

Détermination d'indicateurs de performance des élevages de crevettes en Nouvelle-Calédonie



Détermination d'indicateurs de performance des élevages de crevettes en Nouvelle-Calédonie

Ce rapport doit être cité comme suit :

Ramage Y., B. Soulard, B. Beliaeff et J.Herlin. 2011. Détermination d'indicateurs de performance des élevages de crevettes en Nouvelle-Calédonie. Rapport Ifremer /LEAD/RST 2011-03, 28p. + annexes.

Sommaire

INTRODUCTION	2
1. DONNEES UTILISEES.....	2
1.1. BASES DE DONNEES UTILISES.....	2
1.2. PARAMETRES ETUDIES.....	2
1.3. PERIODE D'ENSEMENCEMENT ET DECOUPAGE TEMPOREL	3
2. IDENTIFICATION DES INDICATEURS DE PERFORMANCE DES ELEVAGES	4
2.1. METHODE D'ESTIMATION DE LA PRODUCTIVITE DES ELEVAGES	4
2.2. CARACTERISATION DES « BONS » ELEVAGES :.....	6
2.2.1. Exemple d'arbre de décision utilisant des indicateurs de performance	6
2.2.2. Exemple de construction de l'élément unitaire de l'arbre de décision : le nœud	8
2.3. MULTIPLICATION DES ARBRES DE DECISIONS	9
2.4. TRAITEMENT DES DONNEES	9
2.5. RESULTATS.....	10
2.5.1. Concentration minimale en oxygène.....	10
2.5.2. Ecart journalier de concentration oxygène	11
2.5.3. Ration cumulée	11
2.5.4. Température	12
2.5.5. Ecart-type de la température.....	12
2.5.6. Salinité	13
2.6. ORIGINE DE L'ALIMENT ET DES PL.....	13
2.7. DISCUSSION	16
3. ETUDE D'UN DES INDICATEURS DE PERFORMANCE : LA DYNAMIQUE ALIMENTAIRE	18
3.1. INTRODUCTION.....	18
3.2. ETUDE DES CORRELATIONS ENTRE RATION ET PERFORMANCE PAR FERME ET PAR SAISON	21
3.3. RESULTAT : TYPOLOGIE DE L'AJUSTEMENT DE LA RATION	22
3.3.1. Type 1 : Ajustement quasi optimal.....	22
3.3.2. Type 2 : Ajustement au poids moyen sans prise en compte du nombre d'animaux.....	23
3.3.3. Type 3 : absence d'ajustement.....	25
3.3.4. Type 4 : Cas particuliers des élevages à faible densité d'ensemencement.....	26
CONCLUSION	27
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	28
ANNEXE METHODOLOGIQUE.....	29
METHODES D'EXTRACTION ET DE SELECTION DE L'INFORMATION ISSUE DES ARBRES DE DECISION	29

Introduction

La production de crevettes en Nouvelle-Calédonie a été estimée à 1813 tonnes pour la campagne de production 2008-2009. La filière regroupe 18 fermes, pour une surface totale de bassins de 730 ha. L'espèce de crevette élevée, *Litopenaeus stylirostris* a été choisie en raison de sa tolérance aux variations de température, de ses bonnes performances de croissance et de sa robustesse. Cependant, malgré les prédispositions de cette espèce, la productivité peut être drastiquement diminuée par des épisodes de mortalité (impliquant majoritairement des vibrioses), ou de mauvaises croissances.

Les moyens d'action d'un éleveur sur son bassin étant limités (nourrissage, renouvellement en eau, et éventuellement aération), la pleine réussite d'un élevage ne saurait se faire sans une gestion raisonnée. En effet, les bassins d'élevage sont à considérer comme des écosystèmes complexes où chaque action de forçage est susceptible d'altérer l'équilibre dynamique entre les nombreux compartiments. La compréhension du fonctionnement de l'écosystème bassin est donc une des clés permettant d'empêcher l'apparition de phénomènes néfastes et de conduire des élevages satisfaisants en termes de croissance et de survie.

Les données de production issues des fermes constituent une grande source d'information susceptible d'accroître les connaissances sur le fonctionnement des élevages de crevettes. L'observation des données d'élevage a notamment permis d'aider à déterminer quels étaient les facteurs impliqués dans le déclenchement des mortalités associées à des bactéries du genre *Vibrio* (*Vibrio penaeicida* et *Vibrio nigripulchritudo*) (Mermoud *et al.* 1998, Lemonnier *et al.* 2006). La bancarisation des données zootechniques et environnementales collectées au cours d'un élevage peut ainsi conduire à une meilleure compréhension de l'écosystème bassin ainsi qu'à l'optimisation de la production. Afin de permettre l'archivage, le partage et l'analyse de ces données, une base de données a été créée. De ce projet est né un véritable outil de gestion de fermes aquacoles, nommé Stylog-module ferme, permettant d'archiver les données, de réaliser des simulations d'élevages et de les consulter sous forme de graphiques et de synthèses (Soulard, 2008).

La première étude des données Stylog, intitulée «Premières approches pour l'analyse de données d'élevages de crevettes marines en nouvelle Calédonie» a identifié de possibles indicateurs de productivité (Frappier *et al.*, 2008). L'objectif du travail présenté ici vise à identifier les conditions zootechniques et environnementales ayant abouti aux meilleures performances. Ceci a été rendu possible par la mise au point d'une méthode de caractérisation des conditions dans lesquelles se sont déroulées les bons élevages, eux même identifiés par une méthode standardisée.

1. Données utilisées

1.1. Bases de données utilisés

L'étude a été réalisée à partir de huit bases de données, regroupant près de 300 élevages qui se sont déroulés de 2000 à 2009. Seules les bases de données suffisamment conséquentes et ne comportant pas d'élevages expérimentaux ont été prises en compte. Les bases Stylog utilisées sont listées dans le tableau 1.

Tableau 1: Bases de données utilisées

Ferme	Date d'obtention	Version Stylog
AQUAMON	09/09/2009	V6
FAO	11/10/2009	V6.1
APRIL	11/10/2009	V6.1
MONTAGNES BLANCHES	11/08/2009	V6.1
POINTE MONOT	08/12/2009	V6
SODACAL	11/10/2009	V6.1
TOURNIER	15/06/2009	V6.1
WEBUIHOONE	25/08/2009	V6.1

Les élevages ayant une densité d'ensemencement supérieure à 30 PL/m² n'ont pas été utilisés car les pratiques zootechniques diffèrent (aération, distributions d'aliment, ...) des autres élevages disponibles. Les élevages dits intensifs (> 30 PL/m²) représentent moins de 2% du jeu de données.

1.2. Paramètres étudiés

Les indicateurs de performance potentiels recherchés dans cette étude sont élaborés à partir des paramètres environnementaux et zootechniques suivants :

- ✓ Concentration en oxygène minimale et maximale journalière (mg/l),
- ✓ Ecart de concentration en oxygène journalier (mg/l),
- ✓ Température minimale et maximale journalière (°C),
- ✓ Ecart de température journalier (°C),
- ✓ Mesure journalière du Secchi (cm),
- ✓ Salinité journalière (ppm),
- ✓ Ration cumulée à l'hectare (kg/ha),
- ✓ Ration cumulée pour 1000 PL (kg/1000 PL).

Les paramètres présentant trop de valeurs manquantes n'ont pas pu être pris en compte. C'est le cas pour le taux de renouvellement, le pH et les données de fluorescence. Pour chaque paramètre, les statistiques suivantes peuvent être calculées :

- ✓ Minimum,
- ✓ Maximum,

- ✓ Moyenne,
- ✓ Médiane,
- ✓ Ecart-type,
- ✓ Quantile à 10% ou à 90% (valeurs situées dans les dix premiers ou les dix derniers pour cent des données classées).

1.3. Période d'ensemencement et découpage temporel

Pour s'affranchir des risques de biais liés à la saisonnalité, les élevages ont été répartis en trois périodes d'ensemencement :

- ✓ juillet, août, septembre, que l'on abrège en « JAS »,
- ✓ octobre, novembre, décembre, « OND »,
- ✓ janvier, février, mars, « JFM ».

Ce découpage empirique, basé sur les principales périodes d'ensemencement, a été proposé et validé par un groupe de professionnels et de scientifiques lors de la réunion technique du 28 mars 2008 à Bourail.

Du fait des pêches partielles réalisées après 100 jours d'élevage, on fait l'hypothèse que les conditions du milieu peuvent être modifiées, ce qui entraînerait un biais dans l'analyse comparative des données d'élevages. La période retenue des 100 premiers jours peut être divisée en deux parties : 0 – 50 et 50 - 100 jours afin de distinguer les différentes phases de l'élevage et d'identifier les stades critiques (Lemonnier, 2007) :

- ✓ 0 à 50 jours d'élevage,
- ✓ 50 à 100 jours,
- ✓ 0 à 100 jours.

2. Identification des indicateurs de performance des élevages

2.1. Méthode d'estimation de la productivité des élevages

Afin d'identifier les « bons » élevages, un indice d'estimation de la productivité a été mis au point, ce dernier devant être aisément interprétable. Cet indice, nommé quantile de réussite d'un élevage, se définit selon la position de l'élevage dans le classement d'un indice zootechnique, ramenée sur 100 (voir l'exemple dans le tableau 2). L'indice zootechnique choisi doit refléter les performances des élevages sans être biaisé par les différences de stratégies. Nous estimons que le meilleur indice pour construire le quantile de réussite est la biomasse pêchée pour 1000 post-larvesensemencées, pour les raisons suivantes :

- ✓ Cet indice est couramment utilisé et est donc facilement interprétable par les aquaculteurs.
- ✓ Il permet de faire abstraction des contraintes économiques liées à l'aliment pour ne tenir compte que de la quantité produite et de la survie.
- ✓ Cet indice est égal à la survie multipliée par le poids moyen pondéré et n'est donc pas impacté par la stratégie de pêche.
- ✓ Frappier *et al.* (2008) ont montré que la survie ou le rendement à l'hectare sont redondants par rapport à cet indice.

Tableau 2 : Exemple de calcul du quantile de réussite

Élevage	Productivité (kg/1000 PL)	Rang (sur 45 élevages)	Quantile de réussite : $100 \times (\text{rang} / \text{nombre d'élevages})$
A	11,4	25ème	$100 \times (25/45) \approx 56$
B	21,3	2ème	$100 \times (2/45) \approx 4$

- **Un élevage sera classé « bon » si son quantile de réussite est faible car les premiers rangs correspondent aux meilleurs élevages !**

Les graphiques de la figure 1 permettent d'estimer la proportion d'élevages dont la productivité est supérieure aux valeurs identifiées dans les histogrammes.

