



# Nutrition et alimentation des poissons et crustacés





**nutrition  
et alimentation  
des poissons  
et crustacés**



# **nutrition et alimentation des poissons et crustacés**

J. GUILLAUME  
S. KAUSHIK  
P. BERGOT  
R. MÉTAILLER  
éd.

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE  
147, rue de l'Université – 75338 Paris cedex 07

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE POUR L'EXPLOITATION DE LA MER  
155, rue Jean-Jacques Rousseau, 92138 Issy-les-Moulineaux cedex

## DU LABO AU TERRAIN

Ouvrages parus dans la même collection

### **Combattre les ravageurs des cultures : enjeux et perspectives**

G. RIBA, Christine SILVY  
1989, 230 p.

### **Le canard de Barbarie**

B. SAUVEUR, H. de CARVILLE, éd.  
1990, 182 p.

### **L'escargot *Helix aspersa***

Biologie-élevage  
J.C. BONNET, P. AUPINEL,  
J.L. VRILLON  
1990, 124 p.

### **Les herbicides : mode d'action et principes d'utilisation**

R. SCALLA, éd.  
1991, 464 p.

### **Les maladies des plantes maraîchères, 3<sup>e</sup> édition**

C.M. MESSIAEN, D. BLANCARD,  
F. ROUXEL, R. LAFON  
1991, 552 p.

### **Nutrition et alimentation des volailles**

M. LARBIER, B. LECLERCQ  
1992, 355 p.

### **Les *Allium* alimentaires reproduits par voie végétative**

C.M. MESSIAEN, J. COHAT,  
J.P. LEROUX, M. PICHON, A. BEYRIES  
1993, 244 p.

### **Agrométéorologie des cultures multiples en régions chaudes**

C. BALDY, C.J. STIGTER  
1993, 250 p.

© Quae, 2024

ISBN (papier) : 978-2-7592-4020-3

ISBN (PDF) : 978-2-7592-4021-0

ISBN (epub) : 978-2-7592-4022-7

ISSN : 1952-1251

© Le code de la propriété intellectuelle du 1<sup>er</sup> juillet 1992 interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique. Toute reproduction, partielle ou totale, du présent ouvrage est interdite sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20, rue des Grands Augustins, 75006 Paris.

### **Écopathologie animale**

Méthodologie, application en milieu tropical  
B. FAYE, P.C. LEFEVRE, R. LANCELOT,  
R. QUIRIN  
1994, 120 p.

### **Ravageurs des végétaux d'ornement**

Arbres - Arbustes - Fleurs  
D.V. ALFORD  
Version française : M.F. COMMEAU,  
R. COUTIN, A. FRAVAL  
1994, 464 p.

### **Efficacité et sélectivité des herbicides**

C. GAUVRIT  
1996, 158 p.

### **Écotoxicologie : théorie et applications**

V.E. FORBES, T.L. FORBES  
Traduit par J.L. RIVIÈRE  
1997, 256 p.

### **Les Deutéromycètes. Classification et clés d'identification générique**

E. KIFFER, M. MORELET  
1997, 306 p.

### **Maladies à virus des plantes ornementales**

J. ALBOUY, J.-C. DEVERGNE  
1998, 492 p.

### **Structure des plantes**

Atlas en couleur  
B.G. BOWES  
Version française de L. GAUTHIER  
1998, 192 p.

# REMERCIEMENTS

---

Nous adressons nos remerciements les plus vifs à tous ceux qui nous ont aidés dans la conception et la rédaction de cet ouvrage. Monsieur Bernard Chevassus-Au-Louis, ancien directeur général de l'INRA, nous a convaincus de l'utilité de notre travail et nous a encouragés. Messieurs Benoît Fauconneau, chef du département Hydrobiologie et Faune Sauvage de l'INRA et Bernard Leclercq, directeur de la station de Recherches avicoles de l'INRA de Nouzilly, ont consacré beaucoup de temps à la lecture du manuscrit et nous ont fait part de critiques et suggestions positives. Madame Sylvie Gros et Messieurs Didier Bazin, Hervé Le Delliou, Alain Sire et Frédéric Vallée ont contribué de façon essentielle à cet ouvrage en réalisant plus d'une centaine de dessins et figures. Madame Joëlle Mehur a eu la charge d'un important travail de secrétariat. Nous remercions collectivement, faute de pouvoir les citer individuellement, nos collègues des deux laboratoires qui composent l'unité mixte INRA-IFREMER de Nutrition des poissons, à savoir celui de Saint-Pée-sur-Nivelle et celui de Plouzané, de l'aide qu'ils nous ont apportée, en particulier pour la relecture des manuscrits, ainsi que le personnel du service des Éditions de l'INRA pour la qualité du travail réalisé.



