



Les poissons et leur environnement

Écophysiologie et comportements adaptifs

Jacques Bruslé • Jean-Pierre Quignard



Editions
TEC
& **DOC**

Lavoisier

Table des matières

Préface	III
Avant-propos	VII
Sigles et abréviations	XXXI
Glossaire	XXXIX

Première partie

Les poissons dans la biosphère

Chapitre 1

Biosphère	5
1. Eaux marines	5
2. Eaux saumâtres	7
3. Eaux douces	8

Chapitre 2

L'eau, milieu de vie	11
1. Propriétés mécaniques de l'eau	12
1.1. Densité et viscosité	12
1.2. Vitesse du courant	12
1.2.1. Dans les eaux douces	12
1.2.2. En mer	16
1.3. Pression hydrostatique et variations de niveau	18
1.3.1. Dans les cours d'eau	19
1.3.2. En milieu lacustre	22
1.3.3. En milieu marin	23
1.3.4. En fonction de la profondeur	24

2. Facteur thermique	32
2.1. Effets directs et indirects de la température	32
2.2. Niveaux d'expression des effets thermiques	33
2.2.1. Au niveau enzymatique	33
2.2.2. Au niveau des molécules structurales	36
2.2.3. Au niveau physiologique	37
2.2.4. Au niveau écologique	39
2.2.5. Sténothermie et eurythermie	45
2.2.6. Migrations horizontales	47
2.2.7. Migrations verticales	47
2.3. Chocs thermiques, « stress thermique » et molécules « chaperonnes »	48
2.4. Effluents thermiques et « pollution thermique »	50
2.5. Changements climatiques	51
2.6. Applications à la pisciculture	52
3. Facteur halin	52
3.1. Préférendum halin	54
3.2. Sténohalinité et euryhalinité	55
3.3. Conséquences écologiques	55
3.3.1. Partie aval des rivières côtières	55
3.3.2. Estuaires	55
3.3.3. Lagunes	56
3.3.4. Mers partiellement dessalées	56
4. Facteur lumière	57
4.1. Origines et caractéristiques	57
4.1.1. Lumière solaire	57
4.1.2. Lumière lunaire	62
4.1.3. Bioluminescence	63
4.2. Effets physiologiques et rythmes biologiques	64
4.2.1. Rythmes endogènes et synthèse de mélatonine	64
4.2.2. Rythmes d'activité liés au cycle lumineux	66
5. Gaz dissous	72
5.1. Oxygène O_2	72
5.2. Dioxyde de carbone CO_2	75
5.3. Azote N_2	75
5.4. Hydrogène sulfuré H_2S , méthane CH_4 , diphosphane P_2H_4 et phosphane PH_3	76
6. pH	76
6.1. Eaux douces	76
6.2. Eaux marines	78
6.3. Eaux estuariennes et lagunaires	78
7. Ions	78
8. Charge en matières en suspension, la turbidité	79
9. Matière organique, déchets azotes et nutriments	80
9.1. Matière organique MO particulaire et dissoute	80
9.2. Sels nutritifs ou nutriments	84
9.3. Fertilisation artificielle des eaux en aquaculture extensive	86
9.4. Déchets azotés et phosphorés, facteurs de pollution	87
9.4.1. Origine urbaine ou agricole	87
9.4.2. Origine aquacole	87
10. Polluants	88
11. Gestion hydraulique	90

Chapitre 3

Les poissons, organismes représentatifs des milieux aquatiques	93
1. Ichtyologie	93
1.1. Historique	93
1.2. Progrès récents dans la diagnose des espèces	94
2. Biodiversité	97
2.1. Espèce et spéciation	97
2.2. Difficultés d'évaluation du nombre des espèces	98
2.2.1. Disparitions	98
2.2.2. Découvertes	101
2.2.3. Controverses	101
2.2.4. Nombre des espèces actuelles	102
2.2.5. Exemple d'évolution numérique : la Méditerranée	104
2.2.6. Espèces menacées	105
3. Origine et évolution	109
3.1. Formes fossiles	109
3.2. Grandes tendances évolutives	111
3.3. Critères et méthodes d'établissement des niveaux taxonomiques et des relations phylogénétiques	112
3.3.1. Caractères morpho-écologiques	112
3.3.2. Caractères d'ordre anatomo-physiologique	113
3.3.3. Caractères d'ordre éthologique	113
3.3.4. Caractères parasitologiques	114
3.3.5. Caractères génétiques	114
4. Classification	134
4.1. Taxinomie	135
4.2. Systématique	135
4.2.1. Classification « ancienne »	136
4.2.2. Classification « actuelle »	137
4.3. Phylogénèse	140
4.4. Autres modalités de classification	140
4.4.1. Critères chromatiques	140
4.4.2. Critères écologiques	140
4.4.3. Critères éthologiques	141
5. Distribution géographique	142
5.1. Origine paléogéographique	142
5.1.1. Biogéographie et origine paléogéographique des poissons d'eau douce	142
5.1.2. Biogéographie et origine paléogéographique des poissons marins	149
5.2. Remaniements d'origine anthropique	151
5.2.1. Faunes de poissons d'eau douce	151
5.2.2. Faunes de poissons marins	165
6. Répartition numérique par continents et par pays	170
6.1. Faunes dulçaquicoles	170
6.1.1. Europe	170
6.1.2. Afrique	172
6.1.3. Amérique	173
6.1.4. Asie	174
6.2. Faunes marines	174

7. Intérêts des poissons	175
7.1. Intérêt évolutif	175
7.2. Intérêt en écologie appliquée	175
7.3. Intérêt scientifique	176
7.4. Intérêt alimentaire	178
7.5. Intérêt économique	178
7.6. Intérêt esthétique et culturel	179
7.7. Intérêt récréatif	180