La proportion de « bons » élevages a ainsi été fixée à 30%, valeur pour laquelle on observe une rupture de pente.

La détermination de ce seuil permet de classer les élevages, grâce aux règles suivantes :

- ✓ Les élevages ayant un quantile de réussite inférieur à 30 sont classés comme « bons ».
- ✓ Les élevages ayant un quantile de réussite supérieur à 70 sont classés comme « mauvais ».
- ✓ Les élevages ayant un quantile de réussite compris entre 30 et 70 ne sont pas pris en compte pour davantage de contraste.

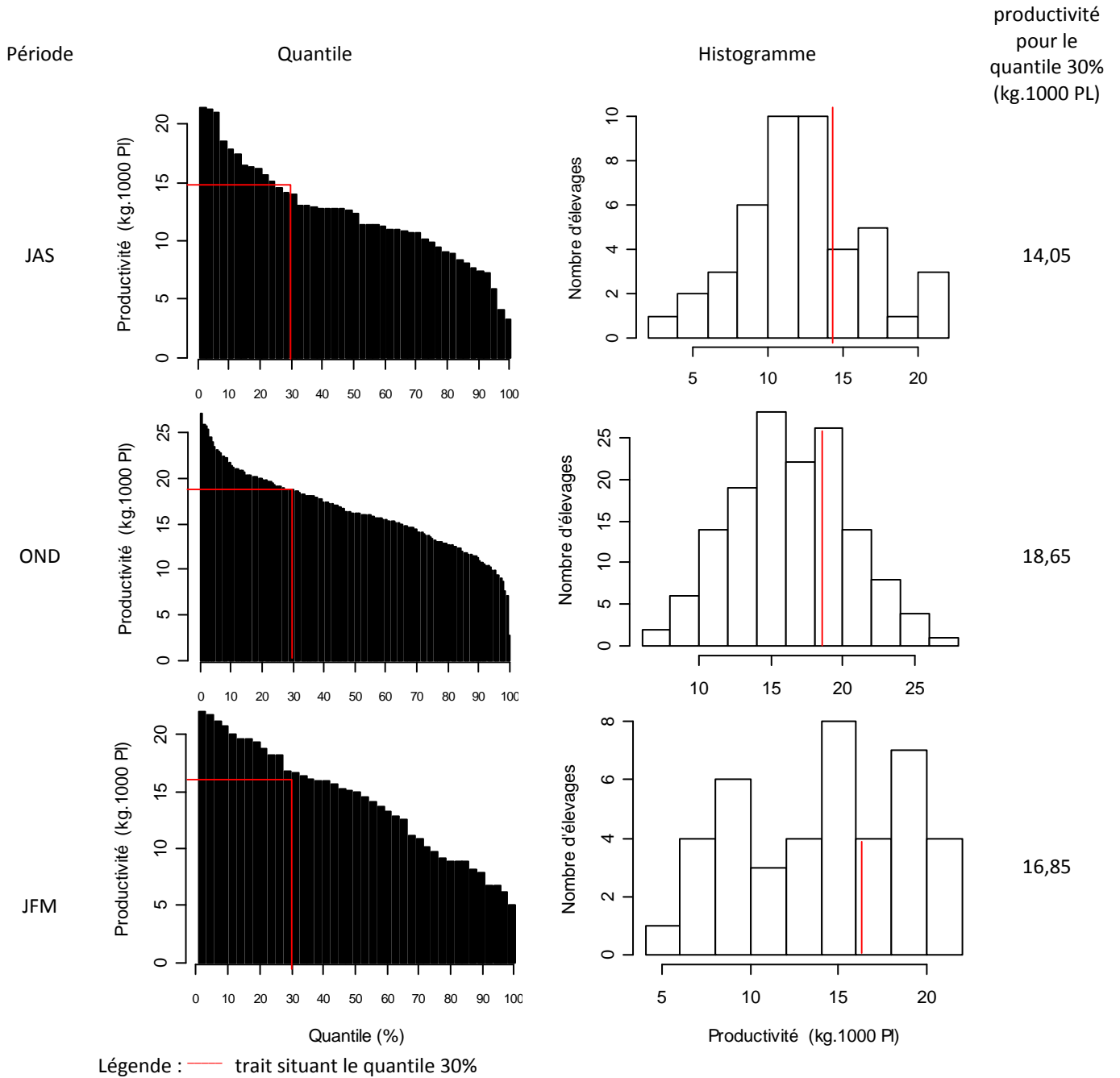


Figure 1 : Répartition des élevages par quantiles et histogramme de répartition de la productivité

Une fois les élevages classés comme « bons » ou « mauvais », les jeux de données comprennent une ligne par élevage, dans laquelle est indiquée la classe et les valeurs de chaque variable retenue.

Tableau 3 : Exemple de tableau de données où les élevages sont classés comme bons ou mauvais

Elevage	Classe	Quantile	Ration cumulée 1000 PL 0 à 100 j (kg/1000 PL)	Quantile 10 températures minimales 0 à 50 jours (°C)	...	Secchi 0 à 50 j (cm)
A	Bon	30	18,37	21,00	...	46,8
B	Bon	13	17,52	21,00	...	73,8
C	Mauvais	75	14,86	20,80	...	74,6
...
ZZ	Mauvais	86	13,29	21,00	...	67,4

2.2. Caractérisation des « bons » élevages :

A partir du classement déterminé précédemment, il est alors possible de caractériser des « bons » et des « mauvais » élevages par l'utilisation des arbres de décision (cf. figure 2) via le package rpart de R (Therneau *et al.*, 2010). Les arbres de décision sont le fruit d'algorithmes capables d'élaborer des méthodes de tri conduisant à des classes préétablies.

2.2.1. Exemple d'arbre de décision utilisant des indicateurs de performance

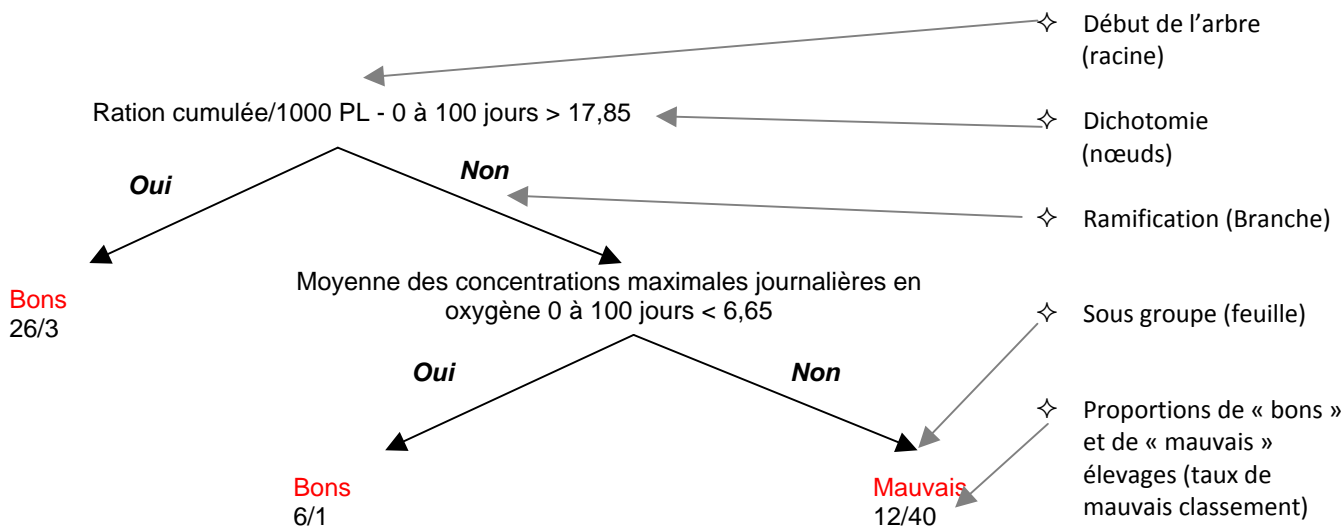


Figure 2 : Exemple d'arbre de décision permettant de distinguer les « bons » et « mauvais » élevages

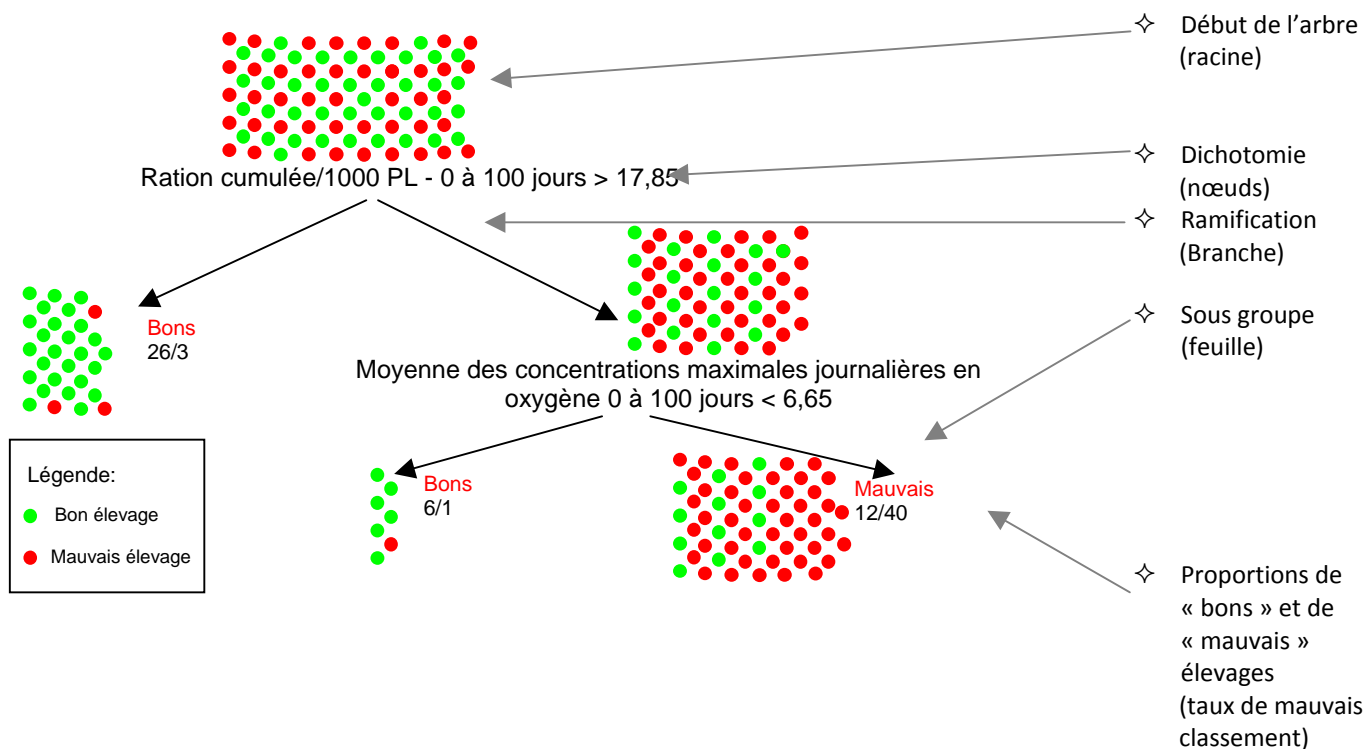


Figure 2 bis : représentation de l'arbre de décision de la figure 2 en termes d'effectifs par classe