# SOMMAIRE

---

<b>Avant-propos</b> .....	21
---------------------------	----

## I. GÉNÉRALITÉS

<b>1. Introduction</b> .....	25
J. Guillaume	
Difficultés d'étude .....	26
Origine des particularités nutritionnelles des poissons et des crustacés .....	26
Similitudes entre poissons et vertébrés supérieurs : un schéma général .....	29
Références bibliographiques .....	30
<b>2. Terminologie et rappels méthodologiques</b> .....	31
J. Guillaume	
De la nutrition à l'alimentation .....	31
La nutrition, principales branches et notions fondamentales .....	32
Quelques critères d'efficacité de l'aliment .....	33
Description de la croissance .....	34
Quelques rappels sur l'expérience type de nutrition piscicole .....	38
Références bibliographiques .....	39

## II. BASES DE LA NUTRITION DES ANIMAUX AQUATIQUES

<b>3. Comportement alimentaire et régulation de l'ingestion</b> .....	43
T. Boujard	
Régulation centrale et périphérique de l'ingestion .....	43
Techniques de mesure de l'ingéré volontaire .....	44
Facteurs agissant sur l'ingestion volontaire .....	45
<i>Facteurs nutritionnels</i> .....	45
<i>Facteurs environnementaux</i> .....	47
<i>Facteurs comportementaux</i> .....	47
Conclusion .....	50
Références bibliographiques .....	50

<b>4. Physiologie digestive et digestibilité des nutriments</b>	
<b>chez les poissons</b> .....	51
J. Guillaume, G. Choubert	
Anatomie et physiologie du tube digestif .....	51
<i>Rappel sur l'anatomie du tube digestif</i> .....	51
Quelques généralités .....	51
Principaux organes .....	54
Autres fonctions .....	59
<i>Enzymes digestives</i> .....	60
Généralités .....	60
Enzymes issues de zymogènes (gastriques et pancréatiques) .....	61
Enzymes membranaires de l'intestin .....	65
Autres enzymes .....	66
Activité globale de ces enzymes .....	66
<i>Absorption des nutriments</i> .....	67
Absorption par endocytose .....	67
Absorption par diffusion ou transport .....	67
<i>Transit digestif</i> .....	70
<i>Vue d'ensemble des phénomènes de digestion – absorption</i> .....	70
<b>Digestibilité des nutriments</b> .....	72
<i>Coefficients d'utilisation digestive</i> .....	72
<i>Méthodes d'étude de la digestibilité</i> .....	73
Méthode directe .....	73
Méthode indirecte .....	73
<i>Fèces</i> .....	75
Composition .....	75
Facteurs de variation .....	76
<i>Collecte des fèces</i> .....	76
Poissons sortis de l'eau .....	77
Poissons restant dans l'eau .....	78
<i>Standardisation</i> .....	80
<i>Digestibilité des nutriments : résultats acquis</i> .....	81
Propriétés générales .....	81
Protéines .....	81
Lipides .....	82
Glucides .....	83
<i>Autres facteurs de variation</i> .....	83
<b>Conclusion</b> .....	85
<b>Références bibliographiques</b> .....	85
<b>5. Nutrition énergétique</b> .....	87
Françoise Médale, J. Guillaume	
Production de l'énergie au niveau cellulaire .....	87
<i>Généralités</i> .....	87
<i>Catabolisme des acides aminés</i> .....	90
<i>Catabolisme des lipides</i> .....	90
<i>Catabolisme des glucides</i> .....	91

