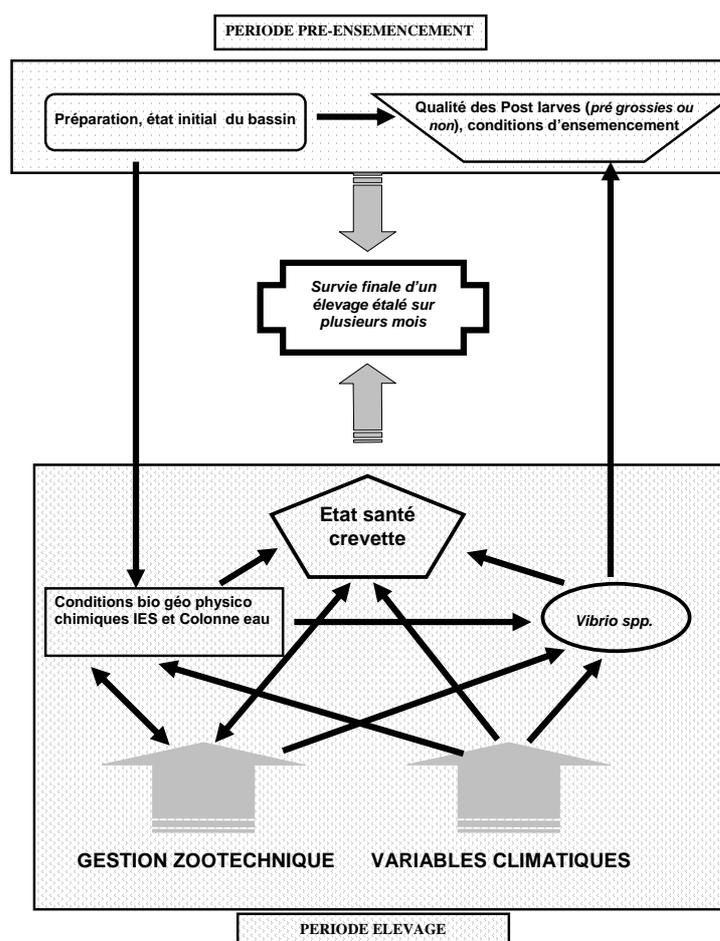


Figure 24 : schéma conceptuel des différents paramètres influençant la survie finale d'un élevage semi intensif durant plusieurs mois.

## a. Facteurs d'ordre climatique

**La conjonction de salinités élevées et de températures basses sur la période 1990-1994 a pu conduire à un affaiblissement des crevettes et/ou à un appauvrissement global de la production naturelle et/ou à l'émergence de la pathogénicité de *Vibrio* (s) jusqu'alors « inoffensifs ». Il est probable que le syndrome 93 existait avant 1993 à SODACAL.**

La Nouvelle-Calédonie présente une franche saisonnalité avec notamment un automne marqué par une baisse des températures rapide, concentrée sur 1 mois (fortes variations avec de grandes amplitudes thermiques journalières). Cette période s'accompagne parfois de fortes chutes de pluies qui accélèrent le refroidissement général. C'est à cette période que les mortalités les plus fortes s'observent.

La Nouvelle-Calédonie a été frappée par une sécheresse sans précédent au début des années 90 sous l'effet d'un phénomène El Niño d'intensité exceptionnelle. Au niveau de la SODACAL la période 1990 à 1994 a été caractérisée par la conjonction de deux phénomènes climatiques « hors normales inter annuelles » une séquence de salinités très élevées (42-43) et un cycle de températures particulièrement basses (figure 4a).

**L'année 1993 a connu un épisode particulier exacerbant les conditions défavorables régnant depuis plusieurs années et surpris l'ensemble des aquaculteurs qui n'avaient pas suffisamment « délesté » les bassins.**

## b. Facteurs d'ordre pédologique

**L'état bio géochimique du fond des grands bassins de la SODACAL a joué un rôle majeur sur les mauvais résultats de la ferme**

Malgré le manque de données chiffrées, le niveau de *dégradation* atteint en 1994 était identifiable à l'œil nu :

- vastes zones d'accumulation et d'abrasion sur plus du tiers de la surface utile;
- sédiment « réduit » sur plusieurs dizaines de cm avec odeur d'œufs pourris indiquant la présence d' H<sub>2</sub>S) et des irisations de « mazout » (CH<sub>4</sub> supposé);
- dépressions si profondes que l'on atteignait les faciès type tourbe semi-liquides décrits par Baltzer (1965) comme très acides ;

Les monticules étaient caractérisés par un faciès de « flan » noir surmonté d'un épais tapis vert à algues typiques de milieu réduit *Oscillatoria spp.*, *Anabaena spp.* et *Spyrogyra spp.* Ces « foyers » étaient certainement à l'origine des épisodes suivants :

- milliers de poissons moribonds au bord des digues sous le vent (comportement de fuite à des émanations de gaz toxiques);
- amas flottants de cyanobactéries (*Oscillatoria spp.*) attachés à du sédiment réduit en cours d'élevage (conditions benthiques anaérobies).

Le phénomène s'est aggravé sur une période couvrant 1990 à 1996 car l'activité bactérienne de dégradation de la matière organique ne pouvait se faire de manière optimale pour de multiples raisons (Boyd, 1992). Faute d'oxygène, elle était réduite dans les vastes flaques ( [O<sub>2</sub>]= 0,0005% dans l'eau et 21% dans l'air) et limitée aux premiers millimètres de la surface des polygones de dessiccation (non labourés) qui représentaient également une aire très importante. Le phénomène d'accroissement du pourcentage des particules fines réduisait la pénétration de l'oxygène dans la zone d'accumulation.

La matière organique qui s'enfouissait de plus en plus profondément dans les zones d'accumulation devenait conséquemment plus réfractaire à l'activité microbienne. Cette minéralisation était également freinée par les pH acides des zones d'abrasion.

La relation entre état du fonds défavorable et mauvaises survies en élevages est validée par les trois observations suivantes:

- les résultats zootechniques « normaux » obtenus sur les élevages semi-intensifs menés à partir de 1993 sur les bassins géniteurs et pré grossissements indemnes des phénomènes d'érosion et d'eutrophisation alors que sur la même période (1993-1996), les « grands bassins avaient une capacité de production « anormalement » faible *sensu* différentiel de survies ;
- le retour à des performances similaires à celles réalisées sur les « petits » bassins pour les « grands » bassins après la remise en état de leurs fonds et une succession d'assecs très longs après 1996 indiquant que les « petits » bassins ne sont pas intrinsèquement meilleurs ;
- les bassins U,V,W et X, « visiblement » les moins touchés par l'érosion éolienne (forme des bassins, orientation des courants d'eau d'entrée, abrités par relief ) et/ou à caractéristiques sédimentaires plus favorables présentaient des paramètres zootechniques significativement meilleurs que les autres unités sur la période 1991 à 1996.

La quantité et la qualité de matière organique sédimentaire contrôlent le taux de dégradation de la matière organique, les taux de renouvellement et l'utilisation par les bactéries (Manini *et al.*, 2003). Les nombreuses études réalisées par Mazzola *et al.* (1999 et 2000), confirment que la composition biochimique d'un sédiment (Danovaro *et al.*, 1998 et 1999) attestée par les teneurs en glucides, lipides et protéines de celle-ci, *sensu* Fichez (1991), évolue en fonction des apports d'aliment au cheptel (La Rosa *et al.*, 2000). Elles ont des conséquences « néfastes » sur le fonctionnement de la boucle microbienne (Mirto *et al.*, 2000 ; ) et les peuplements de la méiofaune dont se nourrit la crevette (Mirto *et al.*, 2002) .

Il apparaît donc que la composition des sédiments à SODACAL n'a pas été suffisamment approfondie. Les analyses rapportées au § 2b et par Lemonnier & Brizard (1998 et 2000) n'apportent pas d'éclairage suffisant sur l'évolution de la nature biochimique de la matière organique et de ses conséquences (Dell'arno *et al.*, 2002).

### c. Facteurs d'ordre pathologique

**Les conditions environnementales au niveau de l'interface-eau-sédiment auraient contribué à l'affaiblissement de la crevette et/ou favorisé l'émergence de *V. penaeicida*.**

## Apparition du syndrome d'hiver :

Le syndrome 93 désignant des épisodes de mortalités en automne à *V. penaeicida*, a été dénommé ainsi du fait de la baisse globale de la production calédonienne cette année là. En fait, l'apparition de tels phénomènes était signalée à SODACAL dès 1990 sur les bassins de pré grossissement.