Deuxième partie

Exigences écophysiologiques des poissons

Chapitre 4

Alimentation	185
1. Différentes étapes de l'alimentation	185
1.1. Détection de l'aliment	186
1.1.1. Vision	186
1.1.2. Sensibilité aux vibrations	189
1.1.3. Sens chimique ou chémoréception	190
1.1.5. Sensibilité cutanée, le toucher	197
1.1.6. Synergies sensorielles	197
1.2. Prise alimentaire et ingestion	197
1.2.1. De l'appétit du poisson	197
1.2.2. Des capacités de nage	200
1.2.3. Du diamètre buccal	202
1.2.4. Des organes et des modalités de capture	205
1.2.5. Organes de rétention, de manipulation et de trituration des proies	208
1.3. Déglutition	211
1.4. Digestion	213
1.5. Évacuation gastrique, transit intestinal et défécation	213
2. Estimation quantitative et qualitative de la nourriture	214
2.1. Contenus gastriques	214
2.2. Isotopes stables	215
2.3. Condition K	217
3. Régimes alimentaires	217
4. Variations de l'activité trophique et variabilité des régimes	219
4.1. Variabilité avec l'ontogénèse et l'âge	220
4.1.1. Alimentation endogène-exogène des embryons et des très jeunes larves	220
4.1.2. Alimentation larvaire exogène	222
4.1.3. Alimentation juvénile et adulte	230
4.2. Variabilité entre les sexes	233
4.3. Variabilité selon les saisons	234
4.4. Variabilité selon le rythme jour-nuit	236
4.5. Variabilité selon les autres facteurs environnementaux	241
4.6. Variabilité selon la disponibilité et l'accessibilité des proies	241

4.7. Variabilité selon la compétition et/ou la prédation	243
4.7.1. Compétition intraspécifique	243
4.7.2. Compétition interspécifique	244
4.7.3. Prédation	244
5. Choix des proies	245
6. Différents composants nutritionnels des aliments	246
6.1. Protéines et acides aminés	247
6.1.1. Besoins quantitatifs	248
6.1.2. Besoins qualitatifs	249
6.1.3. Autres utilisations physiologiques	251
6.2. Lipides et acides gras	252
6.2.1. Besoins quantitatifs	252
6.2.2. Besoins qualitatifs	252
6.2.3. Rôle physiologique	257
6.3. Hydrates de carbone (glucides) et sucres simples	262
6.3.1. Besoins quantitatifs	262
6.3.2. Besoins qualitatifs	262
6.3.3. Utilisation physiologique	262
6.4. Éléments minéraux	265
6.5. Vitamines	267
6.5.1. Vitamines hydrosolubles	267
6.5.2. Vitamines liposolubles	271
6.6. Fibres végétales	273
6.7. Pigments	274
6.8. Hormones anabolisantes	274
6.9. Attractants et stimulants	275
6.10. Toxines	276
6.10.1. Phycotoxines	276
6.10.2. Mycotoxines	277
6.10.3. Toxines animales	277
6.11. Répulsifs	278
6.12. Facteurs antinutritionnels	279
6.13. Antioxydants	280
6.14. Éléments inorganiques divers	280
6.15. Phyto-œstrogènes	280
6.16. Divers polluants	281
7. Digestion et absorption	281
7.1. Anatomo-physiologie de l'appareil digestif	282
7.2. Modalités de la digestion	286
7.2.1. Digestion des protéines	286
7.2.2. Digestion des lipides	287
7.2.3. Digestion des hydrates de carbone (glucides)	287
7.2.4. Digestion des acides nucléiques	290
7.3. Enzymes exogènes	290
7.3.1. Enzymes fournies par les proies	291
7.3.2. Activités de la flore microbienne	291
7.4. Rôle des facteurs environnementaux	293
7.5. Absorption et assimilation	293

8. Évacuation gastrique, transit intestinal et défécation	295
9. Jeûne	296
10. Impact écologique de l'alimentation des poissons	299
10.1. Réseaux trophiques et cascades trophiques	299
10.2. Défécation dans les milieux oligotrophes	304
10.3. Transmission de parasites par des vecteurs-proies	305

Chapitre 5

Développement	307
1. Étapes de l'ontogénèse	309
1.1. Définition des stades de développement	309
1.2. Durée du développement embryonnaire et larvaire	313
1.3. Utilisation des réserves vitellines	318
1.4. Éclosion	322
1.5. Ontogénèse larvaire	323
1.5.1. Changements morpho-anatomiques	324
1.5.2. Changements d'habitats et de comportement	327
2. Éléments d'ontogénèse anatomo-fonctionnelle	328
2.1. Ontogénèse tégumentaire	328
2.1.1. Pigmentation	328
2.1.2. Scalation	330
2.2. Ontogénèse sensorielle	331
2.2.1. Organes chimiosensoriels	332
2.2.2. Organes visuels	334
2.2.3. Organes mécanorécepteurs	336
2.2.4. Organes auditifs	336
2.2.5. Organes électriques	347
2.3. Ontogénèse du système nerveux central	347
2.4. Ontogénèse digestive	347
2.4.1. Bouche	348
2.4.2. Dents	348
2.4.3. Tube digestif	348
2.4.4. Pancréas	353
2.4.5. Foie	354
2.4.6. Activités enzymatiques	354
2.4.7. Activités endocrines	356
2.4.8. Vessie gazeuse	357
2.5. Ontogénèse musculaire	357
2.5.1. Sur le plan cellulaire	358
2.5.2. Sur le plan moléculaire	360
2.6. Ontogénèse squelettique	361
2.6.1. Squelette céphalique	362
2.6.2. Squelette axial	363
2.6.3. Squelette des ceintures et des nageoires	363
2.7. Ontogénèse respiratoire	365
2.8. Ontogénèse des organes osmorégulateurs	365
2.9. Ontogénèse rénale	368