<i>Cycle des acides tricarboxyliques (ATC)</i> .....	92
<i>Chaîne respiratoire</i> .....	92
Devenir de l'énergie alimentaire .....	93
<i>Énergie brute</i> .....	93
<i>Énergie digestible</i> .....	94
<i>Énergie métabolisable</i> .....	94
<i>Énergie nette</i> .....	95
Besoins énergétiques des poissons .....	98
<i>Principes de mesure</i> .....	98
<i>Dépense énergétique des poissons à jeun</i> .....	101
<i>Facteurs de variation de la dépense énergétique minimale</i> .....	101
<i>Besoins énergétiques d'entretien</i> .....	103
<i>Besoins énergétiques de production</i> .....	105
Besoin pour la croissance .....	105
Besoin pour la reproduction .....	106
Bilan énergétique et énergie retenue .....	107
<i>Méthodes de mesure du bilan énergétique</i> .....	107
Bilan énergétique basé sur la mesure des pertes .....	107
Bilan énergétique basé sur la mesure du gain en énergie corporelle .....	108
<i>Rétention énergétique</i> .....	108
Conclusion .....	110
Références bibliographiques .....	111

<b>6. Nutrition protéique</b> .....	113
Muriel Mambrini, J. Guillaume	
Particularités du métabolisme protéique chez le poisson .....	113
<i>Métabolisme des acides aminés</i> .....	113
Synthèse .....	114
Utilisation .....	117
Résumé des caractéristiques du métabolisme .....	123
<i>Variations du métabolisme</i> .....	124
Age du poisson .....	124
Facteurs abiotiques non nutritionnels : la température .....	124
Facteurs nutritionnels .....	125
Besoins en protéines et en acides aminés indispensables .....	126
<i>Rappel de quelques définitions</i> .....	126
<i>Méthodes d'étude</i> .....	127
Aliment expérimental .....	127
Modèle .....	128
Réponse .....	128
<i>Qualité nutritionnelle des protéines</i> .....	131
Digestibilité .....	131
Valeur biologique .....	131
Valeur nette des protéines (VNP) ou Utilisation nette des protéines (UNP) .....	132
Indices chimiques .....	133
Disponibilité des acides aminés .....	134

<i>Besoins en protéines totales</i> .....	135
Besoins des poissons en général .....	135
Besoins des reproducteurs .....	135
Effet des facteurs biotiques .....	135
Effet des facteurs abiotiques .....	136
Effet des facteurs alimentaires .....	137
<i>Besoins en acides aminés et métabolisme</i> .....	137
Généralités .....	137
Besoins quantitatifs des poissons en croissance .....	138
Couverture des besoins .....	142
<i>Protéines totales et acides aminés indispensables en pourcentage de l'aliment</i> ...	142
Besoins en protéines totales et équilibre des acides aminés indispensables ...	142
Besoins en acides aminés indispensables et non-indispensables .....	143
<i>Protéines totales, acides aminés indispensables et niveau énergétique</i> .....	143
<i>Quelques autres approches pour le futur</i> .....	144
Conclusion .....	145
Références bibliographiques .....	146
<b>7. Nutrition lipidique</b> .....	147
Geneviève Corraze	
Rappel sur l'utilisation digestive et le métabolisme des lipides chez les poissons .....	148
<i>Digestibilité des lipides</i> .....	148
<i>Transport</i> .....	149
<i>Stockage</i> .....	150
<i>Mobilisation</i> .....	152
Besoins en acides gras essentiels .....	153
<i>Synthèse endogène et bioconversion des acides gras</i> .....	153
<i>Acides gras essentiels</i> .....	156
Rôle des acides gras essentiels .....	156
Acides gras essentiels des poissons .....	156
Carences en acides gras essentiels .....	157
Besoins en acides gras essentiels et couverture des besoins .....	158
Problèmes d'équilibre et d'excès .....	159
Intérêt des lipides dans l'alimentation des poissons .....	160
<i>Généralités</i> .....	160
<i>Effet d'épargne des protéines et réduction des rejets</i> .....	160
Influence des lipides alimentaires sur la composition corporelle et la qualité des poissons .....	162
<i>Relation entre lipides alimentaires et lipides tissulaires</i> .....	162
<i>Influence des lipides alimentaires sur la qualité des poissons</i> .....	164
<i>Importance de la peroxydation des lipides</i> .....	165
Conclusion .....	169
Références bibliographiques .....	169