En l'absence d'analyse bactériologique, on ne peut affirmer aujourd'hui que les crevettes moribondes étaient affectées par un pathogène. Mais, la saisonnalité marquée (avril-mai-juin), l'intensité des épisodes de mortalités, le comportement de nage et la couleur des animaux moribonds laissent supposer qu'il s'agissait déjà de maladies provoquées par *V. penaeicida*.

## Conditions d'expression (et de non expression !) de la maladie :

Les bassins étaient alimentés par un canal unique dont le niveau était sensiblement le même que celui des bassins. En cas d'arrêt du pompage, l'eau contenue dans les bassins de production pouvait se déverser par les ouvrages d'entrée dans le canal d'alimentation jusqu'à l'équilibre des deux masses d'eau. De sorte qu'un pathogène apporté par le pompage pouvait se disperser dans tous les bassins et qu'un foyer infectieux pouvait se propager au bassin voisin. Par ailleurs, le canal était toujours en eau. Enfin, la forte prédation aviaire offrait des possibilités de contamination inter bassins illustrées par les innombrables fientes observées au fond des bassins et sur les digues.

Mais les bassins des géniteurs qui étaient situés au milieu de la ferme et surtout les unités de pré grossissements positionnées en fin de canal étaient épargnés par les fortes mortalités. Il est donc fortement probable que les mortalités étaient induites par les conditions environnementales défavorables pour la crevette et/ou favorables au développement ou à une virulence accrue du (s) pathogène(s) qui régnaient dans un bassin donné.

## Scénario épidémiologique :

Il est établi que la teneur en matière organique du sédiment d'une ferme aquacole et sa composition biochimique ont une influence majeure sur la structure des communautés bactériennes benthiques (La Rosa *et al.*, 2004). D'autre part, Danovaro *et al.*, (2003) ont démontré le lien qui existait entre eutrophisation et développement viral en milieu marin et resitué le rôle des virus dans la chaîne trophique bactérienne.

L'érosion éolienne a produit des zones d'érosion et d'accumulations, qui pour des raisons économiques n'ont pas été éliminées. Ces zones d'accumulation, qu'il était impossible d'assécher par des assecs (eux-mêmes de durées raccourcies) se sont enrichies au cours du temps en matière organique de plus en plus réfractaire sous l'effet d'une mauvaise gestion d'un aliment de qualité médiocre, mauvaise gestion accentuée par l'encouragement à produire de gros animaux, et donc à avoir des élevages plus longs, des charges et des quantités d'aliments plus importantes en fin d'élevage. Ces deux phénomènes (accumulation sédimentaire et dysfonctionnements de la diagenèse de la matière organique et de la boucle microbienne) ont contribué à créer des foyers « infectieux » favorables au développement des *Vibrio* (et peut-être notamment *V. penaeicida*) et/ou à l'acquisition d'une virulence plus forte et en même temps peu propices au bien-être des animaux (faibles teneurs en oxygène, émissions d'ammonium, de sulfures...)

Parallèlement, l'utilisation accrue de juvéniles, stade plus sensible que les post-larves a augmenté les chances d'infection des individus par *V. penaeicida*. A un degré moindre, le

recul de l'âge des post-larves serait intervenu de façon similaire. Enfin, l'ensemencement des animaux pré-grossis par transfert relativement brutal dans les bassins a contribué au stress des animaux et à leur infection par *V. penaeicida*.

#### **d. Facteurs d'ordre zootechnique**

##### **□ Sources externes au bassin**

#### **L'approvisionnement en post larves et juvéniles :**

##### Rappel :

Il faut noter que sur la période 1987 à 1993, les techniques de productions de géniteurs, d'élevages larvaires et de nurseries étaient en pleine phase de « recherche-développement » et n'avaient pas atteint le degré de fiabilité d'aujourd'hui. La période 1987 à 1991 a vu notamment les essais de différents antibiotiques et antifongiques seuls ou en association, l'utilisation de différentes algues seules ou combinées puis leur substitution par différents types de micro particules, l'élaboration des protocoles de changements d'eau, les expérimentations de filtres biologiques, l'augmentation des densités larvaires, le choix de l'âge de mise en acclimatation extérieure et sa durée (phase nurserie) *etc....* Ce n'est qu'en 1993 que le protocole d'écloserie de *L. stylirostris* a été véritablement standardisé.

De même que les techniques d'élevages en nurseries n'ont été relativement codifiées que vers 1992 (âges à la rentrée et à la pêche. eau chaude/froide, densité, alimentation, *etc...*)

La zootechnie des élevages géniteurs a varié d'un système à deux phases à une seule phase, par le type et la séquence d'alimentation (aliment normal/ aliment « sur protéiné »/aliment frais), avec l'âge d'entrée en maturation et les densités pratiquées.

##### La qualité des post larves :

**La qualité des post larves a pu fortement contribuer aux faibles survies enregistrées dans les bassins de la SODACAL sur les deux années 1991 et 1992.**

L'évaluation de la qualité des post larves qui dépend étroitement de celle des géniteurs (Racotta *et al.*, 2001), a fait l'objet de très nombreux travaux ( Aquacop *et al.*, 1991 ; Briggs, 1992 ; Cavalli *et al.*, 2001 ; Cochard, 1994 ; Hernandez-Herrera *et al.*, 2001 ; Samocha *et al.*, 1999 ; Santacruz, 2001) mais n'a jamais été véritablement standardisée, du moins en Nouvelle-Calédonie.

##### L'âge des post larves et des juvéniles:

##### **Post larves**

**A partir de 1989, la probabilité que les post larves produites en nurseries soient infectées par *Vibrio penaeicida* n'a cessé de croître avec le report d'âge à l'ensemencement .**

L'âge des post larves à l'ensemencement a été reculé année après année, de P 5 jusqu'à P 25. Or, il a été démontré que l'acquisition de la sensibilité à *V. penaeicida* est dépendante de l'âge-développement larvaire des animaux. Elle augmente exponentiellement à partir de PL<sub>9</sub> (Goarant *et al.*, 1998). De sorte qu'à concentration égale de *Vibrio penaeicida* dans le milieu à un moment donné, une post larve « âgée » présente un facteur de risque d'infection plus grand qu'une post larve « plus jeune ».

### **Juvéniles prégrossis (0.8 à 6 g)**

**La pratique consistant à utiliser des animaux pré grossis à la place de post larves a augmenté considérablement les risques d'infection du cheptel à la SODACAL.**

Goarant *et al.*, (1998) ont pu montrer que le taux de survie des juvéniles de 2,5 g, en fait des post larves âgées de 60 jours, soumis à une infection expérimentale à *V. penaeicida* chutait à moins de 20% pour 85% de survie pour PL<sub>4</sub> à PL<sub>9</sub>. De sorte qu'à concentration égale de *Vibrio penaeicida* dans le milieu à un moment donné, un juvénile de deux grammes présente un facteur de risque d'infection plus grand qu'une post larve « plus jeune ».

Induction de vibrioses à *V. penaeicida* par stress de transfert « syndrome 93 induit » :

**Les transferts d'animaux pré grossis destinés à l'ensemencement des bassins de production de plus en plus pratiqués de 1990 à 1992 ont pu fortement contribuer à la baisse de capacité de production de ces années.**

Rappel :

Le grossissement d'animaux pré grossis comporte deux phases. Un élevage de post larves à très forte densité (100 à 250/m<sup>2</sup>) sans aération dans une enceinte de terre de surface égale au 1/10<sup>e</sup> du bassin récipiendaire. La collecte au bout de 2 à 4 mois de juvéniles (mini > 1 g) s'effectue par pêche au filet. Les animaux sont comptés par pesée humide. Leur transfert s'opère par citerne mobile aérée (~50 kg/m<sup>3</sup>) au bassin de grossissement distant de un à plusieurs km. Les crevettes sont déversées directement dans le bassin de grossissement sans acclimatation par ouverture de la vanne de la cuve.

Il a été montré par Goarant *et al.* (2003a&b) que le fait de transférer des crevettes juvéniles en automne induisait des mortalités par vibrioses, baptisées « Syndrome 93 induit » et que le phénomène pouvait être minimisé par administration d'antibiotiques. Parallèlement, Wabete *et al.*, 2005 (communication personnelle) ont montré qu'un stress de transfert de géniteurs, à cette même période, induisait des mortalités qui pouvaient être réduites en améliorant le confort physiologique des animaux.

Il est donc fort probable que les conditions de transfert de juvéniles pré grossis ait pu accentuer les chances d'infection de ceux-ci par *V. penaeicida* au moment de l'ensemencement.