L'arbre de décision de la figure 2 a été conçu pour un jeu de données comportant 88 élevages équitablement répartis en « bons » ou « mauvais ». Le premier nœud répartit les élevages en deux sous groupes :

- ✓ Celui des élevages dont la ration cumulée pour 1000 PL au bout de 100 jours est supérieure à 17,85 kg. Ce sous groupe ne sera pas re-divisé, il s'agit donc d'une feuille terminale, composée de 26 « bons » élevages et 3 « mauvais ».
- ✓ Celui des élevages dont la ration cumulée pour 1000 PL au bout de 100 jours est inférieure à 17,85kg. Ce sous groupe sera divisé par le second nœud qui donne ainsi lieu à deux nouveaux sous-groupes :
 - Celui dont la moyenne des concentrations maximales journalière en oxygène de 0 à 100 jours est inférieure à 6,65 ppm. Ce sous groupe ne sera pas re-divisé, il s'agit donc d'une feuille terminale, composée de 6 « bons » élevages et 1 « mauvais ».
 - Celui dont la moyenne des concentrations maximales journalière en oxygène de 0 à 100 jours est supérieure à 6,65 ppm. Ce sous groupe ne sera pas re-divisé, il s'agit donc d'une feuille terminale, composée de 12 « bons » élevages et de 40 « mauvais ».

Nb : Pour les arbres de décision de cette étude, les nœuds comportent une variable (ex : Ration cumulée 1000 PL 0 à 100 jours), un signe (ex : >) et un seuil (ex : 17,85) qui est une valeur numérique.

Cet exemple illustre comment le classement pré-établi grâce au quantile de réussite, peut conduire à une méthode de tri objective et entièrement basée sur des données zootechniques.

Les deux nœuds de cet arbre de décision sont deux critères distinguant les « bons » élevages et les « mauvais » élevages et constituent ainsi deux règles basées sur des indicateurs de performance potentiels.

2.2.2. Exemple de construction de l'élément unitaire de l'arbre de décision : le nœud

Comme le montre la figure 2, les arbres de décision sont composés d'une suite de nœuds correspondant à des valeurs choisies dans le jeu de données par l'algorithme. Cette sélection est faite en fonction de leur capacité à diminuer le taux de mauvais classement, calculable par la mesure de la diminution de l'impureté au sens de Gini (Saporta., 2006) :

$$2 \frac{n_1 n_2}{n^2} (p_1 - p_2)^2$$

où :

- ✓ n_1 = nombre d'individus respectant la condition (exemple secchi moyen > 61 cm)
- ✓ n_2 = nombre d'individus ne respectant pas la condition
- ✓ n = nombre total d'individu
- ✓ p_1 = proportion d'individu de n_1 classés comme « bon »
- ✓ p_2 = proportion d'individu de n_2 classés comme « bon »

La valeur ayant l'indice le plus fort est celle qui permet le meilleur classement des élevages, elle sera donc utilisée comme nœud (exemple : Ration cumulée 1000 pl 0 à 100 jours > 17,85 kg).

Le tableau 4 présente un jeu de données, où V.1 et V.2 sont des variables zootechniques ou environnementales.

Tableau 4 : Jeu de données pour exemple de calcul de seuil

Elevage	Classe	V.1	V.2
A	Bons	1	4,5
B	Bons	3	9
C	Mauvais	2	13,2
D	Mauvais	4	18

Le tableau 4 bis présente le calcul de la diminution de l'impureté au sens de Gini pour chaque valeur.

Tableau 4 bis : diminution de l'impureté au sens de GINI pour chacune des valeurs du jeu de données

V.1		V.2	
Valeur	Mesure	Valeur	Mesure
1	$2 \frac{1 \times 3}{4^2} (\frac{1}{1} - \frac{1}{3})^2 = 0,16$	4,5	$2 \frac{1 \times 3}{4^2} (\frac{1}{2} - \frac{1}{2})^2 = 0,16$
3	$2 \frac{3 \times 1}{4^2} (\frac{2}{3} - \frac{0}{1})^2 = 0,16$	9	$2 \frac{2 \times 2}{4^2} (\frac{2}{2} - \frac{0}{2})^2 = 0,5$
2	$2 \frac{2 \times 2}{4^2} (\frac{1}{2} - \frac{1}{2})^2 = 0$	13,2	$2 \frac{3 \times 1}{4^2} (\frac{2}{3} - \frac{0}{1})^2 = 0,16$
4	$2 \frac{4 \times 0}{4^2} (\frac{2}{4} - \frac{0}{0})^2 = 0$	18	$2 \frac{4 \times 0}{4^2} (\frac{2}{4} - \frac{0}{0})^2 = 0$

La diminution de l'impureté au sens de GINI est la plus élevée si la variable 2 est ≤ 9 .

$$2 \times \frac{(N \text{ où } V.2 \leq 9) \times (N \text{ où } V.2 > 9)}{N_{\text{total}}^2} \times \left(\frac{N \text{ bons dont } V.2 \leq 9}{N \text{ où } V.2 \leq 9} - \frac{N \text{ bons dont } V.2 > 9}{N \text{ où } V.2 > 9} \right)^2$$

Soit $2 \frac{2 \times 2}{4^2} \left(\frac{2}{2} - \frac{0}{2} \right)^2 = 0,5$

Le premier nœud de l'arbre de décision pour le jeu de données présenté est donc $V.2 \leq 9$ puisque cette valeur permet la plus grande diminution du taux de mauvais classement. Cet exemple illustre de façon très simplifiée la construction d'un nœud. Cependant, afin que les arbres de décision soient les plus pertinents possibles, les algorithmes optimisent le nombre de nœuds de chaque arbre de façon à éviter de décrire les cas particuliers. On parle alors de sur-ajustement du modèle. L'exemple présenté ici est donc de trop petite taille pour aboutir à un véritable arbre de décision, mais permet de comprendre comment sont déterminés les nœuds

2.3. Multiplication des arbres de décisions

Selon la méthode présentée précédemment, un jeu de données ne peut aboutir qu'à un seul arbre, qui ne délivre pas assez d'information pour distinguer l'ensemble des indicateurs de performance. La méthode *random forest* peut surmonter ce problème en éditant un très grand nombre d'arbres à partir d'un seul jeu de données, chacun étant issu d'une fraction aléatoire de variables.

Les standards de la méthode *random forest* sont d'éditer 500 arbres à partir de variables sélectionnées aléatoirement à chaque itération. Le nombre de variables utilisées pour chaque arbre correspond à la racine carrée du nombre total de variables (24 variables sont utilisées dans cette étude). Deux méthodes d'extraction et de sélection de l'information (méthode du premier nœud et méthode des branches distales) ont été mises au point et sont présentées en annexe méthodologique. En effet, il est possible que certains nœuds ne soient pas fiables car édités pour des sous groupes de trop petite taille ou d'une trop grande hétérogénéité. Les méthodes dites du « premier nœud » ou des « branches distales » permettent d'obtenir une information fiable directement exploitable.

Définir les seuils capables de distinguer les « bons » et les « mauvais » élevages pour chacune des variables en se limitant au seul calcul de la diminution de l'impureté au sens de Gini paraît beaucoup plus simple que d'utiliser des arbres de décision générés par la méthode de *random forest*. Cependant, dans ce cas, n'importe quelle variable apparaîtrait forcément comme un indicateur de performance, ce qui est évidemment faux. L'utilisation de la méthode de *random forest* couplée aux deux méthodes de traitement proposées en annexe méthodologique permet de garantir la robustesse de l'information et est donc indispensable à l'interprétation.

2.4. Traitement des données

En résumé, l'identification des indicateurs de performance pour chaque saison d'ensemencement passe par les trois étapes suivantes :

1. Classement des élevages comme « bons » ou « mauvais » en fonction de leur quantile de réussite basé sur la productivité.
2. Edition de 500 arbres de décision par la méthode *random forest*.
3. Sélection des nœuds fiables, soit par la méthode du premier nœud soit par la méthode des branches distales permettant de définir les indicateurs de performance potentiels.

2.5. Résultats

Pour les variables ayant abouti à des nœuds estimés comme fiables, la valeur permettant de distinguer les « bons » des « mauvais » élevages sera appelée « seuil ».

La méthode de *random forest* repose sur des simulations aléatoires. Il est donc possible que toutes les simulations réalisées ne permettent pas d'identifier un seuil pour chaque indicateur. Le fait qu'une variable n'ait pas de seuil peut s'expliquer de deux façons :

- ✓ soit la variable n'est pas un indicateur de performance,
- ✓ soit la variable est un indicateur de performance qui n'a pas pu être identifié.

La précision des seuils est inhérente à la méthode et il n'est pas possible de définir d'intervalle de confiance. Cependant, ces seuils sont à voir comme des valeurs relatives, leur précision ne constituant pas un handicap.

Les valeurs marquées d'un astérisque sont issues de la méthode des branches distales (cf. annexe méthodologique).

Afin d'évaluer la pertinence des seuils, des graphiques de type nuage de point représentant les quantiles de réussite en fonction de chaque variable pour chaque saison ont été tracés. Ces figures sont présentées dans le document d'annexes graphiques.