<b>8. Nutrition glucidique : intérêt et limites des apports de glucides</b> .....	171
S. J. Kaushik	
Digestion-digestibilité .....	174
Métabolisme du glucose .....	176
<i>Hyperglycémie et contrôle insulinique</i> .....	176
<i>Phosphorylation du glucose</i> .....	177
<i>Catabolisme des glucides</i> .....	178
Glycolyse .....	178
Devenir du pyruvate issu de la glycolyse .....	178
Autres voies cataboliques du glucose .....	179
Synthèse et mobilisation du glycogène .....	180
<i>Néoglucogénèse</i> .....	180
<i>Réserves en glycogène</i> .....	180
<i>Mobilisation des réserves (glycogénolyse)</i> .....	181
Intérêt et limites du rôle énergétique des glucides .....	182
Fibres et agents de ballast .....	183
<i>Définition</i> .....	183
<i>Dosage</i> .....	183
<i>Rôles nutritifs</i> .....	184
<i>Rôles divers</i> .....	184
Conclusion .....	185
Références bibliographiques .....	186
<b>9. Nutrition vitaminique</b> .....	187
Marie-Françoise Gouillou-Coustans, J. Guillaume	
Définitions .....	187
Généralités .....	188
<i>Caractère vitaminique et espèce</i> .....	188
<i>Classification</i> .....	189
<i>Stabilité et disponibilité</i> .....	189
<i>Composés à action vitaminique et antivitamines</i> .....	191
<i>Absorption</i> .....	191
<i>Rôle métabolique</i> .....	192
<i>Besoins et normes alimentaires ;</i> <i>vicariances et excès ; symptômes de carence</i> .....	193
Vitamines coenzymes simples .....	195
<i>Thiamine (vitamine B<sub>1</sub>)</i> .....	195
<i>Pyridoxine (vitamine B<sub>6</sub>)</i> .....	197
<i>Biotine</i> .....	198
<i>Acide folique et polyglutamates</i> .....	198
<i>Cobalamines (vitamine B<sub>12</sub>)</i> .....	199
<i>Rétinol (vitamine A)</i> .....	199
Vitamines coenzymes de transfert et d'oxydo-réduction .....	201
<i>Riboflavine (vitamine B<sub>2</sub>)</i> .....	201
<i>Niacine (vitamine PP)</i> .....	203
<i>Acide pantothénique</i> .....	203
<i>Vitamines K</i> .....	204

Vitamines anti-oxydantes .....	205
<i>Acides ascorbique et déhydroascorbique</i> .....	205
<i>Tocophérols (vitamine E)</i> .....	207
Calciférol (vitamine D) .....	208
Quasi-vitamines et facteurs de croissance .....	209
<i>Choline</i> .....	209
<i>Inositol</i> .....	209
<i>Facteurs de croissance</i> .....	210
Besoins et couverture des besoins .....	210
Conclusion .....	211
Références bibliographiques .....	212
<b>10. Nutrition minérale</b> .....	213
S. J. Kaushik	
Particularités de la nutrition minérale .....	213
<i>Quelques généralités</i> .....	213
<i>Interactions entre milieu, apports nutritionnels et besoins</i> .....	216
Macro-éléments .....	217
<i>Calcium</i> .....	217
<i>Phosphore</i> .....	220
<i>Magnésium</i> .....	221
<i>Sodium, chlore et potassium</i> .....	222
Oligo-éléments .....	222
<i>Fer</i> .....	222
<i>Cuivre</i> .....	224
<i>Zinc</i> .....	224
<i>Manganèse</i> .....	225
<i>Sélénium</i> .....	225
<i>Iode</i> .....	226
<i>Autres oligo-éléments</i> .....	226
Conclusion .....	226
Références bibliographiques .....	227
<b>11. Caroténoïdes et pigmentation</b> .....	229
G. Choubert	
Efficacité pigmentaire des caroténoïdes .....	230
<i>Structure</i> .....	230
<i>Teinte spécifique</i> .....	231
<i>Digestibilité ou disponibilité</i> .....	231
<i>Conversion métabolique</i> .....	232
<i>Affinité spécifique pour un tissu particulier</i> .....	233
Critères de perception de l'efficacité pigmentaire .....	234
<i>Analyse chimique</i> .....	234
<i>Mesure colorimétrique</i> .....	234
<i>Analyse sensorielle</i> .....	235