## La qualité de l'aliment

**La grande variabilité des formulations et une tenue à l'eau médiocre ont nui à l'efficacité de la conversion de l'aliment sur la période 1988 à 1990 dans une majorité des élevages**

SODACAL a pâti des problèmes de capacité de production de l'unique provendier de l'époque dont l'outil n'était pas dimensionné pour fournir une grande ferme aquacole (Della Patrona, 1990, 1991, 1992, Rapports activité GIE RA, 1988,1989,1990,1991). Par ailleurs, un « premix » périmé a été utilisé pour formuler du granulé en 1991.

### □ Facteurs inhérents à la gestion zootechnique du bassin

#### La mauvaise gestion de l'alimentation :

**Le mauvais ajustement de l'alimentation aux besoins des crevettes et la pratique d'un jeûne le week-end ont fortement pénalisé la gestion de l'alimentation du cheptel et ont conduit à l'obtention de forts indices de conversion, des vitesses de croissance faibles, des conditions environnementales déstabilisantes pour la crevette.**

Les mauvais indices de conversion sont liés essentiellement à un mauvais contrôle de l'alimentation :

- mauvais retour d'information sur la consommation sur mangeoires par le personnel mal formé et démotivé;
- ajustement de l'alimentation des crevettes par observation sur mangeoires non standardisé (dose, heure de relevé, rang de la ration, température, teneur en oxygène dissous) ;
- estimation ardue de la survie initiale dans les bassins lié à la pratique des ensemencements à partir d'animaux pré grossis à fortes mortalités initiales (1988-1994), à des post larves de qualité médiocre (1991 et 1992) ;
- appréciation approximative de la biomasse en cours d'élevage par manque de suivi rigoureux des échantillonnages à l'épervier « méthode d'évaluation indirecte de De Lury » (Daget, 1971);
- jeûne le week-end ;

L'instauration d'un jeûne le week-end a été mise en place dès 1988 d'une part pour effectuer des économies de personnel et d'autre part par les difficultés de faire venir le personnel le samedi et le dimanche. Elle n'a été arrêtée qu'en fin 1996. Cette dernière pratique a eu des répercussions largement ignorées sur l'enrichissement organique du sédiment comme on le montre ci-dessous :

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 4375 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 « sur-nourri » 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 (moisiss) 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 dû 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 « sous-nourri » de 12% sur la semaine (3854 kg vs 4375 kg). La croissance sera faible. Les animaux seront affaiblis.

#### Conséquence de l'instauration d'un jeûne

- Propension « psychologique » de tout éleveur au sur-nourrisage

Un éleveur souhaite obtenir « rapidement » et maintenir tout au long de l'élevage une vitesse de croissance maximale (0,200-0,250 g/j). Quelles que soient les causes réelles d'un ralentissement de croissance (sous nutrition effective, mais plus souvent taux faible d'oxygène dissous, conditions environnementales stressantes) il fera fonctionner le « levier-taux de nutrition » pour y parvenir. De sorte que cette « tendance naturelle » contribue à un « gaspillage » d'aliment dans le bassin.

Ce « penchant pour la vitesse » est illustré dans la **figure 25** par l'évolution annuelle de la ration donnée à 18 g et de la durée correspondante pour les atteindre sur une ferme familiale qui ensemence chaque année à la même période et à la même densité. On note que cet aquaculteur pourtant « très expérimenté » est dans une dynamique d'accroissement constant des quantités d'aliment. La distribution journalière actuelle de granulé dépasse de 20 à 25% (70-75 Kg.ha<sup>-1</sup>.jour<sup>-1</sup>), la ration optimale qui semble correspondre à 60 Kg.ha<sup>-1</sup>.jour<sup>-1</sup> sur ce site à la période considérée (~100 jours= durée pour atteindre 18 g).

#### **L'augmentation des densités**

**L'augmentation des densités d'ensemencements directs et après pré grossissements sans se doter du potentiel d'aération et de renouvellement adéquat -et ce en dépit des contraintes saisonnières- a constitué un facteur aggravant les conditions environnementales des bassins.**

Ce n'est pas tant l'augmentation des densités en elle-même qui a pu conduire à de mauvaises survies en bassins puisque les fermes intensives de l'époque obtenaient de bons résultats.

C'est en fait le manque des structures nécessaires à l'élevage des animaux à de telles concentrations, à savoir des capacités d'aération (pour relever le taux d'oxygène) et de renouvellement (pour « diluer » les eaux plus chargées des bassins recevant des quantités

d'aliment très importantes et « casser la stratification » de la colonne d'eau, Avnimelech, 2005) qui est à mettre en cause.

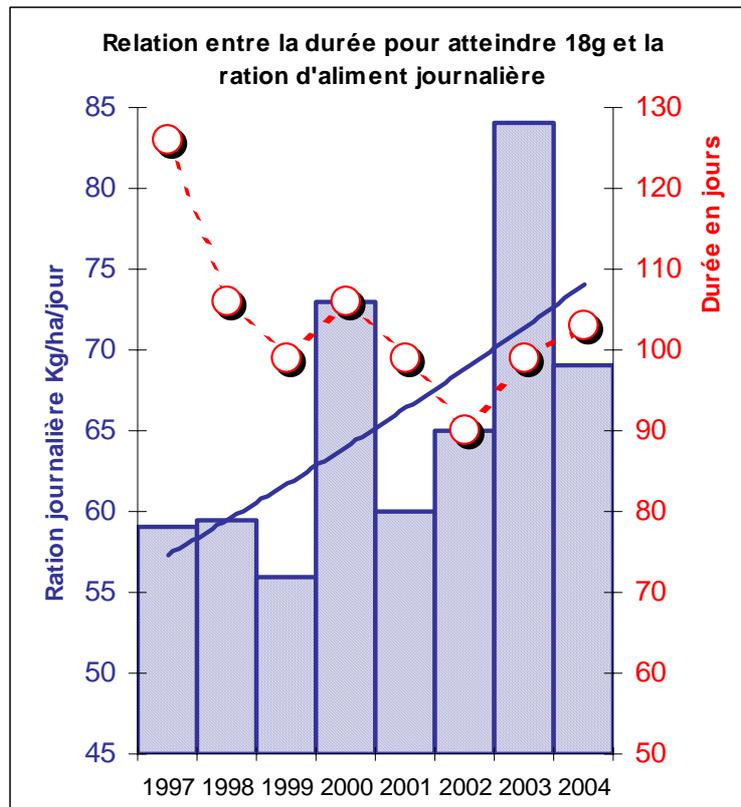


Figure 25 : Relation entre la durée pour atteindre 18 g et la ration journalière sur une ferme familiale densité 17-20/m<sup>2</sup>, ensemencements octobre ( stagnation de la vitesse de croissance exprimée par la durée en jour - O- - - O - et augmentation injustifiée de la ration-histogrammes)

Le choix des densités ne s'est jamais opéré en fonction de la capacité saisonnière du bassin tel que montré par Della Patrona (1998a, b, c).

Enfin, un défaut de planification à moyen terme, inhérent aux fluctuations du marché mal maîtrisé à l'époque, ne permettait pas d'adapter les densités initiales aux quotas des différents calibres à produire.

### **La production de « petits calibres » = gros animaux**

**La production de gros animaux non compensée par les moyens techniques et zootecniques nécessaires à cette politique a créé des conditions environnementales déstabilisantes pour la crevette.**

La recherche de la production de grosses crevettes (calibres 30-40 ; 20-30 pièces/kg) était motivée par le rôle de ferme industrielle de démonstration visant l'exportation qui était dévolu à la SODACAL. Pour augmenter le poids des animaux récoltés les dates des pêches partielles successives ont été reculées, contribuant ainsi au maintien de charges (g/m<sup>2</sup>) de plus en plus importantes.

Cette pratique était d'autant plus pénalisante que :

- la ferme souffrait déjà d'un sous-dimensionnement chronique en pompage et en aération;
- les densités continuaient d'être augmentées ;
- les durées des élevages devenaient de plus en plus longues de 9 à 10 mois ;
- les temps des assecs et la qualité de la préparation des bassins diminuaient ;
- les indices de conversion s'amplifiaient en relation avec
  - o l'intensification (densités) ;
  - o le niveau des charges maintenues=rations fortes ;
  - o la durée des élevages ;
  - o l'erreur d'appréciation des restes sur mangeoires=sur-nutrition ;
  - o l'inadéquation des densités initiales et de la saison d'élevage.

## Le manque de renouvellement

**L'insuffisance de renouvellement a été directement responsable de mortalités par manque d'oxygène dans les bassins sur les deux années 1995 et 1996.**

La capacité de pompage a sans doute été un des facteurs ayant contribué à la dégradation des résultats de 1990 à 1994 mais peut-être pas le principal.