2.10. Ontogénèse gonadique	369
2.10.1. À l'échelle tissulaire	369
2.10.2. À l'échelle cellulaire	371
2.10.3. Labilité de la différenciation phénotypique des gonades	373
2.10.4. Contrôle endocrinien de la différenciation gonadique	374
2.11. Ontogénèse des systèmes endocriniens	376
2.12. Ontogénèse des organes hématopoïétiques et lymphoïdes et du système immunitaire	377
2.13. Ontogénèse des systèmes cellulaires oxydatifs et antioxydants	378
3. Métamorphoses	379
3.1. Poissons plats	381
3.2. Smoltification des saumons et des truites de mer	382
3.2.1. Modifications morphologiques	383
3.2.2. Modifications anatomiques	383
3.2.3. Modifications cellulaires et enzymatiques	384
3.2.4. Modifications endocrines	385
3.2.5. Influence des facteurs génétiques	385
3.2.6. Influence des facteurs environnementaux	386
3.2.7. Influence des facteurs sociaux	386
3.2.8. Modifications comportementales	386
3.3. Métamorphoses multiples et successives des Anguilliformes	388
3.3.1. Métamorphose du leptocéphale en civelle transparente	388
3.3.2. Transformation de la civelle en anguilllette	388
3.3.3. Métamorphose de l'anguille jaune en anguille argentée	388
4. Anomalies de développement	390
5. Contrôle endocrinien du développement	392
5.1. Hormones thyroïdiennes	392
5.2. Hormone de croissance GH et facteurs IGF-I	392
5.3. Hormones androgènes	392

Chapitre 6

Croissance	395
1. Bioénergétique	397
1.1. Dépenses énergétiques	397
1.2. Gains énergétiques	399
1.3. Bilan énergétique	399
1.4. Indices biochimiques de la croissance	400
1.5. Condition K	402
1.5.1. Évaluation de la « condition » au niveau d'un individu	402
1.5.2. Évaluation de la « condition » au niveau d'une population	403
1.6. Coefficient écologique de croissance CEC	404
2. Diverses modalités de la croissance en fonction de l'âge	404
2.1. Croissance larvaire	407
2.2. Croissance juvénile et adulte	408
3. Variabilité spatio-temporelle de la croissance	409
3.1. Rôle des facteurs abiotiques	409
3.1.1. Différences d'ordre géographique	409

3.1.2. Différences en fonction des habitats	411
3.1.3. Principaux facteurs ambiants	413
3.2. Rôle des facteurs biotiques	422
3.2.1. Alimentation	422
3.2.2. Reproduction	427
3.2.3. Compétition et facteurs sociaux	427
4. Bases génétiques de la croissance	433
4.1. Variabilité intraspécifique	434
4.2. Chromosomes sexuels	435
5. Rythmes de croissance	439
5.1. Les marques des rythmes de croissance	440
5.1.1. Rythme circadien	440
5.1.2. Rythme lunaire ou sélénien	441
5.1.3. Rythme saisonnier	442
5.2. Scalichronologie et Scalimétrie	442
5.2.1. Estimation de l'âge	443
5.2.2. Estimation de la croissance	446
5.2.3. Signalisation de la ponte et des changements hydrologiques	447
5.3. Otolithochronologie et Otolithométrie	449
5.3.1. Composition chimique	449
5.3.2. Biominéralisation	452
5.3.3. Microstructures et macrostructures	455
5.3.4. Intérêt de la lecture des otolithes	458
6. Autres approches de l'âge et de la croissance	462
6.1. Méthode statistique de Petersen	462
6.2. Analyse des « polygones de fréquence »	462
6.3. Marquages	463
6.4. Dosages biochimiques	463
6.5. Mesures radiométriques	464
7. Traduction mathématique de la croissance	464
8. Contrôle endocrinien de la croissance	466
8.1. Hormones de régulation du métabolisme du calcium	466
8.2. Hormones de régulation de la croissance	468
8.2.1. Hormone de croissance ou « <i>growth hormone</i> » GH, encore dénommée « <i>hormone somatotrope</i> » ou « <i>somatotrophine</i> »	468
8.2.2. Hormones thyroïdiennes	471
8.2.3. Stéroïdes sexuels	472
8.3. Contrôles neurohypophysaires	473
8.3.1. GH-RH « <i>GH-releasing hormone</i> » ou GRF « <i>growth releasing factor</i> »	474
8.3.2. TSH « <i>thyreo-stimulating hormone</i> » ou « <i>thyrotropin-releasing hormone</i> » TRH ou hormone thyroïdienne ou thyroïdophine	474
8.3.3. GnRH « <i>gonadotropin-releasing hormone</i> »	474
8.4. Synergies et antagonismes avec d'autres hormones	474
8.5. Stimulateurs et inhibiteurs de la croissance	475
8.5.1. Stimulation de la croissance	476
8.5.2. Inhibition de la croissance	476
9. Procédés d'amélioration de la croissance en élevage	477

9.1. Manipulations génétiques	477
9.1.1. Production de polyploïdes	477
9.1.2. Production de transgéniques	478
9.1.3. Production de clones par gynogenèse ou androgenèse	481
9.2. Manipulations hormonales	481
9.2.1. GH	481
9.2.2. Hormones thyroïdiennes	482
9.2.3. Stéroïdes sexuels	482
9.3. Manipulations environnementales	483
10. Longévité	484

Chapitre 7

Reproduction	487
1. Diverses modalités gonadiques de la sexualité	487
1.1. Testicules	487
1.2. Ovaires	490
1.3. Ovotestis	491
1.3.1. Hermaphrodisme rudimentaire	493
1.3.2. Hermaphrodisme transitoire	494
1.3.3. Hermaphrodisme accidentel	494
1.3.4. Hermaphrodisme synchrone ou simultané	495
1.3.5. Hermaphrodisme successif ou séquentiel	496
1.4. Intérêt de l'hermaphrodisme	502
1.5. Monandrie-diandrie, monogynie-digynie	503
1.6. Contrôle endocrinien du changement de sexe	504
1.7. Déterminisme social du changement de sexe	506
1.7.1. Serranidés	507
1.7.2. Labridés	507
1.7.3. Pomacentridés	509
1.7.4. Gobiidés	509
1.7.5. Scaridés	509
2. Différentes étapes de la reproduction	510
2.1. Recrutement et multiplication cellulaires	510
2.2. Gamétogenèse	511
2.2.1. Spermatogenèse	512
2.2.2. Sperme et spermiation	513
2.2.3. Ovogenèse	517
2.2.4. Ovulation	539
2.2.5. Ponte effective ou oviposition	540
2.2.6. Résorption ovocytaire ou atrésie	541
2.3. Fécondation	541
2.3.1. Fécondation externe	542
2.3.2. Fécondation interne	548
2.3.3. Fécondabilité des ovocytes	548
2.3.4. Processus cellulaires de la fécondation	548
2.4. Incubation	550
2.4.1. Facteurs génétiques	550
2.4.2. Facteurs ambiants	551