Facteurs affectant la pigmentation .....	236
<i>Alimentation</i> .....	236
Sources de caroténoïdes .....	236
Structure des caroténoïdes .....	237
Stabilité des caroténoïdes .....	237
Quantité de pigments .....	237
Lipides alimentaires .....	240
<i>Variabilité liée à l'animal</i> .....	240
Masse corporelle et âge .....	240
Tissus .....	240
Maturation sexuelle .....	241
Facteurs génétiques .....	242
Cas particulier des crustacés : l'exuviation .....	243
<i>Facteurs environnementaux</i> .....	243
Autres rôles des caroténoïdes chez l'animal .....	243
Conclusion .....	244
Références bibliographiques .....	244

### III. CAS PARTICULIER DES LARVES DE POISSONS ET DES CRUSTACÉS

<b>12. Ontogenèse, développement et physiologie digestive chez les larves de poissons</b> .....	249
F. J. Gatesoupe, J. L. Zambonino Infante, Chantal Cahu et P. Bergot	
Développement prélarvaire .....	250
<i>Utilisation des réserves vitellines</i> .....	250
<i>Utilisation du globule lipidique</i> .....	253
Passage de l'endotrophie à l'exotrophie .....	253
<i>Différenciation du tube digestif</i> .....	253
<i>Effet d'un retard d'alimentation</i> .....	255
Développement larvaire .....	255
<i>Particularités de la croissance et du développement</i> .....	255
<i>Équipement enzymatique</i> .....	257
Variation de l'activité des enzymes digestives au cours du développement ...	257
Modulation des activités enzymatiques .....	260
Effet du sevrage avec un aliment de formulation classique .....	260
Adaptation de l'aliment aux spécificités digestives des larves .....	261
Qualité des juvéniles produits .....	262
<i>Homogénéité des lots</i> .....	262
<i>Anomalies du développement</i> .....	262
Conclusion .....	263
Références bibliographiques .....	263
<b>13. Alimentation des larves de poissons avec des proies vivantes</b> .....	265
J. Robin, F. J. Gatesoupe	
Proies vivantes utilisées en aquaculture marine .....	266
<i>Organismes unicellulaires</i> .....	266

Levures .....	266
Algues .....	267
<i>Proies vivantes animales</i> .....	267
Copépodes .....	267
Rotifères .....	268
Artémias .....	270
Besoins nutritionnels des larves .....	270
Qualité nutritionnelle des proies .....	271
<i>Techniques de culture</i> .....	271
<i>Techniques d'enrichissement</i> .....	271
<i>Énergie</i> .....	272
<i>Composition lipidique et acides gras essentiels</i> .....	272
<i>Composition protéique</i> .....	275
<i>Minéraux</i> .....	275
<i>Vitamines</i> .....	276
<i>Polluants et toxiques</i> .....	276
Alimentation pratique .....	276
<i>Comportement alimentaire des larves</i> .....	276
<i>Type et taille des proies</i> .....	277
<i>Aspects quantitatifs</i> .....	277
<i>Gestion de la qualité des proies dans le bac de larves</i> .....	278
Qualité bactérienne des proies vivantes .....	279
<i>Importance des bactéries dans la chaîne alimentaire</i> .....	279
<i>Rôle ambigu des vibrions</i> .....	280
<i>Prophylaxie et qualité alimentaire</i> .....	280
<i>Traitements spécifiques</i> .....	281
Résultats obtenus .....	281
Conclusion .....	282
Références bibliographiques .....	282
<b>14. Aliments inertes pour larves de poissons</b> .....	285
J. Person-Le Ruyet, P. Bergot	
Conditions d'utilisation des aliments inertes .....	286
<i>Modalités de sevrage</i> .....	286
<i>Modalités de distribution</i> .....	287
<i>Adaptation des dispositifs d'élevage</i> .....	289
Particularités des aliments artificiels pour larves .....	290
<i>Objectifs et contraintes</i> .....	290
<i>Caractéristiques physiques</i> .....	291
<i>Modes de fabrication</i> .....	292
Composition des aliments .....	293
<i>Besoins nutritionnels</i> .....	293
<i>Couverture des besoins et choix des matières premières</i> .....	294
Conclusion .....	295
Références bibliographiques .....	295