2.5.1. Concentration minimale en oxygène

Tableau 5 : Seuils pour les concentrations minimales en oxygène

[O ₂] mini (mg/l)	Saison Jours	JAS	OND	JFM
Moyenne	0 - 50		< 4,5 *	
	50 - 100	< 4,0	< 4,1 *	< 4,2
	0 - 100	< 4,5	< 4,5 *	< 4,0
Quantile 10%	0 - 50	< 3,5	< 4,1 *	
	50 - 100	< 3,0	< 3,5 *	
	0 - 100	< 3,5		> 2,8

Dans l'ensemble, les élevages classés comme « bons » ont enregistré une concentration en oxygène minimale journalière moyenne inférieure à 4,2 mg/l. De même, le quantile 10% des concentrations en oxygène minimale journalière de ces élevages est inférieur à 3,3 mg/l.

Par rapport aux mauvais élevages, en terme de productivité, les « bons » élevages présentent des concentrations en oxygène minimales journalières plus faibles, que ce soit pour la moyenne ou le quantile 10%.

2.5.2. Ecart journalier de concentration oxygène

Tableau 6 : Seuils pour les écarts journaliers de concentrations oxygène

$\Delta[O_2]$ (mg/l)	Saison Jours	JAS	OND	JFM
Moyenne	0 - 50	> 3,1	> 2,8 *	
	50 - 100	> 4,5	> 4,8 *	> 4,5
	0 - 100	> 3,9	> 3,7 *	
Quantile 10%	0 - 50			
	50 - 100	> 6,1		
	0 - 100			

D'une manière générale, les élevages classés comme « bons » présentent un bilan journalier en oxygène supérieur à 3,9 mg/l. Un seul seuil est défini pour le quantile 10%, cette variable n'est donc probablement pas un indicateur de performance.

Ces seuils démontrent que les « bons » élevages, selon la productivité, ont des écarts journaliers de la concentration en oxygène particulièrement importants. Ces écarts importants peuvent s'expliquer par l'alternance de phases de production et de consommation d'oxygène, traduisant la présence d'une importante biomasse phytoplanctonique.

2.5.3. Ration cumulée

Tableau 7 : Seuils pour la ration cumulée pour 1000 PL et à l'hectare

Ration cumulée	Saison Jours	JAS	OND	JFM
Pour 1000 PL (kg)	0 - 50	> 4,0	> 5,5	
	50 - 100	> 13,6	> 12,9*	> 14,6
	0 - 100	> 17,0	> 20,6	> 21,0
Par ha (t)	0 - 50	> 0,8	> 0,9 *	> 1,3
	50 - 100	> 2,6	> 2,9 *	> 2,7
	0 - 100	> 3,5	> 3,9	> 3,8

Globalement, les élevages classés comme « bons » sont caractérisés par une ration cumulée pour 1000 post larves à 100 jours supérieure à 19,3 kg et une ration cumulée à l'hectare à 100 jours supérieure à 3,6 tonnes.

Ces seuils indiquent que les meilleurs élevages, selon la productivité, consomment davantage d'aliment, et ce, même pour la période 0 - 50 jours.

2.5.4. Température

En ce qui concerne la température, les élevages classés comme « bons » sont caractérisés par :

- ✓ un quantile 10% des températures minimales journalières supérieur à 21,7°C,
- ✓ une moyenne des températures minimales journalières supérieure à 24,8°C,
- ✓ une moyenne des températures maximales journalières supérieure à 27,6°C.

Les meilleurs élevages en terme de productivité sont caractérisés par des températures généralement plus élevées mais sans être excessives comme cela est indiqué pour OND. Les différences de seuils d'une période à l'autre illustrent l'évolution des températures au fil de la saison.

Tableau 8 : Seuils pour la température

Température (°C)	Saison Jours	JAS	OND	JFM
Quantile 10% mini	0 - 50	> 20,6		
	50 - 100			> 22,4
	0 - 100	> 21,2		> 22,7
Moyenne mini	0 - 50	> 22,5		
	50 - 100		> 26,3*	> 24,8
	0 - 100		> 25,3* < 27,5*	> 25,5
Moyenne maxi	0 - 50	> 25,2	< 29,7*	
	50 - 100		> 28,8*	> 27,0
	0 - 100	> 27,7		> 28,3

2.5.5. Ecart-type de la température

Les élevages classés comme « bons » sont caractérisés par des écart-types de température minimale journalière inférieurs à 1,5 pour JAS et JFM mais supérieurs à 1,3 pour OND. De même les écart-types pour les températures maximales journalières sont inférieurs à 1,8 pour JAS et JFM et supérieur à 1,3 pour OND. Les variations sont probablement dues à l'augmentation de la température au cours de la saison.

Les « bons » élevages en termes de productivité de JAS et JFM sont caractérisés par des températures plus stables. A contrario les « bons » élevages pour OND ont vécu des variations de températures plus importantes. Il est possible que l'augmentation globale de température sur cette période soit cependant plus bénéfique que pour les autres périodes.

Tableau 9 : Seuils pour l'écart-type de la température

Ecart-type température	Saison Jours	JAS	OND	JFM
Mini	0 - 50	< 1,4	> 1,3 *	< 1,3
	50 - 100		> 1,6 *	
	0 - 100	< 1,7	> 1,7 *	< 1,9
maxi	0 - 50			< 1,5
	50 - 100		> 1,7*	
	0 - 100	< 1,8	> 1,3 *	

2.5.6. Salinité

Les élevages classés comme « bons » ont en moyenne :

- ✓ Un quantile 10% pour la salinité supérieur à 35 ppm pour JAS et JFM mais compris entre 27 et 37 ppm pour OND,
- ✓ Un quantile 90% pour la salinité supérieur à 38 ppm pour JAS et JFM.

Dans le cas de la salinité, les seuils ne sont définis que pour des valeurs marginales, exception faite d'un seul seuil pour la moyenne. Il est possible que ces seuils indiquent l'effet néfaste des basses salinités et non l'action bénéfique de valeurs hautes. Conformément à cette hypothèse la salinité ne sera pas par la suite considérée comme un indicateur de performance.

Tableau 10 : Seuils pour la salinité

Salinité (ppm)	Saison Jours	JAS	OND	JFM
Quantile 10%	0 - 50	> 36,7		
	50 - 100		< 37,9*	> 34,5
	0-100	> 36,2	> 27,7*	
Moyenne	0-50			
	50-100			
	0-100			> 35,9
Quantile 90%	0-50	> 39,5		
	50-100	> 40,3		
	0-100			> 38,7

2.6. Origine de l'aliment et des PL

L'origine de l'aliment et des post-larves n'étant pas des variables quantitatives, elles ne peuvent pas être prises en compte par les arbres de décision. Les figures 3 et 4 illustrent la productivité moyenne et le nombre d'élevages en fonction de l'écloserie ou du provendier, par saison et par campagne. Ces figures ne permettent pas de distinguer l'effet ferme d'un éventuel effet écloserie ou provendier. Cette étude, telle qu'elle est menée ici, ne permet pas de déterminer un éventuel effet ou non de l'origine de l'aliment ou des post-larves sur les performances d'élevage.