Des débits insuffisants ont certes été fournis aux bassins du fait de la formule d'ajustement inadéquate avant 1993, de pannes récurrentes des pompes, du colmatage non contrôlé des filtres d'entrée et du volume médiocre du canal aux extrémités. Un renouvellement sous dimensionné n'a certainement pas permis une évacuation optimale des déchets minéraux et organiques qui de fait s'accumulaient plus fortement dans les bassins. Néanmoins, les valeurs d'oxygène dissous mesurées de 1989 à 1994 se maintenaient rarement à des niveaux sub-létaux (1,5-2 ppm).

Pour obtenir un niveau d'oxygène dissous à l'aube satisfaisant (3-3,5 ppm à 28°C), Hopkins *et al.*, 1992) conseillent l'emploi de dispositifs d'aération (normes 4 CV/ha dès 45 kg/ha/j) cumulé à 15% de renouvellement quotidien. De sorte qu'au cours des années d'intensification (biomasses fortes d'animaux de petits calibres), la capacité limitée de pompage aurait dû être complétée par une aération.

### e. Synthèse des évènements

La chronologie des évènements et de leur potentiel dommageable sur l'aptitude culturale des bassins de la SODACAL a été résumée (Figure 26). On note que la période 1990 à 1995 présente la plus forte accumulation des facteurs de risques.

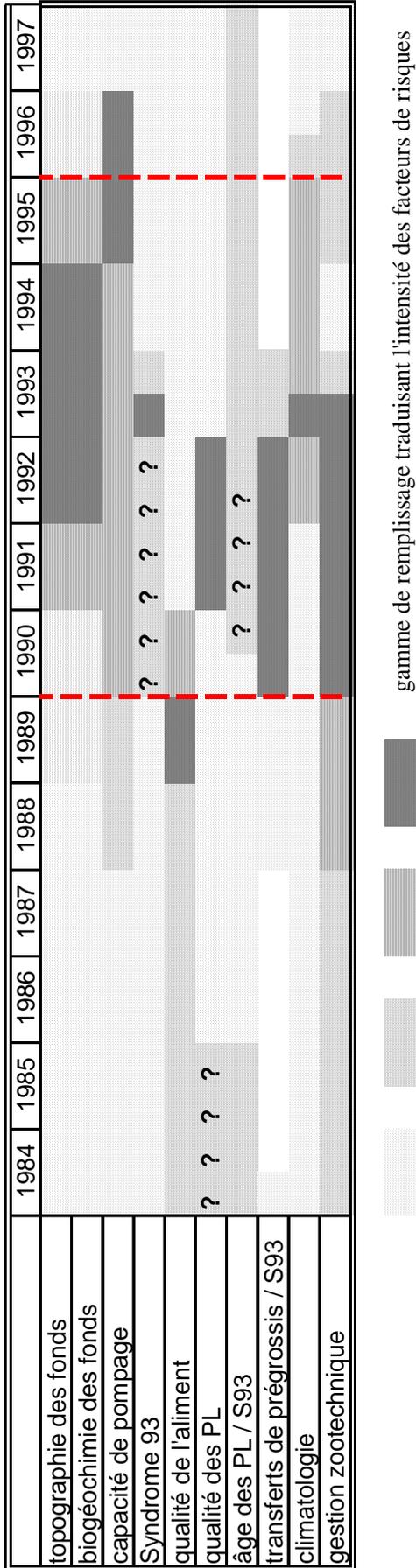


Figure 26. Illustration synoptique de la chronologie des événements et de leur "sévérité"

## 2. Facteurs ayant permis la réhabilitation du site

Plusieurs propriétaires et gérants se sont succédés sur la période 1995-1998 avec parfois des différends juridiques. Il en résulte que les facteurs explicatifs ayant conduit à l'amélioration de l'outil ne sont pas aussi bien connus que ceux qui ont conduit à ses difficultés.

### a. Facteurs d'ordre climatique

La période 1995 à 1999 a été marquée par la conjonction de phénomènes climatiques particulièrement favorables pour la crevette (Chim *et al.*, 2004) et la production naturelle dont elle se nourrit (Della Patrona *et al.*, 2003) à savoir un cycle de températures de l'eau des bassins plus chaudes et des salinités relativement basses (Figure 4a).

### b. Facteurs d'ordre pédologique

**En 1997, la ferme avait retrouvé une topographie des sols permettant un fonctionnement « normal » des élevages.**

Un important travail du sol a été réalisé à partir de 1995. Il a débuté avec de faibles moyens en 1995. Avec l'achat de matériel adéquat (chenillard, puis « chasse-neige »), la ferme a lancé un vaste programme de travaux destinés à réduire les accumulations et à combler les dépressions. La SODACAL a également creusé des caniveaux pour piéger les sédiments côté digue sous le vent et canaliser les eaux de percolation.

Le sous-nourrissage systématique des bassins en 1995 et 1996 a contribué à une épuration biologique des sédiments et une réduction de leur volume.

### c. Facteurs d'ordre zootechnique

**La dérive des pratiques zootechniques de 1989 à 1992 a fortement contribué à la dégradation rapide des résultats de la SODACAL. Toutefois, les essais comparatifs entre bassins de production et témoins (géniteurs et pré-grossissement), menés de 1993 à 1994, ont montré très clairement que même une zootechnie remise à un niveau acceptable ne permettait pas le rétablissement immédiat des performances antérieures dans les premiers. C'est sur la durée que cette gestion zootechnique réformée est devenue opérante en relation principalement avec la réhabilitation des fonds de bassins et les autres facteurs énoncés.**

La zootechnie a été modifiée en profondeur sur les axes suivants :

- Abandon définitif des ensemencements de juvéniles « pré-grossis » sur les unités de productions de 8-10 ha dès 1994 et sur celles de 1-4 ha en 1997
- abandon du jour de jeûne dès 1996 ;
- retour à une capacité de pompage adaptée en début 1997 ;
- augmentation du nombre et standardisation du suivi des restes d'aliment sur mangeoires en 1997 ;
- standardisation des densités d'ensemencement autour de 20/m<sup>2</sup> ;
- maintien d'une biomasse maximale de 250 g/m<sup>2</sup> par récoltes partielles raisonnées ;
- vidange de certaines parties du canal ;
- maintien d'assecs longs dans des bassins entièrement asséchés.

Enfin, les excellentes productions de 1998 à 2000 ont également pour origine le choix de périodes d'ensemencements les plus favorables de l'année avec :

- pour 1997 : 78% des élevages ensemencés entre début octobre et fin novembre ;
- pour 1998 : 100% de mi-septembre à mi-janvier ;
- pour 1999 : 78% fin-septembre à mi-février.

L'implication de la remise à niveau et de la normalisation de la zootechnie dans le retour à la normale de la production en 1998 est indéniable. De même qu'elle a joué un rôle fondamental dans la dégradation des résultats de 1989 à 1993.

Un bassin de terre peut être assimilé à un écosystème simplifié qui présente une « élasticité » relative *sensu* Frontier (1999) pour retrouver son état initial qui dépend du forçage subi : de sorte qu'une zootechnie médiocre peut conduire à un affaissement **très rapide** de « l'aptitude culturale » mais une gestion même optimale ne peut permettre de la retrouver **aussi vite**.

Il est nécessaire d'intervenir en plus sur la nature biochimique du sédiment comme le soulignent les observations suivantes :

- la zootechnie « passable » pratiquée à partir de 1993 et jusqu'en 1996 à la SODACAL conduisait malgré tout à des résultats convenables sur les bassins géniteurs et de pré grossissement non dégradés. Toutefois, elle n'était pas suffisante pour permettre un retour à la normale sur les bassins de production trop fortement altérés ;
- la « gestion optimisée » uniformisée sur l'ensemble de la ferme en 1997 n'a pas permis à tous les bassins de retrouver le même niveau de production immédiatement.

## V. Recommandations et conclusions

L'analyse ne fait que conforter la perception du caractère « vivant et fragile » d'un bassin de production en terre. De sorte que les nouveaux aquaculteurs qui n'ont pas l'expérience des « pionniers » en place doivent véritablement s'imprégner de cette notion « d'écosystème instable » pour gérer leur outil.

Les quelques considérations simples suivantes pourraient les guider.

**Un bassin de terre est un écosystème que l'on soumet à de très fortes contraintes.**

Un bassin aquacole peut être assimilé à un milieu où l'on pratique une polyculture de plancton (phyto- et zooplancton), de benthos (phyto et zoobenthos), de bactéries (colonne d'eau et fond) et de crevettes. On cherche à établir un équilibre précaire et dynamique entre tous ces compartiments qui évoluent par l'ajout d'aliment, le métabolisme des crevettes, la dilution par le renouvellement et la température. Si cet équilibre est rompu, le temps que celui-ci mettra pour retrouver une capacité de production normale est plus long que la durée de la gestion pénalisante. Il n'existe pas encore aujourd'hui de « recettes miracles » pour réhabiliter rapidement un bassin devenu improductif en termes de crevettes.