<b>15. Physiologie digestive des crevettes</b> .....	297
J. Guillaume, H. J. Ceccaldi	
Anatomie et histologie du tractus digestif .....	298
<i>Bouche</i> .....	298
<i>Œsophage</i> .....	299
<i>Estomac</i> .....	299
<i>Glande digestive</i> .....	302
<i>Intestin moyen</i> .....	304
<i>Intestin postérieur</i> .....	305
Fonctionnement de l'appareil digestif .....	305
<i>Chémoréception et comportement alimentaire</i> .....	305
<i>Transit digestif</i> .....	306
<i>Digestion et absorption</i> .....	306
<i>Enzymes digestives</i> .....	306
<i>Flore digestive</i> .....	309
<i>Voies d'absorption</i> .....	310
Bilans digestifs, régulation .....	311
<i>Digestibilité des principaux nutriments</i> .....	311
Conclusion .....	312
Références bibliographiques .....	312
<b>16. Nutrition et alimentation des larves de crevettes péneïdes</b> .....	313
Chantal Cahu	
Développement des larves et ontogenèse du tube digestif .....	313
<i>Phase endotrophe</i> .....	313
<i>Phase exotrophe</i> .....	314
Mise en place et niveau d'activité des enzymes digestives au cours du développement .....	316
<i>Profil général des activités enzymatiques au cours du développement</i> .....	316
<i>Adaptation des activités enzymatiques à l'aliment</i> .....	317
Besoins nutritionnels .....	318
<i>Nutrition protéique</i> .....	318
<i>Nutrition lipidique</i> .....	319
<i>Nutrition vitaminique</i> .....	321
Alimentation pratique .....	321
Conclusion .....	323
Références bibliographiques .....	323
<b>17. Nutrition et alimentation des crevettes en élevages intensif et extensif</b> .....	325
G. Cuzon, J. Guillaume	
Nutrition des juvéniles en élevage expérimental .....	326
<i>Besoins en protéines</i> .....	326
Niveau protéique optimal pour les principales espèces .....	326

Une nécessaire révision .....	327
Adaptation à d'autres facteurs .....	327
<i>Besoins en acides aminés indispensables</i> .....	328
<i>Énergie et glucides</i> .....	329
Énergie .....	329
Glucides disponibles .....	329
Glucides non disponibles (peu digestibles) .....	330
<i>Lipides</i> .....	331
Lipides sources d'énergie .....	331
Besoin en acides gras indispensables .....	331
Cholestérol et phospholipides .....	331
<i>Vitamines</i> .....	333
<i>Minéraux</i> .....	334
<i>Divers</i> .....	335
Alimentation des crevettes en élevage de type commercial .....	335
<i>Importance de la présentation (mise en forme)</i> .....	335
<i>Principaux types d'aliments</i> .....	336
Granulés pressés industriels .....	336
Granulés pressés par voie humide .....	336
Particules extrudées .....	337
<i>Rations</i> .....	337
<i>Mode de distribution des aliments</i> .....	338
<i>Indice de consommation</i> .....	338
Conclusion .....	339
Références bibliographiques .....	340

#### IV. ALIMENTATION DES POISSONS : APPLICATIONS

<b>18. Matières premières et additifs utilisés dans l'alimentation des poissons</b> .....	345
R. Métailler, J. Guillaume	
Principales matières premières d'origine animale .....	346
<i>Avantages et inconvénients des matières premières animales</i> .....	346
<i>Farines de poisson et autres produits d'origine marine</i> .....	346
Généralités .....	346
Fabrication des farines de poisson et contrôle de la qualité .....	347
Différentes catégories .....	349
Autres produits d'origine marine .....	351
<i>Farines animales d'origine « terrestre »</i> .....	351
Farines de viande .....	351
Farines de creton .....	352
Farines de plumes hydrolysées .....	352
Farines de déchets de volaille .....	352
Farines de sang .....	352
Autres farines animales d'origine terrestre .....	353