2.5. Éclosion	551
2.6. Développement post-embryonnaire et larvaire	554
3. Ovuliparité, oviparité, ovoviviparité et viviparité	554
3.1. Ovuliparité	555
2.2. Oviparité (ou « zygotarité »)	555
3.3. Ovoviviparité	556
3.4. Viviparité	557
3.4.1. Viviparité « aplacentaire »	557
3.4.2. Viviparité « pseudoplacentaire » ou « omphaloplacentaire »	558
4. Fécondité	559
4.1. Définition	559
4.2. Évaluation	560
4.3. Valeurs observées et variabilité inter- et intraspécifique	561
4.3.1. Variabilité interspécifique	561
4.3.2. Variabilité intraspécifique	562
5. Cycles saisonniers de reproduction	568
5.1. Contrôle photo-thermopériodique	569
6. Périodes de reproduction et moment des pontes	571
6.1. Saison de ponte	571
6.2. Moment de la ponte	573
6.2.1. Périodicité liée à la saison des pluies	573
6.2.2. Périodicité lunaire	574
6.2.3. Périodicité tidale	575
6.2.4. Périodicité jour-nuit	577
7. Contrôle neuro-endocrinien de la ponte	577
7.1. Gonadolibérines GnRH et dopamine DA d'origine hypothalamique	577
7.2. Gonadotrophines GTH d'origine hypophysaire	579
7.3. Stéroïdes sexuels d'origine gonadique	581
7.3.1. Diversité des stéroïdes sexuels	581
7.3.2. Fonction des stéroïdes sexuels	582
7.3.3. Androgènes	582
7.3.4. Oestrogènes	584
7.4. Facteurs inducteurs MIS et MPF	588
7.5. Hormones thyroïdiennes	589
7.6. Prostaglandines PG	590
7.7. Effets de molécules xénobiotiques et de facteurs de stress	590
8. Contrôle social de la reproduction	591
9. « Puberté »	592
10. Applications à l'élevage	593
10.1. Induction de la spermiation et de la ponte	593
10.1.1. Spermatogenèse et spermiation	593
10.1.2. Ovulation et ponte	594
10.2. Fécondation artificielle et cryopréservation des gamètes	596
10.3. Hybridations intra- et interspécifiques	598
10.3.1. Hybridations intraspécifiques	598
10.3.2. Hybridations interspécifiques et intergénériques	598
10.4. Production d'individus stériles	600
10.4.1. Traitements physiques (autotri- et tétraploïdie)	600

10.4.2. Traitements chimiques (autotriploidie)	602
10.4.3. Hybridation (allotriploidie)	602
10.4.4. Traitement hormonal	602
10.4.5. Réaction auto-immune	603
10.5. Production de populations monosexes	603
10.5.1. Effets thermiques	604
10.5.2. Effets hormonaux	605
10.5.3. Hybridations	607
10.5.4. Gynogenèse	607
10.5.5. Androgenèse	608
10.6. Obtention de poissons transgéniques	609
10.7. Clonage	610
10.8. Décalage des saisons de ponte	611
10.8.1. Modification de la photopériode	611
10.8.2. Modification de la température	612
10.8.3. Modification de la salinité	612
10.8.4. Traitements hormonaux	612
11. Importance démographique de la reproduction	613
11.1. « Stratégie r »	613
11.2. « Stratégie K »	614

Chapitre 8

Excrétion	617
1. Produits d'excrétion	620
1.1. Ammoniac	620
1.2. Urée	623
1.3. Variations métaboliques au cours de l'ontogenèse	625
1.4. Adaptations métaboliques à la vie amphibie et à celle dans des milieux extrêmes	625
2. Toxicité des déchets azotés, facteurs de pollution	630
2.1. Ammoniac	632
2.2. Nitrites	633
2.3. Urée et nitrates	634

Chapitre 9

Osmorégulation	635
1. Organes effecteurs des échanges d'eau et d'ions	637
1.1. Reins	637
1.1.1. Glomérule	637
1.1.2. Tubule	640
1.1.3. Recrutement néphroglomérulaire	640
1.2. Tractus digestif	641
1.3. Branchies	642
2. Mécanismes d'échanges d'ions	646
2.1. Échanges d'ions au niveau rénal	648
2.1.1. En eau douce	648
2.1.2. En eau de mer	648

2.2. Échanges d'ions au niveau de la vessie urinaire	649
2.3. Échanges d'ions au niveau intestinal	650
2.4. Échanges d'ions au niveau branchial	651
2.4.1. Absorption des ions	652
2.4.2. Excrétion des ions	652
2.5. Échanges d'ions à des fins d'équilibre acido-basique	655
3. Contrôle endocrinien	657
3.1. Cortisol	659
3.2. Hormones thyroïdiennes	660
3.3. Hormone de croissance GH	660
3.4. Prolactine PRL	660
3.5. Catécholamines	661
3.6. Calcitonine	661
3.7. Vasotocine	661
3.8. Autres hormones peptidiques	661
3.9. Stéroïdes sexuels	662
4. Diverses situations environnementales	662
4.1. Téléostéens marins	662
4.2. Téléostéens d'eau douce	665
4.3. Transferts expérimentaux de poissons entre milieux de salinités différentes	666
4.4. Poissons amphibiotiques et espèces euryhalines	667
4.4.1. Migrateurs amphihalins	667
4.4.2. Euryhalins	669
4.5. Signification écologique des diverses potentialités d'osmorégulation	670
4.5.1. Partage des habitats et colonisation de nouveaux sites	670
4.5.2. Sédentarité et capacités migratoires	670
4.5.3. Applications aquacoles	672