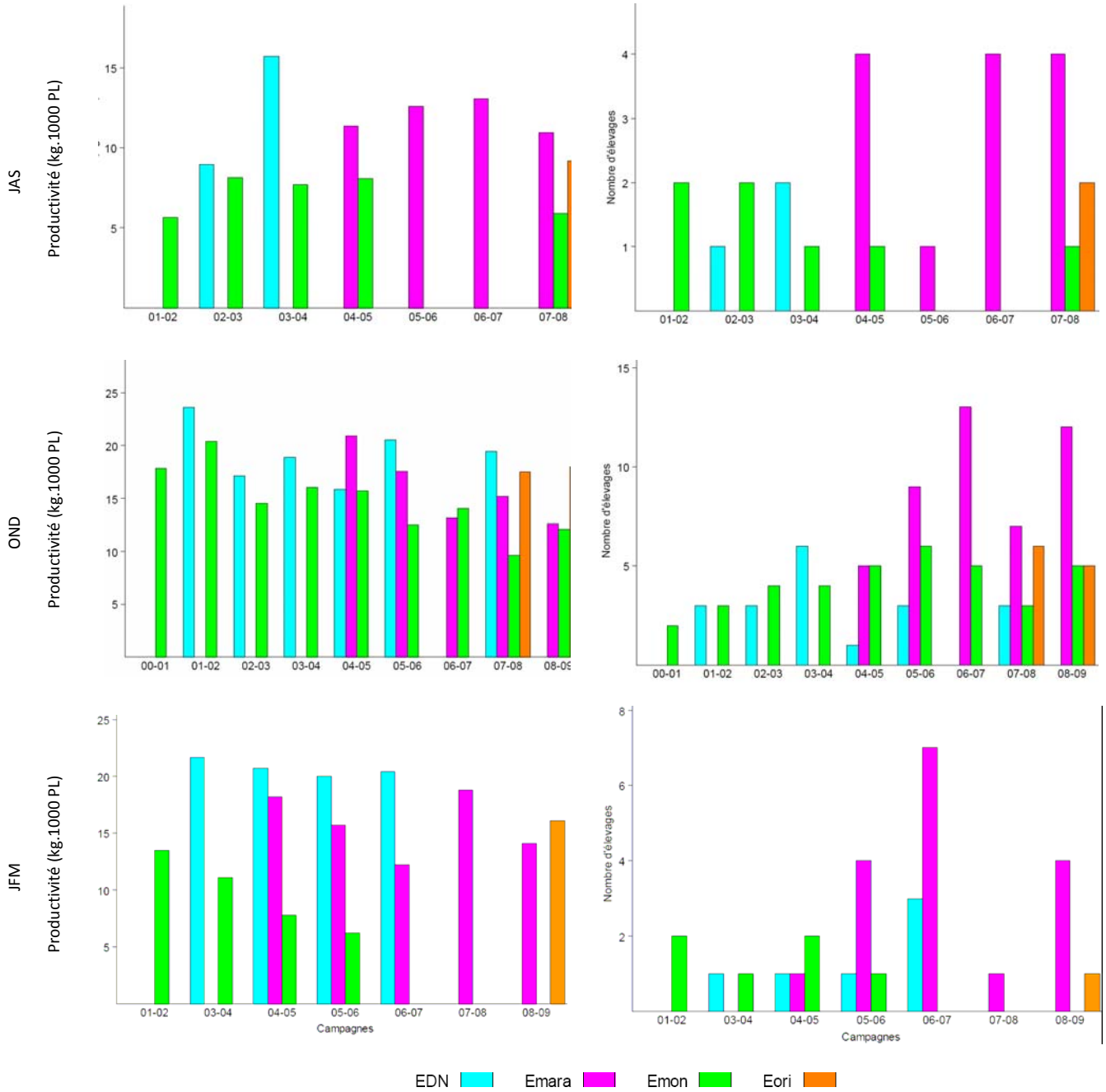


Figure 3 : Productivité et nombre d'élevages en fonction de l'origine des PL

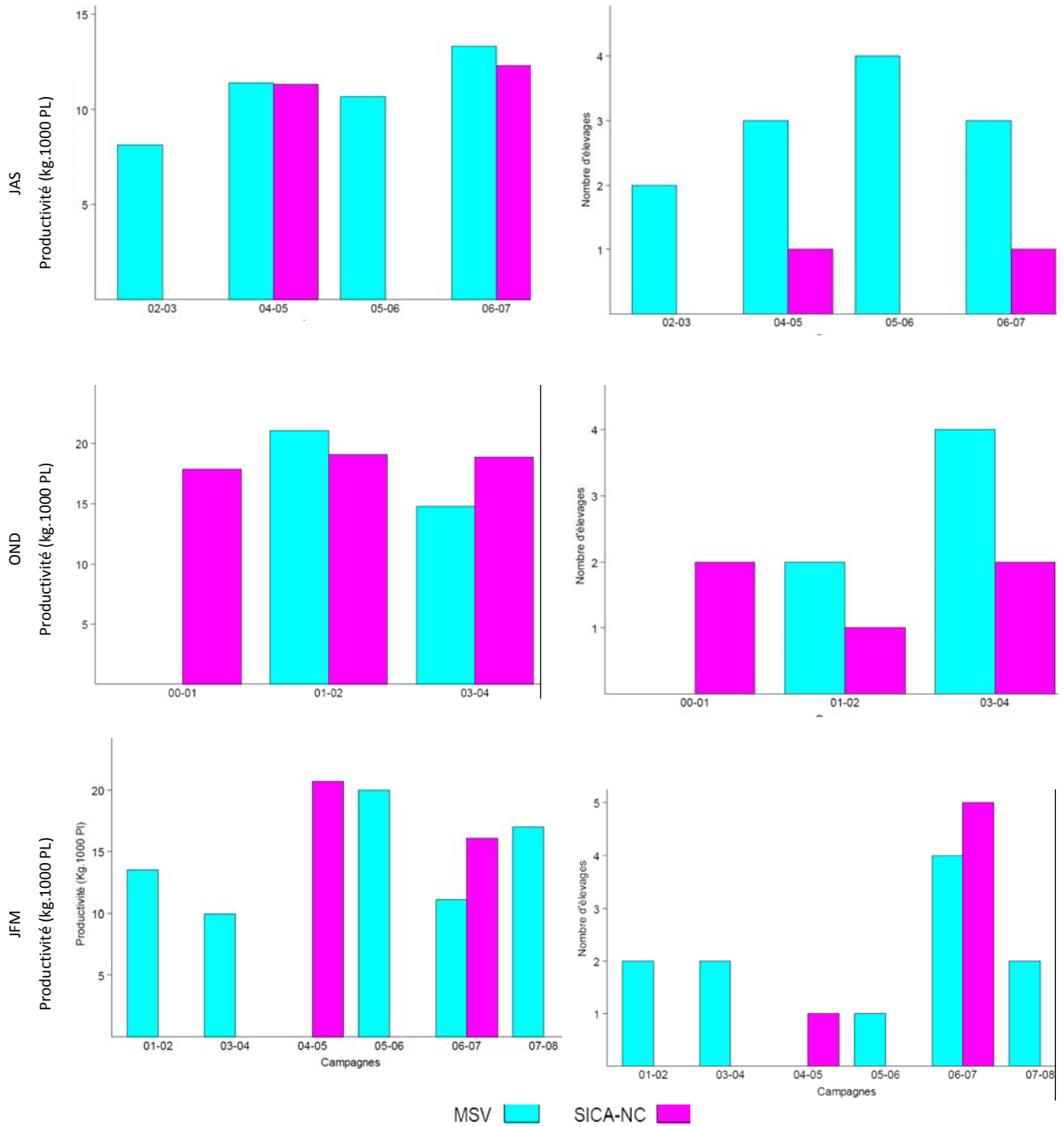


Figure 4 : Productivité et nombre d'élevages en fonction de l'origine de l'aliment

2.7. Discussion

La caractérisation des « bons » élevages en terme de productivité a permis d'identifier trois indicateurs de performance majeurs :

- ✓ une forte distribution en aliment,
- ✓ un bilan d'oxygène élevé, se traduisant par des concentrations minimales moyennes basses et des amplitudes journalières moyennes fortes,
- ✓ des températures modérément élevées et plus stables, excepté dans le cas de OND où les écarts sont dus à l'augmentation des températures liée à l'entrée en saison chaude.

Les indicateurs de performance correspondent à deux variables forçantes (température et aliment distribué) et à une résultante (la concentration en oxygène). Les indicateurs de performances peuvent être interprétés de la façon suivante :

- ✓ Une forte distribution d'aliment est en théorie reliée à une consommation élevée, conséquence de la présence d'une biomasse importante et à une bonne survie. La distribution d'aliment étant effectuée, en théorie, *ad libitum* grâce au système des mangeoires, sur-dimensionner la ration ne peut entraîner de gain de croissance.
- ✓ De fortes productions et consommations d'oxygène sont la conséquence d'une forte biomasse phytoplanctonique potentiellement favorable à la croissance et à la santé des animaux (Chien, 1992). Ce compartiment constitue un apport nutritif pour les animaux élevés (Della Patrona *et al.*, 2004) et permet d'épurer le système des sels nutritifs potentiellement toxiques (Chien, 1992). Toutefois, la forte biomasse du phytoplancton résulte d'un apport élevé en aliment (source directe et indirecte de nutriments pour sa croissance) et pourrait de ce fait n'être qu'une conséquence et non pas un indicateur de performance.

Les quantiles 10 % de la concentration en oxygène minimale sont inférieurs aux limites de tolérances de *L. stylirostris* (Mugnier et Soyer, 2005 ; Mugnier *et al.*, 2008 ; Wabete, 2005 ; Wabete *et al.*, 2006) Mais dans ce cas, on travaille sur un équilibre plus fragile, d'où une gestion « serrée » des pratiques zootechniques (aération) permettant de corriger ce paramètre en cas de besoin.

- ✓ Des températures modérément élevées et stables (excepté dans le cas d'OND, dues à l'évolution saisonnière de la température) permettent d'améliorer le confort des animaux (Lemaire *et al.*, 2002 ; Mugnier et Soyer, 2005) et freine l'apparition du syndrome d'hiver (Goarant *et al.*, 2004).

Les meilleurs élevages en termes de productivité sont ceux qui sont les plus nourris. Ils se seraient déroulés dans des conditions proches des capacités limites d'accueil et d'épuration de l'outil de production.

Toutefois, cette étude ne permet pas de définir l'origine des performances, mais caractérise les conditions ayant abouti aux meilleurs élevages. Tenter d'augmenter la productivité des élevages en agissant directement sur les indicateurs les caractérisant reviendrait à agir indépendamment des réalités zootechniques et mettrait en péril la réussite des élevages, par exemple, sur-nourrir ou abaisser la concentration en oxygène ne pourrait que nuire aux performances. Le fait que les concentrations en oxygène minimales des « bons » élevages soient régulièrement en dessous des

conditions de confort pour *L. stylirostris* (Mugnier et Soyez, 2005) montre que les capacités de charge des bassins sont pratiquement atteintes.

Les indicateurs définis par cette étude montrent que les élevages à forte productivité sont particulièrement risqués : les flux de matières importants et les concentrations en oxygène dangereusement basses sont autant de conditions favorables à une eutrophisation excessive du milieu, à un stress des animaux élevés et au final à l'apparition de syndrome (Lemonnier *et al.*, 2006 ; Herbland. *et al.*, 2008). Cette étude ne permet pas d'étudier l'impact d'un « bon » élevage sur l'avenir de son bassin. Cependant il a été montré un enrichissement organique du sédiment en fin d'élevage avec l'augmentation de la productivité (Lemonnier *et al.*, 2004). Cette dégradation du fond pourrait avoir des conséquences sur les élevages suivants (Herbland. *et al.*, 2008).

3. Etude d'un des indicateurs de performance : la dynamique alimentaire

3.1. Introduction

Afin de mieux étudier le lien entre la réussite des élevages et la distribution d'aliment, une méthode d'analyse graphique, a été spécialement mise au point. Appelée « dynamique alimentaire », son but est de comparer les rations cumulées, à l'hectare et pour 1000 PL, en fonction du temps ou de l'augmentation du poids moyen pour des groupes d'élevages d'une même ferme.

Les quantiles de réussite pour chaque élevage sont calculés pour deux indices :

- ✓ La productivité en kg pour 1000 PL.
- ✓ L'indice de conversion pondéré (ICP). Il s'agit de l'indice de conversion classique (quantité d'aliment distribuée totale / biomasse pêchée) divisée par le poids moyen pondéré de l'élevage et multiplié par 100.

$$\text{ICP} = \frac{\text{quantité d'aliment distribué totale}}{\text{biomasse pêchée totale} \times \frac{\text{biomasse pêchée totale}}{\text{Nombre d'animaux pêchés total}}} \times 100$$

L'utilisation de ces deux indices permet de mesurer l'efficacité de l'ajustement en termes de croissance et de survie d'une part et de valorisation de l'aliment d'autre part. Ces courbes sont tracées pour les périodes de 0 à 50 jours et de 0 à 100 jours.

Un graphique de dynamique alimentaire se compose des tendances de la ration cumulée, soit en fonction du poids moyen, soit en fonction des jours d'élevage, pour types d'élevages. Chaque type, présenté dans le tableau 11, correspond à une classe de quantile et donc à un niveau de performance.

Tableau 11 : Définition des groupes d'élevages et explication du tracé pour les graphiques de la dynamique alimentaire

groupes d'élevages	quantile de réussite	Courbe	Enveloppe de confiance	Courbe avec enveloppe de confiance
bons élevages	0 -30	—————	=====	=====
élevages moyens	35- 65	- - - - -	=====	- - - - -
mauvais élevages	70- 100	=====

Les élevages dont les quantiles de réussite sont compris entre 30 et 35 d'une part et entre 60 et 65 d'autre part n'ont pas été tracés afin de limiter le recouvrement des courbes.