Principales matières premières d'origine végétale .....	353
<i>Avantages et inconvénients</i> .....	353
<i>Tourteaux</i> .....	353
Tourteau de soja ou soya ( <i>glycine max</i> ) .....	353
Tourteaux de colza et de coton .....	354
Autres tourteaux .....	354
<i>Céréales et co-produits</i> .....	355
<i>Protéagineux</i> .....	355
<i>Farines de luzerne et farines de feuilles</i> .....	356
<i>Matières premières issues d'organismes unicellulaires</i> .....	356
Produits purifiés .....	357
<i>Matières grasses</i> .....	357
Huiles de poisson .....	357
Matières grasses animales d'origine terrestre .....	357
Huiles d'origine végétale .....	357
<i>Amidons</i> .....	358
<i>Acides aminés purifiés</i> .....	358
Additifs .....	358
<i>Attractants</i> .....	359
Rôle .....	359
Nature .....	359
<i>Additifs proprement dits</i> .....	360
Antioxydants .....	360
Agents liants .....	361
Conservateurs .....	362
Probiotiques .....	362
Enzymes .....	362
Conclusion .....	362
Références bibliographiques .....	363
<b>19. Facteurs antinutritionnels</b> .....	365
J. Guillaume, R. Métailler	
Généralités .....	365
<i>Classification</i> .....	365
<i>Incidence et moyens de lutte</i> .....	366
Principaux facteurs antinutritionnels des aliments végétaux .....	367
<i>Acide phytique</i> .....	367
<i>Facteurs antitrypsiques</i> .....	368
<i>Autres facteurs antinutritionnels de nature protéique</i> .....	369
<i>Glucosinolates et facteurs antithyroïdiens</i> .....	369
<i>Saponines</i> .....	370
<i>Gossypol</i> .....	371
<i>Tannins</i> .....	372
<i>Alcaloïdes</i> .....	372
<i>Autres facteurs antinutritionnels des végétaux supérieurs</i> .....	373

<i>Toxines fongiques ou algales</i> .....	373
Aflatoxines .....	374
Autres toxines fongiques .....	374
Facteurs antinutritionnels des produits animaux .....	375
Thiaminase .....	375
Histamine .....	375
Lipides peroxydés .....	376
Toxines algales véhiculées par les poissons .....	376
Conclusion .....	377
Références bibliographiques .....	378

<b>20. Formulation des aliments en aquaculture</b> .....	379
J. Guillaume	
Principe général .....	379
<i>Objectif minimal</i> .....	379
<i>Schéma global</i> .....	381
<i>Caractéristiques liées à l'animal, aux aliments et au milieu</i> .....	381
Rappels sur le principe et les limites de la formulation linéaire au moindre coût .....	382
Limites théoriques de la formulation linéaire .....	384
<i>Linéarité et additivité en nutrition</i> .....	384
<i>Incertitudes et inconnues</i> .....	385
<i>Caractéristiques difficiles à quantifier</i> .....	386
Moyens de pallier ces insuffisances .....	386
<i>Les interactions, un problème d'inégale difficulté</i> .....	386
<i>Besoins, normes, marges de sécurité</i> .....	387
<i>Formulation avec des caractéristiques nutritionnelles non constantes :</i> <i>utilisation de matières premières fictives</i> .....	388
<i>Prise en compte de facteurs « nutritionnels » divers à l'aide</i> <i>des contraintes techniques</i> .....	389
<i>Contraintes d'enchaînement</i> .....	389
Prise en compte des multiples facteurs liés à la technologie ou à l'environnement .....	390
<i>Formulation et procédé de fabrication</i> .....	390
<i>Formulation, fabrication et distribution</i> .....	391
<i>Formulation et protection de l'environnement</i> .....	391
<i>Formulation et qualité du produit final</i> .....	392
Autres aspects et autres domaines d'application de la formulation linéaire .....	393
<i>Calcul du prix d'intérêt</i> .....	393
<i>Plage d'invariance</i> .....	393
<i>Coût des contraintes saturées</i> .....	394
<i>Multiformulation</i> .....	394
Conclusion .....	394
Références bibliographiques .....	395