**L'aquaculteur reste tributaire de facteurs extérieurs.**

### La climatologie

La capacité de production d'un bassin pour un mois d'ensemencement donné peut varier inter-annuellement en fonction des températures et de la salinité.

Les faibles pressions atmosphériques conduisent à une diminution de l'oxygène dissous des bassins. Mais elles sont souvent associées à une forte nébulosité prolongée (temps couvert sur plusieurs jours) qui limite fortement la photosynthèse du phytoplancton et donc la production d'oxygène dans les bassins.

### **La qualité des post larves et le soin apporté à l'ensemencement**

La survie finale d'un bassin est affectée par la qualité initiale des post larves ensemencées et des conditions dans lesquelles s'effectuent leur transport, leur transfert et leur acclimatation. Elle dépend également du soin apporté à la préparation du sédiment (paramètres bio-physico-chimiques favorables, présence de proies naturelles).

### **L'aliment**

La qualité de l'aliment est souvent l'exutoire « facile » face aux problèmes rencontrés dans les bassins. Une faible croissance est fréquemment le résultat de conditions environnementales défavorables « développées » par l'aquaculteur lui-même et de la mauvaise santé de la crevette qui en découle. Une comparaison « objective » avec les performances réalisées dans des conditions similaires et synchrones par d'autres fermes permet généralement de relativiser le problème de la qualité de l'aliment. Mais il faut noter aussi que la comparaison des performances enregistrées dans un même bassin d'une année sur l'autre n'a pas de grande valeur (cf climatologie).

### **Les paramètres sur lesquels l'aquaculteur peut « peser ».**

#### **Bien construire et dimensionner son outil de production**

La réalisation des digues (étanchéité) doit être soignée au départ. Elle conditionne l'assèchement des bassins. Dans la mesure du possible, il faut adapter la forme des bassins à l'impact prévisible de l'érosion éolienne.

Le nombre et le positionnement des moines d'entrée doivent permettre à l'eau du canal d'irriguer la plus grande surface du bassin. De même, les caractéristiques des ouvrages de sortie doivent faciliter l'élimination des effluents.

Le dimensionnement de la capacité « nominale » de pompage doit être choisie sur la base d'un renouvellement potentiel de 35% par jour de l'eau sur tous les bassins en même temps. En cours d'élevage, l'ajustement du renouvellement est donné par la formule de base  $RNT\%/jour = \text{biomasse en } g/m^2 / 10$  (exemple : pour  $100g/m^2$  il faut 10% de renouvellement quotidien).

Pour des rations supérieures à  $50 \text{ kg/ha/jour}$ , il faut disposer d'une aération calculée sur la base de la quantité d'aliment distribuée ( $kg \text{ d'aliment/ha/jour} / 16 = \text{nombre de CV/ha}$ ).

#### **Epargner les fonds de bassin : patrimoine foncier**

Il apparaît que toutes les fermes ne possèdent pas la même capacité de production à l'origine (nature du sédiment et eau de pompage) et que celle-ci évolue avec le temps.

Cette évolution dépend de la pratique zootechnique qui s'étend de la préparation du bassin à la gestion de routine durant l'élevage et de l'impact de l'érosion éolienne.

La préparation entre les élevages est primordiale. Elle doit faciliter avant tout l'activité bactérienne de dégradation de la matière organique provenant de l'élevage précédent (faible épaisseur) qui dépend du pH (ajout éventuel de chaux agricole), de la température (durée plus longue en hiver), de la pénétration de l'oxygène (émiettement du sédiment, taux d'humidité), du type de sédiment (argile moins favorable), de la concentration et de la composition

apparente de la M.O (zone d'accumulation = concentration plus forte et M.O plus réfractaire). Il faut limiter l'ampleur des phénomènes d'érosion provenant de l'action du vent ou des aérateurs.

### Gérer « en bon père de famille »

Pour les fermes ne souhaitant pas investir dans une aération complémentaire, il est recommandé de ne pas ensemer à plus de 20/m<sup>2</sup>. Les densités doivent être ajustées en fonction des mois d'ensemencement, respectant ainsi les capacités de productions saisonnières.

La biomasse maximale instantanée ne doit pas excéder 250 g/m<sup>2</sup>. La tendance qui vise à reculer la première pêche partielle pour obtenir des animaux plus gros et donc plus rémunérateurs est donc à proscrire car elle contribue au maintien d'une biomasse plus forte.

L'ensemencement d'animaux pré grossis n'est pas à préconiser. Un travail expérimental mériterait d'être fait sur les résultats d'ensemencements de post larves d'âge différent (P8-P28).

La gestion de l'alimentation est prépondérante. Elle nécessite de connaître le plus précisément possible la biomasse et de disposer d'un système d'observation des restes de consommation sur mangeoires très rigoureux. La pratique du jeûne le week-end est à éviter.

Le phénomène montré sur la [figure 25](#) est préoccupant. Elle montre que l'on observe aujourd'hui une nette tendance à augmenter les taux de nutrition pour avancer la date de la première récolte. Au-delà d'une ration que l'on peut considérer comme « maximale », il n'y a plus de gain de croissance (Chim, communication personnelle). La conversion de l'aliment devient médiocre et pourrait conduire à plus ou moins long terme aux mêmes conséquences qu'à la SODACAL.

La SODACAL qui avait vocation à « *essayer les plâtres* » d'une nouvelle activité à caractère industriel et destinée à l'exportation a commis beaucoup d'erreurs mais a su retrouver un niveau de production et une fiabilité remarquables. Son challenge est désormais de garder ce niveau d'excellence en effectuant les investissements nécessaires pour maintenir son outil (fonds de bassins, capacité de pompage) en parfait état et en poursuivant sa politique de gestion zootechnique raisonnée.

L'historique sur 20 ans de cette entreprise illustre les notions d'« élasticité » au sens écologique du terme de la capacité de production d'un bassin de terre et donc de la durabilité biologique de la crevetticulture en Nouvelle-Calédonie.

L'évolution des connaissances acquises sur les fermes et/ou le secteur de la recherche sur le « Syndrome d'été » qui affecte actuellement deux fermes de production a permis de bâtir un scénario hypothétique sur les causes du phénomène qui se rapproche de celui décrit dans la présente étude..

**« La recherche permanente des performances et des rendements est un exercice dangereux sur le long terme, si elle s'approche durablement des limites écologiques ou biologiques dictées par les choix techniques actuels. C'est d'ailleurs une des règles fondamentales de l'écologie : aucun système écologique ne peut « fonctionner à plein régime et à l'équilibre » indéfiniment à la différence des systèmes totalement contrôlés par l'homme. Par rapport à des systèmes strictement intensifs (élevages de saumon, bar, turbot...) les bassins d'élevage de crevettes restent des écosystèmes complexes « forcés » pour obtenir une activité économiquement rentable. Mais ils n'échappent pas à cette règle de base de la complexité non maîtrisée et du retour difficile et non instantané aux conditions initiales (DAC, 2005).**

Extrait de la conclusion du rapport du DAC (2005)

***Quelques précisions sur la qualité et l'origine des informations utilisées dans ce rapport.***

*L'auteur du présent rapport a exercé de 1986 à 1988 la fonction d'ingénieur au SMMPM (Service de la Marine Marchande et des Pêches Maritimes) de Nouvelle-Calédonie et a participé au montage technico-économique de l'extension de la SODACAL.*

*De 1988 à 1989, il a réalisé une expertise zootechnique de la ferme pour le compte du Territoire de Nouvelle-Calédonie.*

*De 1989 à 1994, il a été recruté comme directeur technique des filières géniteurs, grossissement et pré grossissement de l'entreprise.*

*Embauché au G.I.E Recherche aquacole en 1994, il avait en charge les programmes de zootechnie-bassins de la Station Aquacole de Saint Vincent (NC) et a joué le rôle de conseiller aquacole auprès de la filière professionnelle jusqu'en 2002.*

## Version abrégée

La ferme de SODACAL, conçue à l'origine comme une ferme de démonstration pour le développement d'une filière d'aquaculture exportatrice de crevettes en Nouvelle-Calédonie a connu une phase de croissance exponentielle de sa production de 1984 à 1992 (jusqu'à 400 t/an), puis une chute brutale en 1993 (250 t/an) qui s'est prolongée jusqu'en 1997 et enfin une reprise à partir de 1998 pour arriver à une stabilisation autour de 400 t/an depuis 1999.