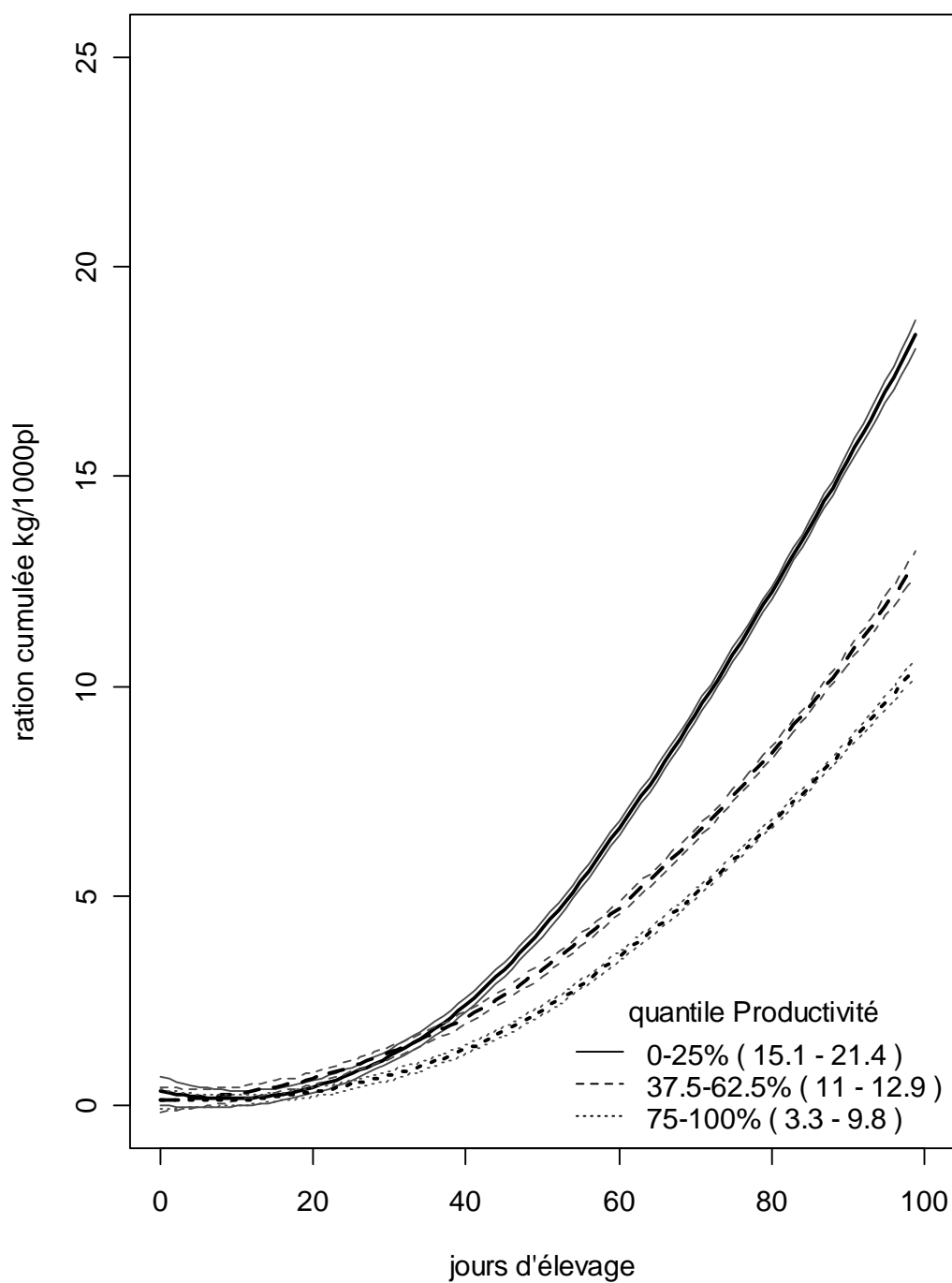


Figure 5 : Exemple de dynamique alimentaire

Les graphiques illustrant la dynamique alimentaire sont disponibles dans le document d'annexes graphiques.

Ces figures permettent d'étudier l'impact de la ration sur la productivité et de caractériser les différentes stratégies de nourrissage en fonction des fermes et/ou des périodes d'ensemencement. Le tableau 12 présente les trois corrélations possibles. Afin de caractériser les stratégies alimentaires de chaque ferme pour chaque saison, les graphiques ont été résumés grâce à un code couleur illustrant le type de corrélation entre ration cumulée et performance.

Tableau 12 : Corrélations entre ration et performance

Exemple	Ration la plus élevée	Ration intermédiaire	Ration la plus faible	Corrélation entre ration cumulée et performance	Code couleur
	bons élevages	élevages moyens	mauvais élevages	Positive	
	mauvais élevages	élevages moyens	bons élevages	Négative	
	élevages moyens	mauvais élevages ou bons élevages		Aucune	

Idéalement la ration donnée à un élevage devrait être non seulement proportionnelle à sa biomasse, mais aussi à ses performances en termes de croissance et de conversion. Cependant cette corrélation n'est pas toujours vérifiée et, dans certains cas, il est même observé la tendance inverse.

3.2. Etude des corrélations entre ration et performance par ferme et par saison

L'utilisation du code couleur décrit précédemment permet de mettre en évidence des patterns récurrents. Ces patterns illustrent la présence de similitudes dans les stratégies de gestion de l'aliment de chaque ferme. L'observation des dynamiques alimentaires de 0 à 50 jours permet d'étudier le lien entre la ration en début d'élevage et les performances finales ou la distribution sur l'ensemble de la période.

Tableau 14 : tableau récapitulatif des dynamiques alimentaires

saison d'ensemencement indice type de ration abscisses	Ferme Période	JAS								OND								JFM							
		Productivité				ICP				Productivité				ICP				Productivité				ICP			
		1000 PL		ha		1000 PL		Ha		1000 PL		ha		1000 PL		ha		1000 PL		ha					
		g*	j**	g	j	g	j	g	J	g	j	g	j	g	j	g	j	g	j	g	j				
Aquamon	0 - 50																								
	0 - 100																								
FAO	0 - 50																								
	0 - 100																								
Montagnes blanches	0 - 50																								
	0 - 100																								
Pointe Monot	0 - 50								***																
	0 - 100																								
Sodacal	0 - 50																								
	0 - 100																								
Tournier	0 - 50																								
	0 - 100																								
Webuihoone	0 - 50																								
	0 - 100																								

Légende :

- * Poids moyen (g)
- ** Jours d'élevage
- *** Impossibilité d'éditer le graphique du fait d'un manque de données



3.3. Résultat : Typologie de l'ajustement de la ration

L'ensemble des dynamiques alimentaires pour une même ferme et une même saison a permis de décrire les modalités de l'ajustement de la ration à la biomasse et ainsi d'évaluer son efficacité. Trois voies d'ajustement de la ration ont ainsi pu être caractérisées et évaluées. Le quatrième type d'ajustement traite des élevages à faible densité d'ensemencement qui constituent un cas particulier.

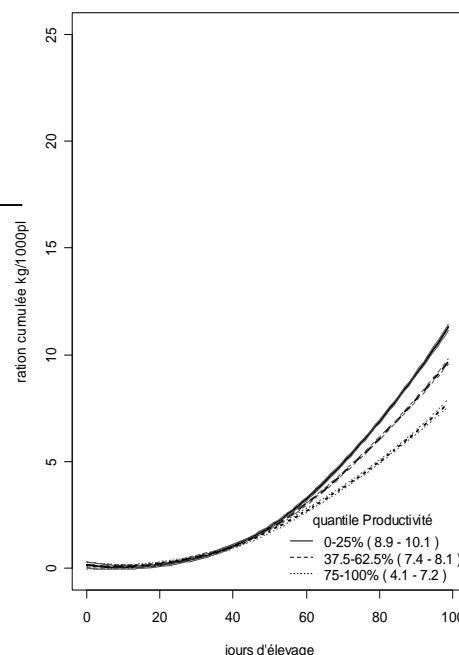
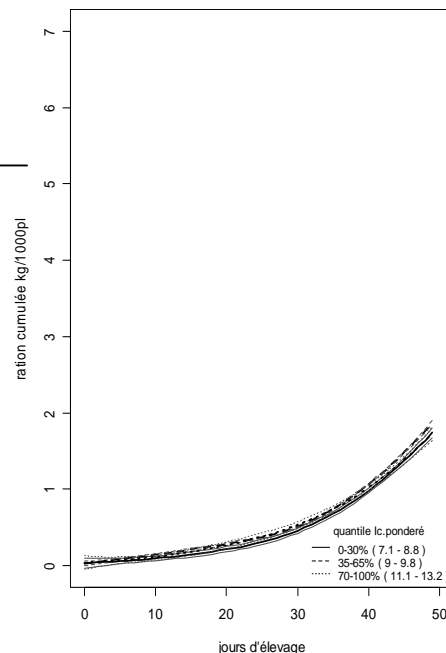
3.3.1. Type 1 : Ajustement quasi optimal

Indice		Productivité				ICP			
type de ration		1000 PL		ha		1000 PL		ha	
Abscisses		g	j	g	j	g	j	g	j
Ferme / saison	Période								
Aquamon / JAS	0 - 50								
	0 - 100								

Tableau 15: Tableau synthétique des dynamiques alimentaires correspondant à un ajustement quasi optimal

Pour une seule ferme et une seule saison, la distribution alimentaire est corrélée positivement à la fois à la productivité et à l'indice de conversion pondéré. Cette corrélation ne peut être observée que si l'on considère la période de 0 à 100 jours, les dynamiques de 0 à 50 jours n'indiquant aucune relation entre distribution et performance. Dans cette situation l'ajustement de la ration est en adéquation avec la biomasse et sa consommation alimentaire. Cependant cet ajustement n'a été observé que pour des élevages de très faible productivité. La qualité de l'ajustement ne suffit donc pas, à lui seul, à expliquer la réussite d'un élevage.

Exemple : Pour Aquamon en JAS, tous les graphiques établis pour la période de 0 à 100 jours montrent une corrélation positive entre ration cumulée et performance.