Chapitre 10

Respiration

1. Organes assurant les échanges gazeux	677
1.1. Branchies	677
1.2. Peau et organes annexes	679
2. Mécanismes des échanges gazeux	679
2.1. Surface branchiale	680
2.2. Distance eau-sang	681
2.3. « Ventilation » branchiale	682
2.3.1. « Ventilation » par « pompage » actif	682
2.3.2. « Ventilation » passive au cours de la nage	684
2.4. Flux sanguin branchial et activité cardiovasculaire	685
2.5. Hémoglobines	685
3. Besoins respiratoires des poissons en condition normoxique	688
3.1. En rapport avec l'activité natatoire et la plongée	688
3.2. En rapport avec l'alimentation	689
3.3. En rapport avec l'habitat	690
3.4. En rapport avec l'ontogenèse	691
3.5. En rapport avec la croissance	692

3.6. En rapport avec le cycle de la reproduction	692
3.7. En rapport avec un stress	692
3.8. En rapport avec un rythme endogène	692
4. Ajustements respiratoires en condition « non normoxique »	693
4.1. Résistance à l'hypoxie-anoxie	694
4.2. Hyperoxie	696
5. Autres gaz	698
5.1. Ozone O ₃	698
5.2. Dioxyde de carbone CO ₂	698
5.3. Hydrogène sulfuré H ₂ S	699
5.4. Méthane CH ₄	700
6. Pathologie branchiale	700
7. Respiration aérienne et vie amphibie	701
7.1. Peau	701
7.2. Bouche	702
7.3. Intestin	702
7.4. Estomac	703
7.5. Labyrinthe et diverticules pharyngiens	703
7.6. Cavité branchiale et branchies	703
7.7. Vessie gazeuse modifiée	703
8. Respiration larvaire	704
9. Respiration pulmonaire	704

Chapitre 11

Protection	707
1. Protection vis-à-vis des facteurs physiques ambiants	707
1.1. Protection thermique	707
1.1.1. Variations saisonnières de la richesse en lipides	708
1.1.2. Augmentation de la pression osmotique	709
1.1.3. Biosynthèse de molécules d'« antinucléation »	709
1.1.4. Activités enzymatiques maintenues à basse température	710
1.1.5. Biosynthèse de « protéines de stress thermique »	710
1.1.6. Point de vue comportemental	711
1.2. Protection haline	711
1.3. Protection hydraulique	711
2. Protection vis-à-vis des prédateurs	711
2.1. Forme corporelle	712
2.2. Taille corporelle	715
2.3. Dispositifs anatomiques spécialisés	716
2.3.1. Écailles et squelette dermique	717
2.3.2. Épines corporelles et nageoires	717
2.3.3. Glandes à venin annexées à des épines	720
2.3.4. Dispositifs de camouflage, mimétisme, mimicrie et coloration sématique	720
2.3.5. Protection chimique	727
2.3.6. Protection par silence	730

3. Protection contre les parasites et les germes infectieux	730
3.1. Protection mécanique – Peau et écailles	730
3.2. Protection mécanique et chimique : le mucus	731
3.2.1. Rôle mécanique	731
3.2.2. Rôle bactéricide et immunologique	731
3.3. Protection immunologique générale	732
3.3.1. Immunité cellulaire	733
3.3.2. Immunité humorale	735
3.3.3. Immunostimulateurs naturels	737
3.3.4. Réactions d'hypersensibilité	738
3.3.5. Réactions inflammatoires	738
3.3.6. Réactions auto-immunes	739
3.3.7. Immunodépression et immunosuppression	739
3.3.8. Pratiques zootechniques	740
4. Protection physiologique – Réactions de stress	742
4.1. Facteurs de stress	742
4.2. Réponses physiologiques au stress	746
4.2.1. « Phase d'alarme »	747
4.2.2. « Phase de résistance »	751
4.2.3. « Phase d'épuisement »	759
5. Protection comportementale	762

Chapitre 12

Locomotion	763
1. Maintien de l'équilibre	769
1.1. Flottabilité	770
1.2. Stimuli sensoriels	770
1.3. Vessie gazeuse	770
1.4. Nageoires impaires et paires	773
2. Nage statique	774
3. Nage dynamique	776
3.1. Mise en évidence et mesure de la vitesse de déplacement	776
3.1.1. Vitesse de nage	776
3.1.2. Facteurs hydrodynamiques engendrés par la nage du poisson lui-même	778
3.1.3. Modalités de la contraction musculaire	778
3.2. Mécanismes morpho-anatomophysiologiques	779
3.2.1. Forme corporelle	780
3.2.2. Flexibilité corporelle	780
3.2.3. Forme et insertion des nageoires	781
3.2.4. Organisation de la musculature latérale	788
3.2.5. Contraction musculaire	791
3.2.6. Surface tégumentaire	793
3.2.7. Système d'innervation motrice	795
3.3. Différents modes de nage	796
3.3.1. Nage de croisière, régulière et prolongée	796
3.3.2. Nage de manœuvre	800
3.3.3. Accélération	804



3.4. Nage et endothermie	806
3.5. Performances de nage	808
3.5.1. Vitesse de déplacement	808
3.5.2. Dépenses énergétiques de nage et endurance	810
3.5.3. Conséquences éco-éthologiques des performances de nage	812
3.6. Rôle des facteurs environnementaux	814
4. Nage larvaire	818
4.1. Nage larvaire à finalité alimentaire	821
4.2. Nage larvaire d'échappement à la prédation	822
5. Nage portée	822
6. Nage en bancs	823
7. Reptation	825
8. Marche	826
9. Enfouissement	827
10. Saut	828
11. Vol	828
11.1. Vol dans l'eau	828
11.2. Vol dans l'air	828
11.2.1. Vol plané	829
11.2.2. Vol battu « moteur »	830