Plusieurs hypothèses ont été évoquées dès 1993 pour expliquer la chute de production: (i) l'émergence de la bactérie *Vibrio penaeicida* (c'est l'année d'apparition du « syndrome 93 » mais également de souches de *Vibrio nigripulchritudo* sur cette ferme), (ii) le vieillissement généralisé des fonds de bassins, (iii) une dérive zootechnique, (iiii) un appauvrissement génétique de la souche.

La présente étude se propose de montrer des causes qui ont provoqué cette chute de production. Elle met aussi en lumière les facteurs qui ont permis la reprise d'une activité économiquement rentable, et elle présente quelques conseils de bon sens pour éviter que de tels phénomènes ne se reproduisent ailleurs.

### Des survies médiocres... mais pas dans tous les bassins.

L'analyse des résultats de la filière calédonienne sur 17 ans confirme que les survies finales dépendent du mois d'ensemencement. Cette « saisonnalité dépendance » est la résultante de nombreux facteurs (Clifford, 1997 ; Della Patrona *et al.*, 2003 ; Jory, 1995 ; Villalon, 1991). Mais malgré cette complexité, les survies obtenues sur les périodes 1987 à 1994 (période pré-syndrome 93) et 1995 à 2003 (période post-syndrome 93) montrent des profils saisonniers similaires : les survies les plus faibles correspondent aux mois d'ensemencement de mars à juin, les plus fortes de septembre à janvier. Une valeur de survie n'a donc de sens que si elle est analysée par rapport à une moyenne mensuelle.

L'analyse des résultats de SODACAL de 1988 à 2002 fait donc intervenir la notion de « différentiel de survie ». Elle montre que **la période 1991 à 1997 est caractérisée par des survies anormalement basses** par rapport aux autres fermes. Les périodes 1988 à 1990 et 1998 à 2002 correspondent à des mortalités normales pour la saison.

A la différence des grands bassins de grossissement (unités de 8-10 ha) qui présentaient de faibles taux de survies, les bassins d'élevage des géniteurs (0,3 ha) et de pré-grossissement (1 ha), ont été épargnés des mortalités atypiques alors qu'ils étaient localisés entre ou en aval des grands bassins, qu'ils recevaient la même eau de pompage, le même granulé et étaient ensemencés avec des post-larves de même origine. De plus, suite à une forte suspicion d'une profonde implication de l'état des fonds des grands bassins dans les mauvaises performances enregistrées (voir ci-dessous) des expériences de grossissement conduites dans ces petits bassins à des densités identiques et avec une même pratique zootechnique que celle des bassins de grossissement ont donné des survies normales pour la saison.

### Evolutions topographique et géochimique des fonds de bassins

Au fur et à mesure des cycles d'élevage, les surfaces initialement homogènes, uniformément planes et en pente douce vers la mer ont été modifiées sous l'effet des alizés (Griessinger, 1994). Des zones d'accumulation et d'abrasion sont apparues dans les bassins de grossissement de 8-10 ha. En 1994, les amoncellements atteignaient +40 cm et les dépressions - 30 cm par rapport à la cote moyenne. Le phénomène a été aggravé par la percolation des digues inter-bassins et le manque de matériel adéquat pour racler et labourer les accumulations d'une part, et combler les dépressions d'autre part. L'effet des alizés était très différent suivant la topographie, l'orientation et la taille des bassins. C'est ainsi que les bassins d'élevage de géniteurs et de pré-grossissement ont été épargnés par ces phénomènes physiques.

Durant la succession des élevages, les effets combinés du contre-courant de fond et de la pratique du labour à l'assec d'une part et l'apport de matière organique exogène (granulé) et endogène (production naturelle) d'autre part ont modifié la nature géochimique des fonds de bassins. Dans le cas des bassins les plus touchés, on constatait dans la zone d'accumulation, en cours d'élevage et à l'assec, une odeur d'H<sub>2</sub>S traduisant un milieu anaérobie. En revanche dans la zone d'abrasion, le niveau caractéristique à cristaux de gypse translucides en baguette décrit par Baltzer (1965) était atteint, indiquant des pH acides et des conditions fortement réductrices.

## **La zootechnie**

### **Durée des assecs et préparation des bassins**

Pour de multiples causes, dont la principale est l'évolution de la topographie, la plupart des bassins n'ont pas été correctement asséchés et préparés sur la période 1987 à 1994. Pour assurer une rotation plus rapide et ainsi tenter d'accroître la production, la ferme a réduit les durées des assecs sur la période 1990 à 1994. L'activité bactérienne de dégradation de la matière organique ne pouvait donc plus se faire de manière optimale (Boyd, 1992) et l'élimination (ou la diminution) des éventuels pathogènes et compétiteurs par assèchement total n'était plus possible.

Les bassins étant de plus en plus difficiles à assécher, ils abritaient un nombre croissant de compétiteurs ayant des conséquences négatives sur l'indice de conversion et sur les teneurs en oxygène dissous. De sorte que de 1990 à 1993, il y eut une utilisation renforcée de roténone et de chlore. Les bassins n'étant pas « rincés » après ce traitement, il est possible que ces produits aient eu un impact néfaste à l'ensemencement.

### **Renouvellement de l'eau dans les bassins**

Bien qu'aucune corrélation significative ( $r = 0,0074$ ) n'ait pu être établie entre la distance du point de pompage et les survies moyennes obtenues sur les bassins au cours de la période 1987 à 1995, la ferme a connu des problèmes récurrents de capacité insuffisante de pompage. De plus, jusqu'en 1993, les taux de renouvellement étaient ajustés en fonction du mois d'élevage quelque soit la densité initiale et non pas selon la méthode de Clifford (1992) basée sur la biomasse présente. La comparaison des deux méthodes fait apparaître une grande sous estimation des renouvellements estimés par la première. Les renouvellements d'eau ont donc du être limitants sur certains élevages.

### **La qualité et l'âge des post-larves, le transfert des juvéniles**

De très bonnes corrélations entre la survie, (assimilée à la « qualité » des post-larves) en nurseries et celle obtenue en élevages extensifs de pré-géniteurs et intensifs courts de juvéniles ont été montrées dans cette étude. Or l'écloserie de SODACAL connût ses plus mauvaises survies en 1991 et 1992. La qualité des post-larves produites sur ces deux années a pu avoir une incidence négative sur les survies en bassins de production.

L'âge des post-larves à l'ensemencement a été reculé année après année, de P5 au début, jusqu'à P25. Or, il a été démontré que l'acquisition de la sensibilité à *V. penaeicida* augmente avec l'âge des post-larves (Goarant *et al.*, 1998). En conséquence, à partir de 1989, la probabilité que les post-larves produites en nurseries soient infectées par le *Vibrio* n'a cessé de croître avec l'augmentation de l'âge à l'ensemencement.

Goarant *et al.* (2003a&b) ont montré que le transfert des crevettes en automne induisait des mortalités par vibrioses, baptisées « Syndrome 93 induit » et que le phénomène pouvait être minimisé par l'administration d'antibiotiques. Parallèlement, Chim *et al.* (2004) ont montré qu'un stress de transfert induisait des mortalités de type « syndrome 93 » et que celles-ci pouvaient être réduites en améliorant le confort physiologique des animaux. La technique de pêche au filet et de transfert d'un bassin de pré-grossissement à un bassin d'embouche de plus en plus utilisée de 1990 à 1992 a dû fortement contribuer à la baisse de la production de ces années par des mortalités précoces au transfert.

### **La qualité de l'aliment et la gestion de l'alimentation.**

Des indices de conversion anormalement élevés (entre 3,0 et 3,5) ont été obtenus sur la période 1987 à 1996. Ces fortes valeurs ont plusieurs origines : (i) *Un aliment de qualité médiocre* : la grande variabilité des formulations et une tenue à l'eau médiocre ont nuit à l'efficacité de la conversion de l'aliment sur la période 1988 à 1990 dans une majorité des élevages. SODACAL a donc pâti des problèmes de capacité de production de l'unique provendier de l'époque dont l'outil n'était pas dimensionné pour fournir une grande ferme aquacole (Della Patrona, 1990,1991,1992) ; (ii) *Un mauvais contrôle de l'alimentation des crevettes* : l'estimation ardue de la survie initiale dans les bassins, la difficulté d'ajuster l'alimentation par l'observation non encore standardisée sur les mangeoires, une journée de jeûne par semaine, la prime à la production de gros animaux pour l'exportation et ses corollaires à savoir des élevages plus longs (poids moyens récoltés sur l'élevage et poids à la première pêche plus élevés), et un mauvais retour d'information par un personnel mal formé et démotivé, toutes ces observations sont autant de facteurs qui vont dans le sens d'indices de conversion élevés. L'augmentation des densités (selon la relation densité-conversion établie par Tacon, 1993) a pu contribuer aussi à ces mauvais indices de conversion et donc à un enrichissement organique du milieu, par ailleurs mal renouvelé (voir plus haut).