3.3.2. Type 2 : Ajustement au poids moyen sans prise en compte du nombre d'animaux

Indice		Productivité				ICP			
type de ration		1000 PL		ha		1000 PL		ha	
Abscisses		g	j	g	j	g	j	g	j
Ferme / saison	Période								
Aquamon / OND	0 - 50								
	0 - 100								
Sodacal / JAS	0 - 50								
	0 - 100								
Sodacal / OND	0 - 50								
	0 - 100								
Sodacal / JFM	0 - 50								
	0 - 100								
Webuihoone / JAS	0 - 50								
	0 - 100								
Webuihoone / OND	0 - 50								
	0 - 100								
Webuihoone / JFM	0 - 50								
	0 - 100								

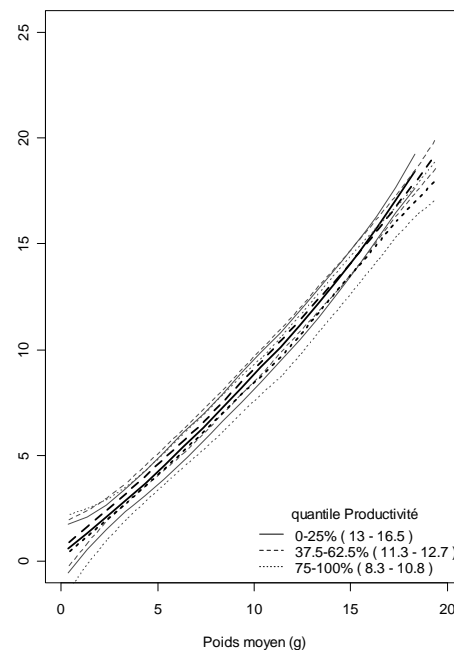


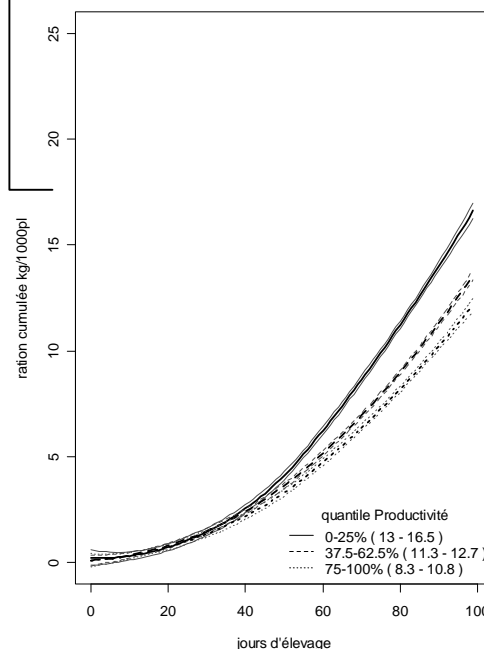
Tableau 16 : Tableau synthétique des dynamiques alimentaires correspondant à un ajustement au poids moyen

Dans le cas de la productivité, il arrive que les courbes de dynamique alimentaire en fonction du poids moyen se recouvrent et qu'à l'inverse, les courbes en fonction des jours d'élevages soient distinctes et montrent une corrélation positive entre ration cumulée et productivité.

Considérer les périodes de 0 à 50 et de 0 à 100 jours permet de mieux distinguer ce phénomène qui peut s'estomper au fil du temps.

Le recouvrement des courbes indique que l'ajustement de la ration peut être expliqué uniquement par le poids moyen et donc sans tenir compte du nombre d'animaux. Du fait des différences de vitesse de croissance, les rations cumulées des élevages à une date donnée diffèrent.

Dans la pratique, l'ajustement de la ration se fait en fonction des restes sur les mangeoires. Le fait que le nombre d'animaux soit mal pris en compte indique que la biomasse est mal estimée par cette méthode. Pour parvenir à un meilleur ajustement il faudrait donc soit revoir le protocole d'utilisation des mangeoires soit tenir compte de la biomasse estimée dans le calcul de la ration.



La mauvaise estimation de la survie fausse l'ajustement et nuit à la conversion alimentaire. Les mauvais élevages peuvent être sur-nourris et à l'inverse les bons élevages gagneraient à recevoir davantage d'aliment. Cependant lorsque la ration cumulée est corrélée négativement aux performances, il est probable que bons et mauvais élevages soient sur-nourris.

Exemple : Dans le cas de la productivité de SODACAL pour JAS, les graphiques en fonction des jours d'élevage montrent une forte corrélation entre performance et ration tandis que les graphiques en fonction du poids moyen n'en montrent aucune. Ceci souligne que, à poids moyen égal, les élevages de cette ferme pour cette période reçoivent la même ration, mais pas au même moment du fait des différences de vitesse de croissance.

Les patterns de Sodacal en OND et JFM ne correspondent que partiellement au pattern d'un ajustement au poids moyen sans prise en compte du nombre d'animaux. Cela indique que les stratégies d'ajustement utilisées diffèrent du type décrit mais que les similitudes sont suffisantes pour considérer que le nombre d'animaux n'a pas été suffisamment pris en compte dans le calcul de la ration.

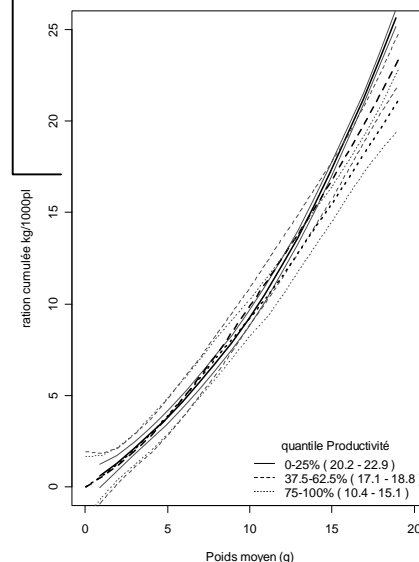
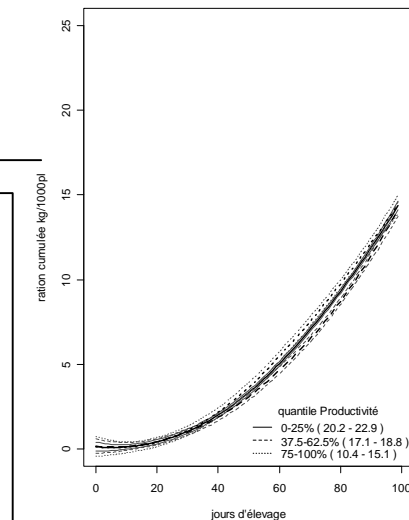
3.3.3. Type 3 : absence d'ajustement

Indice		Productivité				ICP			
type de ration		1000 PL		ha		1000 PL		ha	
Abscisses		g	j	g	j	g	j	g	j
Ferme / saison	Période								
FAO / OND	0 - 50		←						
	0 - 100	←							
Pointe Monot / OND	0 - 50								
	0 - 100								
Tournier / OND	0 - 50								
	0 - 100								
Montagnes Blanches / OND	0-50								
	0-100								

Tableau 17: tableau synthétique des dynamiques alimentaires correspondant à une absence d'ajustement

Pour les fermes ne produisant qu'en octobre, novembre et décembre, les trois groupes d'élevages présentent la même dynamique alimentaire, que ce soit pour la production où l'indice de conversion pondéré. Dans ce cas, la distribution alimentaire n'est pas ajustée et semble être définie par un protocole pré-établi. La stratégie alimentaire de la ferme de Pointe Monot présente la particularité d'avoir un meilleur ajustement en début d'élevage alors que c'est généralement l'inverse.

Exemple : Dans le cas de la ferme FAO, les graphiques obtenus montrent qu'il y a rarement de corrélation entre performance et ration, voire même une corrélation négative dans certains cas.



3.3.4. Type 4 : Cas particuliers des élevages à faible densité d'ensemencement

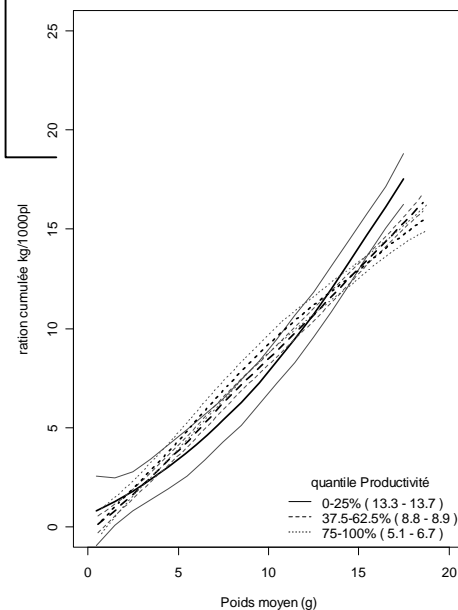
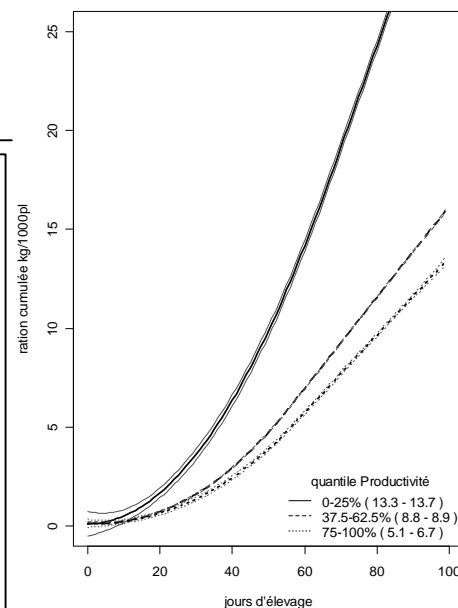
Indice		Productivité				ICP			
type de ration		1000 PL		ha		1000 PL		ha	
Abscisses		g	j	g	j	g	j	g	j
Ferme / saison	Période								
Aquamon / JFM	0-50								
	0-100								

Tableau 18 : tableau synthétique des dynamiques alimentaires dans le cas d'élevages en sous densité

Pour Aquamon en JFM, la densité d'ensemencement du groupe des bons élevages est très inférieure à celle des autres (cf. tableau 19) Le fait qu'il y ait moins d'animaux devrait favoriser leur croissance tout en ayant une ration cumulée à l'hectare plus faible. Cependant les graphiques de la dynamique alimentaire ne traduisent pas nettement ce phénomène.

Tableau 19 : Densité d'élevage pour Aquamon en JFM

Elevages	Bons élevages	Elevages moyens	Mauvais élevages
Aquamon / JFM	7,8	22,0	23,0



Conclusion

Cette étude, basée sur l'interprétation des données de Stylog-module ferme, a permis d'approfondir le travail de Frappier *et al.* (2009). L'étude des arbres de décision visant à caractériser les bons élevages en termes de productivité a permis d'identifier trois indicateurs de performance :

- ✓ Une forte consommation alimentaire,
- ✓ Une forte production et consommation d'oxygène,
- ✓ Des températures modérément élevées et stables (excepté pour OND ou les variations sont liées à la période d'élevage).