Chapitre 13

Perception sensorielle	833
1. Vision	833
1.1. Organes photosensibles	835
1.1.1. Œil camérulaire	835
1.1.2. Épiphyse	846
1.2. Centres nerveux diencephaliques et mésencéphaliques	848
1.3. Radiations lumineuses accessibles aux poissons et pigments rétiens photosensibles	850
1.3.1. Lumière du spectre visible	851
1.3.2. Lumière UV	851
1.3.3. Lumière polarisée	852
1.4. Diverses sensibilités rétinienne	853
1.4.1. Vision monochromatique	853
1.4.2. Vision di- et polychromatique	854
1.5. Capacités visuelles des diverses espèces et signification écologique	854
1.5.1. Poissons des profondeurs	855
1.5.2. Poissons vivant sous la glace de l'Antarctique	858
1.5.3. Poissons pélagiques du large et poissons littoraux	858
1.5.4. Poissons des récifs coralliens	858
1.5.5. Poissons d'eau douce	859
1.5.6. Migrateurs amphihalins	861
1.5.7. Espèces effectuant des migrations bathymétriques	861
1.5.8. Espèces amphibies	862
1.6. Fonctions visuelles en terme comportemental	862
1.6.1. Couleurs des poissons	862

1.6.2. Vision et alimentation	872
1.6.3. Vision et reproduction	874
1.6.4. Vision et nage	875
1.6.5. Vision, regroupement et formation de bancs	875
1.6.6. Vision et territorialité	876
1.6.7. Vision et camouflage	877
1.6.8. Nyctémère et rythmes d'activité	878
1.6.9. Vision et orientation	878
2. Audition	879
2.1. Diverses catégories de sons	880
2.2. Poissons producteurs de sons	880
2.3. Organes récepteurs des sons	883
2.3.1. Oreille interne	884
2.3.2. Structures annexes	890
3. Sens mécanique – Ligne latérale	892
3.1. Anatomie et structure	892
3.2. Fonctions	894
3.3. Signification écologique	897
4. Perception chimique	899
4.1. Olfaction	900
4.1.1. Organes récepteurs	900
4.1.2. Sensibilité olfactive	901
4.1.3. Importance de la fonction olfactive	904
4.2. Goût	911
4.2.1. Organes gustatifs	911
4.2.2. Sensibilité gustative	913
4.2.3. Importance de la fonction gustative et importance écologique	915
5. Toucher	918
6. Sensibilité aux champs électriques et au géomagnétisme terrestre	919
6.1. Signaux électriques	919
6.2. Organes émetteurs – Organes d'électrogenèse	920
6.2.1. Poissons producteurs de fortes décharges électriques	924
6.2.2. Poissons producteurs de faibles décharges électriques	925
6.2.3. Poissons moyennement électriques	926
6.3. Organes d'électroréception	926
6.3.1. Ampoules de Lorenzini	926
6.3.2. Récepteurs ampoulaire et tubéreux	928
6.4. Fonction des organes d'émission-réception et signification écologique	931
6.4.1. Électrolocalisation	931
6.4.2. Électrocommunication	934
6.4.3. Orientation et navigation	935
7. Capacités sensorielles et développement cérébral	936

Chapitre 14

Communication	941
1. Communication chimique	941
1.1. « Homing » des migrateurs	944
1.2. Rencontre des géniteurs et comportements de cour et de ponte	945

1.2.1. Rencontre des géniteurs	946
1.2.2. Choix des substrats de ponte	946
1.2.3. Émission des produits sexuels et fécondation des ovocytes	946
1.2.4. Non perception des signaux chimiques liée à l'immaturité juvénile	947
1.2.5. Non spécificité des messages chimiques	947
1.2.6. Applications à la pêche et à l'élevage	947
1.3. Regroupement	948
1.4. Défense antiprédateur	948
1.5. Messages d'alarme	949
1.6. Établissement de hiérarchies sociales	951
1.7. Reconnaissance familiale et comportements de nidification et de gardiennage	951
2. Communication visuelle	952
2.1. Comportements d'agrégation et de formation de bancs	953
2.2. Comportements sociaux de dominance et d'établissement d'une hiérarchie	954
2.3. Défense d'un territoire	955
2.4. Sélection sexuelle	955
2.5. Comportements de cour et parades nuptiales	956
2.6. Soins parentaux	956
2.7. Bioluminescence	957
3. Communication auditive	960
3.1. Émissions sonores	960
3.2. Réceptions acoustiques	960
3.3. Signification de la communication auditive	962
3.3.1. Rapprochement des sexes	962
3.3.2. Comportement de cour	962
3.3.3. Défense d'un territoire ou d'un nid de ponte	963
4. Communication par des signaux électriques	964
5. Communication tactile	965

Troisième partie

Comportements et stratégies comportementales

Chapitre 15

Méthodes d'observation des comportements	969
1. Études en milieu naturel	969
1.1. Observation directe en scaphandre autonome	969
1.2. Observation indirecte par des caméras de prise de vues	970
1.3. Observation directe et indirecte par des submersibles	970
1.4. Suivi par des marques tégumentaires naturelles	971
1.5. Suivi par des marques colorées	971
1.6. Suivi par des marques artificielles	973
1.7. Techniques de biotélémétrie	974
1.8. « Signatures chimiques »	977
1.9. « Signatures génétiques »	977
1.10. Autres méthodes	978
2. Observations directes en aquarium et en élevage	978

Chapitre 16

Diversité et complexité des stratégies comportementales 981

Chapitre 17

S'alimenter

	983
1. Choix d'une aire d'alimentation	983
2. Partage des aires trophiques entre les espèces et les individus : le territoire trophique	984
3. Tactiques de prise de nourriture	986
4. Choix des proies	994
4.1. Opportunisme trophique	994
4.2. Innovation trophique	995
4.3. Acquisition d'une activité alimentaire suite à des expériences et par « apprentissage »	996
4.4. Cannibalisme	997
4.4.1. Cannibalisme filial	999
4.4.2. Cannibalisme dit « familial »	1000
4.4.3. « Hétérocannibalisme »	1001
4.4.4. Anticannibalisme	1001
5. Rythme d'activité trophique	1002
5.1. Espèces diurnes	1003
5.2. Espèces nocturnes	1003
5.3. Espèces crépusculaires	1003
5.4. Flexibilité des rythmes nycthéméraux	1003
6. Compétition trophique intraspécifique	1004
6.1. Centrarchidés	1004
6.2. Gastérostéidés	1004
6.3. Salmonidés	1005
6.4. Cichlidés	1006
6.5. Clariidés et Ictaluridés	1007
7. Compétition trophique interspécifique	1008
7.1. En terme spatial	1009
7.1.1. En rivière	1011
7.1.2. Dans les lacs	1012
7.1.3. En mer	1013
7.2. En terme temporel	1014
7.3. Compétition limitée à une phase du cycle vital	1014
8. Régimes spécialisés	1016