### Les densités d'ensemencement.

Il y a eu un accroissement progressif des densités d'ensemencements direct (post-larves) et d'animaux pré grossis de 1987 à 1997 : Les densités calquées à l'origine sur celles des élevages équatoriens de *L.vannamei* ont été accrues jusqu'à 20-25/m<sup>2</sup>.

Une corrélation négative entre survie et densité a été mise en évidence pour les élevages de la SODACAL. Mais cette relation n'est pas aussi étroite que l'on pouvait attendre. La corrélation est meilleure pour les années 1997-2003 que pour la période 1987-1996, ce qui amène deux réflexions : (i) lorsque les conditions sont extrêmement défavorables, la diminution de la densité n'est pas suffisante pour apporter un gain de « survie », (ii) cette relation varie suivant la gamme des densités choisies et les pratiques zootechniques.

Ce n'est pas l'augmentation des densités en tant que telle qui a pu conduire à de mauvaises survies puisque les fermes intensives de l'époque obtenaient de bons résultats. C'est le manque des structures nécessaires à l'élevage des animaux à de telles densités (capacité d'aération et de renouvellement), ainsi que l'inadéquation du choix des densités avec la saison qui sont à mettre en cause.

### **Scénario épidémiologique**

A la lumière des éléments apportés par cette étude on peut construire un scénario épidémiologique pour expliquer ce qui s'est passé pendant les « années noires » de SODACAL.

L'érosion éolienne a produit des zones d'érosion et d'accumulation, qui pour des raisons économiques n'ont pas été éliminées. Ces zones d'accumulation, qu'il était impossible d'assécher par des assecs (eux-mêmes raccourcis) se sont enrichies au cours du temps en matière organique de plus en plus réfractaire sous l'effet d'une mauvaise gestion d'un aliment de qualité médiocre, mauvaise gestion accentuée par l'encouragement à produire de gros animaux, et donc à avoir des élevages plus longs, des charges et des quantités d'aliments plus importantes en fin d'élevage. Ces deux phénomènes (accumulation sédimentaire et dysfonctionnements de la diagenèse de la matière organique et de la boucle microbienne) ont contribué à créer des foyers « infectieux » favorables au développement de *Vibrio penaeicida* et/ou à l'acquisition d'une virulence plus forte et en même temps peu propices au bien-être des animaux (faibles teneurs en oxygène, émissions d'ammonium, de sulfures...)

Parallèlement, l'utilisation accrue de juvéniles, stade plus sensible que les post-larves a augmenté les chances d'infection des individus par *V. penaeicida* dans le bassin à l'ensemencement à certaines périodes. A un degré moindre, le recul de l'âge des post-larves serait intervenu de façon similaire. Enfin, l'ensemencement des animaux pré-grossis par transfert relativement brutal dans les bassins a contribué au stress des animaux et à leur infection par *V. penaeicida*.

En conclusion de ce scénario, et à l'image des résultats récemment acquis sur les causes d'apparition et de la récurrence du syndrome d'été à Sea-Farm (rapport IFREMER, 2005), SODACAL, par un enchaînement des causes multiples énoncées ci-dessus a pu « cultiver » *V. penaeicida* et favoriser l'infection d'animaux placés dans des conditions environnementales défavorables.

### **Facteurs ayant permis une réhabilitation du site**

Un important travail du sol a été réalisé à partir de 1995, ce qui a permis de réduire les accumulations et de combler les dépressions. En fin 1997, la ferme avait retrouvé une topographie des sols permettant un fonctionnement « normal » des élevages avec des assecs vrais et prolongés. La zootechnie a été modifiée en profondeur : abandon des ensemencements de juvéniles « pré-grossis », abandon du jour de jeûne hebdomadaire, retour à une capacité de pompage importante, augmentation du nombre et standardisation du suivi des restes d'aliment sur mangeoires, standardisation des densités autour de 20/m<sup>2</sup>, maintien d'une biomasse maximale de 250 g/m<sup>2</sup> par des récoltes partielles raisonnées. Enfin, les excellentes productions de 1998 à 2000 ont également pour origine le choix de périodes d'ensemencement les plus favorables de l'année.

### **Recommandations et conclusions**

L'historique sur 20 ans de cette ferme illustre **la notion de durabilité de la crevetticulture** en Nouvelle-Calédonie. Le retour du potentiel de production des bassins de la SODACAL est porteur d'espoir pour les fermes actuellement en difficulté. Cette analyse met en lumière le caractère fragile d'un bassin de production en terre. Il faut garder à l'esprit qu'un bassin est un écosystème soumis à de très fortes contraintes par un producteur qui doit établir un équilibre précaire entre des compartiments qui évoluent avec l'enrichissement par l'ajout

d'aliment, le métabolisme des crevettes, la dilution par le renouvellement et la température. Quand l'équilibre est rompu, le temps que l'écosystème met à retrouver sa capacité de production antérieure est plus long que la durée de la gestion pénalisante. De sorte que, les nouveaux aquaculteurs qui n'ont pas l'expérience des « pionniers » doivent s'imprégner de cette notion « d'écosystème instable » pour gérer de manière durable leur outil de production. Quelques conseils de bon sens sont donnés à leur attention dans cette étude pour éviter de tomber dans la spirale infernale des syndromes récurrents.

**La recherche** devra envisager des outils pour évaluer la capacité de production qui demeure une notion trop vague. A côté des variables environnementales classiques comme l'oxygène, l'ammonium, la chlorophylle, d'autres seront à chercher du côté de la méiofaune (espèces bioindicatrices telles que les nématodes) , de la composition biochimique de la matière organique (glucides, lipides, protéines) qui doit déterminer la composition et l'abondance des assemblages bactériens.