Les indicateurs relatifs à l'aliment et l'oxygène indiquent que les meilleurs élevages en termes de productivité sont aussi les plus intensifiés. Toutefois, sans aménagement spécifique, le risque existe de se rapprocher des capacités limites de charge des bassins et d'induire un phénomène d'eutrophisation, une importante dégradation des fonds de bassins et l'apparition de maladies, voire leur expression chronique. Dans ces conditions, conduire de « trop bons » élevages augmenterait le risque d'obtenir de mauvais élevages par la suite. D'un point de vue biologique, il serait alors préférable d'adopter une gestion zootechnique moins intensive afin :

- ✓ d'améliorer la pérennité des outils de production,
- ✓ de limiter l'enzoootisation des maladies actuelles et à venir,
- ✓ de minimiser les risques et ainsi de simplifier la gestion,
- ✓ de limiter les rejets et le gaspillage d'aliment,
- ✓ de minimiser les variations de performances.

On peut également supposer qu'une diminution des pressions exercées sur le bassin permette d'obtenir des animaux de meilleure qualité (moins de blackspot, de cicatrices) et d'améliorer la productivité moyenne. Il a été montré que les élevages ensemencés à plus faible densité, donc plus extensifs, avaient de meilleures performances en termes de croissance, survie et conversion (Martin *et al.*, 2004), étaient moins polluants (Martin *et al.*, 1998) et moins exposés aux pathogènes (Herbland *et al.*, 2008). Cependant il est important de rappeler qu'une marge d'intensification est possible moyennant une optimisation de l'outil de production avec en particulier une meilleure gestion de l'aération (Ruiz-Velazco *et al.* 2010). Modifier les structures d'élevages serait aussi une alternative à l'utilisation de méthodes plus extensives. Il a en effet été montré que les bassins de petites tailles étaient plus productifs que les bassins de grandes tailles (Ruiz-Velazco *et al.* 2010).

Enfin l'étude de la dynamique alimentaire a montré que l'ajustement de la ration n'est globalement pas optimal puisque les quantités d'aliments distribués ne sont pas forcément proportionnelles aux performances de croissance ou aux capacités de conversion. L'analyse a mis en évidence trois types d'ajustement de la ration, et a permis d'appréhender l'hétérogénéité de la filière sur ce plan zootechnique. Afin d'optimiser la productivité et la conversion alimentaire et de diminuer la pollution associée, une attention particulière devrait être apportée aux protocoles de distribution de l'aliment. L'utilisation des mangeoires, considéré actuellement comme l'outil de terrain le plus adapté, reste aujourd'hui le plus à même de parvenir à cet objectif.

Références bibliographiques

- Chien Y.W., 1992. Water quality requirements and management for marine shrimp culture. Proceedings of the Special Session on Shrimp Farming, World Aquaculture Society. Ed J. Wyban. pp 144–156.
- Della Patrona L., Chim L., Capo S., Lemaire P., Brun P., Martin J.L.M., 2004. Stimulation de la chaîne trophique naturelle dans les bassins d'élevage de *Litopenaeus stylirostris* : influence sur les performances zootechniques. *In*: Styli 2003. Trente ans de crevetticulture en Nouvelle-Calédonie. Nouméa-Koné, 2-6 juin 2003, Éd. Ifremer, Actes Colloq. 38: 173-179.
- Della Patrona L., Brun P., 2008. Elevage de la Crevette Bleue en Nouvelle-Calédonie *Litopenaeus stylirostris* : Bases biologiques et zootechnie. Ed. Ifremer, 320 p.
- Frappier J., Soulard B., Beliaeff B., Della Patrona L., Herlin J., Coatanéa D., 2008. Premières approches pour l'analyse des données d'élevages de crevettes marines en Nouvelle-Calédonie. IFREMER/LEAD/RST 2008-01, 119 p.
- Goarant C., Herlin J., Ansquer D., Brizard R., Marteau A.L., 2004. *Vibrio penaeicida* et le Syndrome 93 dans les fermes de crevettes de Nouvelle-Calédonie : revue et perspectives. Styli 2003. Trente ans de crevetticulture en Nouvelle-Calédonie. Ed. Ifremer, 279 p.
- Herbland A., Harache Y., 2008. Santé de la crevette d'élevage en Nouvelle Calédonie. Ed. Quae, 141p.
- Lemaire, P., E. Bernard, Martinez-Paz, J.A., Chim, L., 2002. "Combined effect of temperature and salinity on osmoregulation of juvenile and subadult *Penaeus stylirostris*." *Aquaculture* 209: 307-317.
- Lemonnier H., Brizard R., Legrand A., 2004. Influence des pratiques zootechniques de la crevette (*Litopenaeus stylirostris*) et de l'âge des bassins sur la qualité des sédiments. Styli 2003. Trente ans de crevetticulture en Nouvelle-Caledonie. Ed. Ifremer , 279 p.
- Lemonnier H., Herbland A., Sallery L., Soulard B., 2006. "Summer syndrome" in *Litopenaeus stylirostris* grow out ponds in New Caledonia : zootechnical and environmental factors. *Aquaculture* 261: 1039-1047.
- Lemonnier H., 2007. Effet des conditions environnementales sur le développement des pathologies à *Vibrio* dans les élevages de crevettes en Nouvelle-Calédonie. Thèse de doctorat en Océanologie biologique de l'Université de la Rochelle, 203 p.
- Martin JLM., Lemonnier H., Garen P., 2004. Influence des pratiques zootechniques et de paramètres environnementaux sur les performances de production et sur la formation et le devenir des déchets dans les élevages de crevettes. Styli 2003. Trente ans de crevetticulture en Nouvelle-Caledonie. Ed. Ifremer, 279 p.
- Martin J.L.M., Veran, Y. Guelorget O., Pham D., 1998. Shrimp rearing: stocking density, growth, impact on sediment, waste output; their relationships studied through the nitrogen budget in rearing ponds. *Aquaculture*, 164 pp, 135-149.
- Mermoud, I., R. Costa, Ferré, O., Goarant, C., Haffner, P., 1998. "Syndrome 93 in New Caledonian outdoor rearing ponds of *Penaeus stylirostris* : history and description of the three major outbreaks." *Aquaculture* 164: 323-335.
- Mugnier, C. et C. Soyez, 2005. "Response of the blue shrimp *Litopenaeus stylirostris* to temperature decrease and hypoxia in relation to molt stage." *Aquaculture* 244: 315-322.
- Mugnier, C., E. Zipper, Goarant, C., Lemonnier, H., 2008. "Combined effect of exposure to ammonia and hypoxia on the blue shrimp *Litopenaeus stylirostris* survival and physiological response in relation to molt stage." *Aquaculture* 274: 398-407.
- Ruiz-Velazco J.M.J., Hernández-Llamas A., Gomer-Muñoz V.M., 2010. Management of stocking density, pond size, starting time of aeration, and duration of cultivation for intensive commercial production of shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquacultural Engineering* 43: 114-119.
- Soulard B., 2008. Manuel de l'utilisateur Stylog - module ferme Version 5.0. Ifremer/LEAD/Protocole 2008-04, 83 p.
- Saporta G., 2006. Probabilités, analyse des données et statistiques, Ed Technip, 622 p.
- Therneau T. M., Atkinson B., Ripley B, 2010. Recursive partitioning and regression trees. <http://cran.r-project.org/web/packages/rpart/>.
- Wabete, N., 2005. Etude écophysiological du métabolisme respiratoire et nutritionnel chez la crevette péneïde *Litopenaeus stylirostris*. Application à la crevetticulture en Nouvelle Calédonie. Thèse de doctorat de l'Université de Bordeaux I. 245 p.
- Wabete, N., L. Chim, Pham, D., Lemaire, P., Massabuau, J-C. (2006). "A soft technology to improve survival and reproductive performance of *Litopenaeus stylirostris* by counterbalancing physiological disturbances associated with handling stress." *Aquaculture* 260: 181-193.

Annexe méthodologique

Méthodes d'extraction et de sélection de l'information issue des arbres de décision

L'information délivrée par les arbres de décision doit être sélectionnée car les nœuds qui les composent peuvent être :

- ✓ peu pertinents s'ils ont été déterminés pour des élevages triés successivement comme bons puis mauvais (ou l'inverse) par l'arbre dont ils sont issus.
- ✓ des artefacts reflétant le sur-ajustement du modèle à une variable donnée.

Si le taux d'erreur d'un arbre est supérieur à 25%, ce dernier n'est pas fiable et ne doit pas être utilisé. Afin de ne sélectionner que les nœuds les plus pertinents, pour un arbre donné il faut soit :

- ✓ ne prendre en compte que le premier, auquel cas son taux d'erreur doit être inférieur à 25% ;
- ✓ utiliser les nœuds ne portant que sur les élevages d'une seule classe (bons ou mauvais), ce qui est le cas des branches (successions de nœuds) situées aux deux extrémités de l'arbre (on parle alors de branches distales).

Il est possible de détecter le sur-ajustement du modèle à une variable en comparant la fréquence d'apparition des nœuds pour la variable dans 500 arbres témoins à celle obtenue pour 500 arbres où les valeurs de la variable ont été réparties aléatoirement entre les élevages. Cette comparaison n'est valable que si tous les nœuds portent sur les mêmes élevages. Par commodité ce test ne portera donc que sur les premiers nœuds de chaque arbre.

Si 95% des apparitions de la variable appartiennent aux arbres témoins, les nœuds témoins pour la variable sont considérés vrais et non issus du sur-ajustement. Il est possible d'utiliser ce test uniquement pour les nœuds d'un même signe (supérieur ou inférieur), ce qui permet de tester séparément le sur-ajustement des seuils bas et haut d'une même variable.

Il existe donc deux façons de sélectionner l'information issue des arbres de décision :

- ✓ la méthode du premier nœud qui ne prend en compte que le premier nœud de chaque arbre et permet le test du sur – ajustement ;
- ✓ La méthode des branches distales qui consiste à ne prendre en compte que les branches distales aboutissant à des sous-groupes où le taux de mauvais classement est inférieur à 95%. L'utilisation de cette méthode est incompatible avec le test du sur-ajustement

La première méthode est plus fiable mais nécessite suffisamment d'arbres parvenant à un taux d'erreur inférieur à 25% avec un seul nœud. Si cette condition n'est pas respectée, il est possible d'utiliser la méthode des branches distales, tout en tenant compte de l'absence de test du sur-ajustement.

L'ensemble des nœuds issus d'une variable permet de caractériser les bons élevages pour cette variable. Les seuils bas sont la médiane des nœuds de signe supérieur tandis que les seuils hauts sont la médiane des nœuds de signes inférieurs.