Chapitre 18

Se reproduire

	1019
1. Aires de ponte	1019
1.1. Déplacements de faible amplitude	1019
1.2. Migrations génésiques	1020
1.2.1. Salmonidés potamotoques	1020

1.2.2. Pétromyzontidés potamotoques	1022
1.2.3. Anguillidés thalassotoques	1022
1.2.4. Espèces épipélagiques	1023
2. Sites de ponte ou frayères	1023
2.1. « Lithophiles »	1025
2.2. « Saxiphiles »	1027
2.3. « Psammophiles »	1028
2.4. « Phytophiles »	1028
2.5. « Ostracophiles »	1028
2.6. « Aérophiles »	1029
3. Organisation sociale de choix et de défense des sites de ponte	1030
4. Sélection sexuelle	1035
4.1. Taille	1036
4.2. Couleurs	1038
4.3. Indicateurs morphologiques	1043
4.4. Signaux olfactifs	1045
4.5. Signaux auditifs	1046
4.6. Comportements	1046
4.6.1. Comportements de cour et parades sexuelles	1046
4.6.2. Combativité	1048
4.6.3. Qualité du site de ponte choisi et des nids de ponte construits	1049
4.6.4. Qualité des soins parentaux et défense du territoire	1051
4.6.5. Sommation des critères de choix	1051
5. Espèces monogames et formation des couples	1052
5.1. Couples transitoires	1052
5.2. Couples durables	1053
5.2.1. Durant une saison de ponte	1053
5.2.2. Durant plusieurs années et toute la vie	1053
6. Espèces polygames et la formation de harems	1055
7. Modalités de ponte	1057
7.1. Fécondations immédiates en milieu « ouvert »	1058
7.1.1. En pleine eau	1058
7.1.2. Sur substrat ouvert	1062
7.2. Fécondations immédiates en milieu « fermé »	1065
7.3. Fécondations retardées	1065
8. Stratégies alternatives de fécondation et compétition spermatique	1067
9. Économie et gaspillage spermatique au cours des fécondations multiples	1075
10. Calendrier saisonnier et rythme des pontes	1077
10.1. Calendrier des pontes saisonnières	1077
10.2. Cycle lunaire	1078
10.3. Rythme nycthémeral	1079
10.4. Rythme tidal lié aux courants de marée	1081
11. Protection des œufs et des larves	1081
11.1. Habitats protecteurs « ouverts » sans gardiennage	1082
11.2. Défense d'un territoire de ponte « ouvert »	1084
11.3. Habitats protecteurs « fermés et gardés »	1085
11.4. Incubation corporelle spécifique	1092
11.5. Incubation hétérosécifique	1096

Chapitre 19

Se protéger	1099
1. Protection vis-à-vis des contraintes physiques du milieu	1099
1.1. Abris thermiques	1099
1.2. Abris hydrauliques	1100
2. Protection vis-à-vis des prédateurs	1102
2.1. Importance de la prédation	1102
2.1.1. Prédation par des poissons, des oiseaux et des mammifères	1103
2.1.2. Par des invertébrés	1104
2.1.3. Par la pêche	1105
2.2. Comportements d'antiprédation	1105
2.2.1. Recherche d'abris antiprédateurs	1107
2.2.2. Immobilisme et le silence	1125
2.2.3. Camouflage	1125
2.2.4. Défense d'un territoire	1126
2.2.5. Vigilance et inspection du prédateur	1126
2.2.6. Regroupement et réunion en bancs	1128
2.2.7. Production de substances d'alarme	1135
2.2.8. Comportements de dissuasion	1138
2.2.9. Comportements de fuite active et de dérive	1140
2.2.10. Rôle de l'expérience	1142

Chapitre 20

La vie dans des milieux particuliers	1143
1. Vie dans des herbiers marins	1143
1.1. Ichtyofaune	1144
1.2. Organisation trophique	1145
1.2.1. Zone tempérée de la Méditerranée occidentale	1146
1.2.2. Zones tropicales atlantiques et indo-pacifiques	1148
1.3. Menaces d'origine anthropique sur les herbiers méditerranéens de posidonies	1148
2. Vie dans des habitats rocheux	1151
2.1. Ichtyofaune	1151
2.2. Organisation spatiale de l'ichtyofaune	1152
2.3. Organisation temporelle de l'ichtyofaune	1156
2.4. Protection des biotopes rocheux	1156
2.5. Récifs artificiels	1157
3. Vie dans la zone intertidale	1160
3.1. Ichtyofaune	1161
3.2. Variabilité ichtyique saisonnière	1163
3.3. Niches trophiques	1163
3.4. Aires de ponte	1164
3.5. Compétition et prédation	1164
4. Vie dans les estuaires	1164
4.1. Caractéristiques hydrologiques	1164
4.2. Diversité spécifique de l'ichtyofaune	1167
4.3. Catégories écologiques de poissons	1168