## Références bibliographiques

- Anonyme (1985 à 1989). Rapport d'activité de la station d'aquaculture de Saint-vincent-IFREMER
- Anonyme (1990 à 1995). Rapport d'activité de la station d'aquaculture de Saint-vincent-GIE Recherche aquacole
- Anonyme (1996 à 1998). Rapport d'activité de la station d'aquaculture de Saint-vincent-GIE Recherche aquacole et IFREMER
- Anonyme (2000 à 2004). Rapport d'activité des fermes aquacoles de Nouvelle-Calédonie-GFA
- Anonyme., 1995. Estimation de la fiabilité des comptages de post larves ; test de survie des post larves à un stress de salinité. Fiche biotechnique 95-06. Station d'aquaculture de Saint-vincent.4p.
- Anonyme.,1982. Etude de Faisabilité technico-économique pour la réalisation d'une ferme industrielle d'élevage de crevettes de mer en Nouvelle-Calédonie.France-Aquaculture 212p.
- Anonyme.,1983. Atlas de la Nouvelle-Calédonie et Dépendances. ORSTOM.53 p.
- Anonyme.,1993. Rapport de mission du 24/1 au 1/2/93 en Nouvelle-Calédonie. Mission d'assistance technique. France aquaculture. 5p.
- Anonyme.,1995. Audit technique de la ferme SODACAL-juin 1995. Station d'aquaculture de Saint Vincent.163p.
- Anonyme.,1999. Rapport d'activité du Laboratoire d'Aquaculture de Nouvelle-Calédonie- IFREMER
- Aquacop, Lemoulac,G., Damez,D., 1991. Modélisation de la résistance aux chocs de salinité des postlarves de *P.vannamei*. aquat.living resour., 1991,4,p.169-173
- Avnimelech,Y., 2005. aeration and aerator deployment in shrim ponds.World aquacultureJune 2005.p:18-22.
- Bador,R., Alborno,A.1992. Comaparacion tecnico-economica entre siembra directa y engorde despues de precria en una camaronera industrial de la costa caribena de Colombia. Memorias I congreso Ecuatoriano de Acuicultura.P.163-167
- Baltzer.F.,1965. Le marais de Mara. Cahiers du pacifique n°7 (mars 1965).p : 69-92.
- Boyd.C.E.,1992. Shrimp pond bottom soil and sediment management. Proceedings of the special session on shrimp farming.World aquaculture society, Baton Rouge,LA USA.Wyban,J.,editor.p: 166-180
- Briggs,M.R.P., 1992. A stress for determining vigour of post larval *P.monodon fabricius*. Aquaculture and fisheries management 1992,23.p.633-637
- Cavalli, R.O., Hernandez-Herrera,R., Racotta,I.S., lavens, P., Sorgeloos,P., 2001. The use of an ammonia stress test as tool to evaluate larval quality. Larvi'01-Fish and shellfish larviculture symposium
- Clifford, H.C.,1997. Standard operating manual for managing super shrimp ponds (*L.stylirostris*).Super shrimp,S.A. de C.V. Technical Services Division.93p.
- Clifford,H.C., 1992. Marine shrimp pond management: a review. Proceedings of the special session on shrimp farming.World aquaculture society, Baton Rouge,LA USA.Wyban,J.,editor.p: 110-137
- Coatanea,D., 1990. Rapport de mission à SODACAL. DRV/AQ/TAH 90.032.19p.
- Cochard,J.C. 1994. Le test de résistance des post larves de crevettes aux chocs de salinité comme moyen d'évaluation de qualité.Fiche coordination 94-04.Station aquacole de saint vincent.3p.
- Dac ., 2005. Etat des connaissances sur le « Syndrome d'été » affectant les élevages de *Litopenaeus stylirostris* en Nouvelle-Calédonie.IFREMER.29p.
- Daget,J., 1971. L'échantillonnage des peuplements des poissons d'eau douce. In Lamotte M ; et Bourlière F., 1971.Ed.Massonp :85-108.
- Danovaro R., Armeni.,M., Corinaldesi,C., Mei.,M.L.,2003. Viruses and marine pollution. Marine pollution bulletin 46 (2003).p:301-304
- Danovaro, R., Marrale, D., Croce, N.D.,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 [J. Sea Res.]. Vol. 42, no. 2, pp. 117-129. Sep 1999
- Danovaro, R.,Croce, N.D. Fabiano, M.,1998. Biochemical composition of particulate organic matter and bacterial dynamics at the sediment-water interface in a Mediterranean seagrass system. Hydrobiologia [Hydrobiologia]. Vol. 363, no. 1-3, pp. 241-251. 1997 - 1998
- Della Patrona L., L. Chim., S. Capo., P. Lemaire., P. Brun., & J.L . Martin, 2004. Stimulation de la chaine trophique naturelle dans les bassins d'élevage de *L.stylirostris* : influence sur les performances zootechniques. Styli 2003.Actes du colloque.IFREMER : 173-179
- Della Patrona.,L. 1998a. Comparaison des stratégies d'ensemencements-effet densité sur les « périodes à risques » (essais de février). Fiche biotechnique 98. Non publiée
- Della Patrona.,L. 1998b. Comparaison des stratégies d'ensemencements-effet densité sur les « périodes à risques » (essais d'avril). Fiche biotechnique 98. Non publiée
- Della Patrona.,L. 1998c. Comparaison des stratégies d'ensemencements-effet densité sur les « périodes à risques » (essais d'avril). Fiche biotechnique 98. Non publiée
- Della Patrona.L., 1990,1991,1992. Rapports de production grossissement de la SODACAL.
- Della Patrona.L., 1990. Rapports de la filière géniteurs de la SODACAL
- Dell'Anno, A., Mei, M.L., Pusceddu, A., Danovaro, R., 2002. Assessing the trophic state and eutrophication of coastal marine systems: a new approach based on the biochemical composition of sediment organic matter. Marine Pollution Bulletin [Mar. Pollut. Bull.]. Vol. 44, no. 7, pp. 611-622. Jul 2002
- Fichez,R.,1991. Composition and fate of organic matter in submarine cave sediments : implications for the biogeochemical cycle of organic carbon. Oceanologica acta.Vol.14.N°4.p:369-377.
- Frontier, S., 1999. Les écosystèmes. Collection que sais-je ?126p.

- Goarant C., D. Ansquer, C. François et F. Imbert (2003a) Démonstration par diagnostic thérapeutique du rôle de la vibriose à *Vibrio penaeicida* dans la mortalité des crevettes suivant un transfert en saison fraîche. Note à diffusion limitée aux écloséries du GFA, Septembre 2003.
- Goarant C., L. Chim (2003b) Limitation de la mortalité induite par les transferts de crevettes en saison fraîche : Diagnostic thérapeutique du Syndrome 93 ; Approche physiologique de la problématique ; Applications possibles. Présentation en réunion du GFA – écloséries, 3 octobre 2003.
- Goarant,C., Régnier,F., Brizard,R., Marteau,A.L., 1998. Acquisition of susceptibility to *Vibrio penaeicida* in *P.stylostris* larvae and juveniles. *Aquaculture* 169.p.291-296
- Griessinger,J.M.,1994. Rapport de mission à la SODACAL .Octobre 1994.Rapport IFREMER
- Hernandez-herrera,R., Perez-Rostro,C.L., Arcos, F., Ramirez,J.L., Ibarra,A.M.,Placios,E., Racotta,I.S.,2001. Predictive criteria of shrimp larval quality : an experimental evaluation. Larvi'01-Fish and shellfish larviculture symposium
- Hopkins,J.S., Browdy, C.L., Sandifer, P.A., Stokes, A.D.,1992. The relation ship between feeding rate, paddle wheel aeration rate and expected dawn dissolved oxygen in intensive shrimp ponds. *Aquacultural engineering*.0144-8609.p:281-289
- Jory D.E, 1995. feed management practices for a healthy pond environment.in C.L. Browdy & 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.118-143
- La Rosa, T., Mirto, S., Mazzola, A., Danovaro, R.,2001. Differential responses of benthic microbes and meiofauna to fish-farm disturbance in coastal sediments.*Environmental Pollution* [Environ. Pollut.]. Vol. 112, no. 3, pp. 427-434. 2000
- La Rosa, T., Mirto, S., Mazzola, A., Maugeri., T.L.,2004. Benthic microbial indicators of fish farm impact in a coastal area of the Tyrrhenian Sea.*Aquaculture* 230 (2004).p: 153-167
- Lemonnier,H., Brizard,R., 1998. Caractérisation des fonds de bassins des différentes fermes aquacoles de Nouvelle-Calédonie. SODACAL bassin W. Fiche biotechnique N°98-17.26p.
- Lemonnier,H., Brizard,R., 2000. Caractérisation des fonds de bassins des différentes fermes aquacoles de Nouvelle-Calédonie. SODACAL bassin G. Fiche biotechnique N°2000.01.18p.
- Manini, E., Fiordelmondo, C., Gambi, C., Pusceddu,A., Danovaro, R. 2003. Benthic microbial loop functioning in coastal lagoons: a comparative approach. *Oceanologica acta* [Oceanol. Acta]. Vol. 26, no. 1, pp. 27-38. 2003
- Mazzola, A., Mirto, S., Danovaro, R.1999. Initial Fish-Farm Impact on Meiofaunal Assemblages in Coastal Sediments of the Western Mediterranean. *Marine Pollution Bulletin* [Mar. Pollut. Bull.]. Vol. 38, no. 12, pp. 1126-1133. Dec 1999
- 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* [ICES J. Mar. Sci.]. Vol. 57, no. 5, pp. 1454-1461. Oct 2000
- Mirto, S., La Rosa, T., Danovaro, R., Mazzola, A.,2000. Microbial and Meiofaunal Response to Intensive Mussel-Farm Biodeposition in Coastal Sediments of the Western Mediterranean. *Marine Pollution Bulletin* [Mar. Pollut. Bull.]. Vol. 40, no. 3, pp. 244-252. Mar 2000
- Mirto, S., La Rosa, T., Gambi, C., Danovaro, R., Mazzola, A.,2002. Nematode community response to fish-farm impact in the western Mediterranean. *Environmental Pollution* [Environ. Pollut.]. Vol. 116, no. 2, pp. 203-214. 2002
- Racotta,I.S., Palacios,E., Ibarra,A.M., 2001. Shrimp larval quality as a function of broodstock condition. Larvi'01-Fish and shellfish larviculture symposium
- Rapport IFREMER (2005). Etat des connaissances sur le « Syndrome d'été » affectant les élevages de *Litopenaeus stylostris* en Nouvelle-Calédonie. DAC, 29p.
- Samocha,T.M., Guajardo,H., Ce, A.L., Castille,F.L., Speed,M., McKEE,D.A., Page,K.I., 1998. A simple stress test for *Penaeus vannamei* postlarvea. *Aquaculture* 165.p: 233-242
- Santacruz,J., 2001. Pruebas preliminares de evaluacion para determiannr la calidad de pôst larvas de L.vannamei. CENAIM INFORMA.Boletin informativo quincenal .1p.
- Tacon,A.G.J., 1993. Feed formulation and on-farm feed management.p.61-74. In M.B.News,A.Tacon and I.Csvas (eds.) Farm made aquafeeds.Proceedings of the FAO/AADCP regional expert consultation .14-18 december 1992,Bangkok,Thailand.434p.
- Villalon J.R, 1991. Practical manual for semi intensive commercial production of marine shrimp.Tamu SG91501.104 p.