4.4. Répartition spatiale intra-estuarienne	1170
4.5. Sédentarité et nomadisme	1170
4.6. Estuaires en qualité de « zones de transit »	1171
4.7. Estuaires en qualité d'aires trophiques	1172
4.8. Estuaires en qualité d'aires de ponte	1175
4.9. Estuaires en qualité de refuges	1175
4.10. Utilisation halieutique	1175
4.11. Menaces de dégradation et mesures de protection	1176
5. Vie dans les lagunes	1176
5.1. Types de lagunes	1177
5.2. Hydroclimat et hydraulique lagunaires	1178
5.3. Production lagunaire et chaînes trophiques	1179
5.4. Biotopes lagunaires	1180
5.5. Ichtyofaune	1181
5.6. Structure et stabilité des populations ichthyiques	1182
5.6.1. « Sédentaires »	1182
5.6.2. « Migrateurs »	1184
5.6.3. « Occupants erratiques »	1186
5.7. Échanges ichthyiques mer-lagune	1187
5.8. Intérêt écologique et halieutique des lagunes	1189
6. Vie dans les récifs coralliens	1190
6.1. Relations trophiques	1192
6.2. Partage spatio-temporel des habitats	1195
6.2.1. Partage spatial des ressources	1195
6.2.2. Partage temporel des ressources	1195
6.3. Reproduction	1197
6.3.1. Modalités sexuelles	1198
6.3.2. Ponte	1199
6.4. Recrutement	1200
6.4.1. Déplacements passifs et actifs	1200
6.4.2. Durée de la vie pélagique	1200
6.4.3. Attraction par le récif	1201
6.4.4. Installation sur le récif	1201
6.5. Organisation des peuplements	1204
6.6. Perturbations d'origine climatique et menaces anthropiques	1205
7. Vie dans les milieux asséchés périodiques	1206
7.1. Survie estivale des adultes	1206
7.1.1. Dipneustes	1206
7.1.2. Polyptéroides brachyoptérygiens	1208
7.1.3. Clariidés	1209
7.1.4. Diverses autres espèces et leurs stratégies	1209
7.2. Survie estivale des pontes	1209
8. Vie dans les eaux froides	1211
8.1. Poissons de l'Antarctique	1211
8.1.1. Molécules antigel	1212
8.1.2. Érythrocytes et hémoglobines	1214
8.1.3. Richesse en lipides	1215
8.1.4. Systèmes enzymatiques	1216

8.1.5. Molécules « chaperonnes »	1217
8.1.6. Alimentation	1218
8.1.7. Croissance	1218
8.1.8. Locomotion	1218
8.1.9. Reproduction	1219
8.2. Poissons de l'Arctique	1219
8.2.1. Espèces d'eau douce – Salmonidés	1220
8.2.2. Espèces marines	1221
8.3. Poissons du lac Baikal	1222
9. Vie dans les eaux profondes	1222
9.1. Ichtyofaune	1223
9.1.1. Taille, âge et croissance	1224
9.1.2. Espèces mésopélagiques	1225
9.1.3. Espèces bathyales et abyssales	1225
9.2. Alimentation	1226
9.3. Flottabilité et locomotion	1227
9.4. Reproduction	1229
9.5. Bioluminescence	1230
9.6. Systèmes sensoriels	1231
9.7. Hydrothermalisme profond	1232
9.8. Menaces sur les espèces profondes	1232
10. Vie cavernicole	1233
10.1. Localisation géographique	1233
10.2. Environnement	1234
10.3. Origine de la stygofaune	1234
10.4. Caractéristiques morpho-anatomophysiologiques	1235
10.5. Alimentation	1236
10.6. Reproduction	1236
10.7. Caractéristiques comportementales	1237
11. Vie en association avec d'autres organismes	1237
11.1. Avec des invertébrés	1237
11.1.1. Association poissons-éponges	1237
11.1.2. Association poissons-cnidaire	1241
11.1.3. Association poissons-échinodermes	1242
11.1.4. Association poissons-mollusques	1242
11.1.5. Association poissons-crustacés	1243
11.1.6. Association poissons-ascidies	1243
11.1.7. Association poissons-annélides	1243
11.2. Avec d'autres poissons	1243
11.2.1. Poissons-parasites	1243
11.2.2. Rémoras : <i>Echeneis</i> sp et <i>Remora</i> sp (Echénéidés)	1244
11.2.3. « Poissons-nettoyeurs »	1248
11.2.4. Divers autres cas de commensalisme	1249
Références bibliographiques	1453
Index systématique	1475
Index thématique et géographique	

Les poissons et leur environnement

Écophysiologie et comportements adaptatifs

La très grande diversité des mécanismes physiologiques et des comportements permet d'expliquer le « succès écologique » des poissons, qui ont colonisé depuis 550 millions d'années tous les milieux aquatiques, résistant à des conditions extrêmes. Pour chasser, se protéger, se reproduire, communiquer, les poissons ont su développer des stratégies et des « tactiques » comportementales très élaborées. Ces comportements reposent sur l'utilisation de signaux très précis (visuels, olfactifs, gustatifs, tactiles, auditifs, et parfois électriques) qui permettent une analyse très fine de l'environnement aquatique.

En plus de 1500 pages, **Les poissons et leur environnement** dresse un panorama complet des connaissances relatives aux exigences écophysiologiques et aux comportements adaptatifs des poissons dans tous les types de milieux et à tous les stades de leur développement et de leur cycle vital.

L'ouvrage est divisé en trois parties. La première présente les caractères hydrologiques des écosystèmes de la biosphère et propose un tour d'horizon de la systématique des poissons et de leur évolution. La deuxième partie cerne les exigences écophysiologiques des poissons (alimentation, développement, croissance...). Les comportements trophiques, génésiques et de protection, ainsi que les adaptations à divers milieux de vie originaux sont passés en revue dans le troisième volet.

Le texte de ce livre est richement illustré de schémas et de graphiques explicatifs (857 figures) et se réfère à de très nombreux travaux (4630 références bibliographiques).

La grande variété des 1200 espèces prises en compte et des thèmes abordés dans cet ouvrage en font la référence de l'ichtyologie en langue française, destinée aussi bien aux lecteurs avertis – gestionnaires des milieux naturels, pisciculteurs, enseignants, étudiants, chercheurs, – qu'à un public plus large intéressé par le fonctionnement des écosystèmes aquatiques : écologistes, pêcheurs, aquariophiles...

Jacques Bruslé est agrégé de sciences naturelles, docteur ès sciences et professeur émérite à l'université de Perpignan.

Jean-Pierre Quignard est docteur ès sciences et professeur à l'université Montpellier 2 — sciences et techniques du Languedoc (laboratoire d'ichtyologie).

2-7430-0679-X



9 782743 006792