

Université du Québec

Mémoire

Présenté à

l'Institut national de la recherche scientifique
comme exigence partielle
de la maîtrise ès Sciences (Eau)

par

Jean-Pierre Amyot
Bachelier ès sciences (Biologie)
de l'Université Laval

Contribution à la pisciculture d'alimentation
en eau douce au Québec

mars 1983

REMERCIEMENTS

Je tiens d'abord à exprimer ma gratitude envers tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont accordé leur appui à la réalisation de ce document.

Un remerciement spécial à mon directeur de mémoire monsieur Jean-Guy Godin ainsi qu'à mon conseiller et correcteur interne monsieur André Tessier, auxquels je sais gré du temps consacré et de l'apport de leurs nombreux commentaires. Ces propos s'adressent aussi à mon correcteur externe, monsieur Richard Couture, de l'Université du Québec à Trois-Rivières.

Je tiens également à remercier les personnes suivantes: messieurs Pierre Samson et Robert Péloquin du Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation; messieurs Luc Samson, Jacques Prescott, Richard Matthieu et madame Lucie Labonté du Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche; messieurs T.G. Carey, Franco Frittaion et madame Linda Cameron du Ministère des Pêches et Océans; monsieur J.M. Byrne du Ministère des Ressources Naturelles de l'Ontario; messieurs Michel Besner et Réal Lallier de l'Institut de médecine vétérinaire de St-Hyacinthe; monsieur Jacques Bonneau de l'Union des Producteurs Agricoles; monsieur Louis Philippe Fillion du Syndicat des Pisciculteurs du Québec et monsieur Jean-Louis Loubier de la Coopérative Québécoise des Pisciculteurs.

J'exprime ma reconnaissance au personnel de l'INRS-Eau et, plus particulièrement à monsieur André Parent pour son magnifique travail au niveau de l'élaboration des figures ainsi qu'à madame Lise Raymond pour sa patience et son professionnalisme apportés dans la dactylographie de ce mémoire.

Enfin, je désire remercier chaleureusement mes collègues et ami(e)s étudiant(e)s: Mario, Gilles, André, Nicole, Jacques et Luc auxquels je dois beaucoup plus que la simple dédicace de ce travail.

TABLE DES MATIÈRES

	<u>page</u>
Remerciements.....	i
Table des matières.....	ii
Liste des tableaux.....	v
Liste des figures.....	vi
Annexes.....	viii
Introduction.....	1
Chapitre 1: L'AQUICULTURE À TRAVERS LE MONDE.....	4
1.1 Concepts et définitions.....	5
1.2 Historique et objectifs.....	7
1.3 Productivité et production.....	9
1.4 Opérationnalisation de l'industrie aquicole.....	13
Chapitre 2: LES INTERVENANTS DE LA PISCICULTURE QUÉBÉCOISE.....	16
2.1 Historique.....	17
2.2 Les intervenants.....	18
2.2.1 Ministère des Pêches et Océans.....	18
2.2.2 Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche du Québec.....	21
2.2.3 Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.....	26
2.2.4 Syndicat des Pisciculteurs du Québec.....	27
2.2.5 Coopérative Québécoise des Pisciculteurs.....	28
2.2.6 Ministère de l'Environnement du Québec.....	29
2.2.7 Fédération Coopérative des Pêcheurs Unis du Québec....	30
2.3 Orientation du développement piscicole québécois.....	30
Chapitre 3: CARACTÉRISTIQUES BIOLOGIQUES DES SALMONIDÉS..... (truite arc-en-ciel et omble de fontaine)	37
3.1 Les objectifs.....	38
3.2 Nomenclature.....	38
3.3 Distribution géographique.....	39
3.3.1 Truite arc-en-ciel.....	39
3.3.2 Omble de fontaine.....	40
3.4 Caractéristiques externes.....	44
3.5 Bio-énergétique et croissance.....	47

		<u>page</u>
3.6	Alimentation.....	53
3.6.1	Recherche sur la composition chimique.....	57
3.6.2	Alimentation versus qualité du poisson.....	60
3.6.3	Comportement alimentaire en élevage intensif.....	62
3.7	Qualité du milieu versus développement.....	64
3.7.1	Aspects physico-chimiques de la qualité de l'eau.....	68
3.7.1.1	Température.....	69
3.7.1.2	Oxygène.....	75
3.7.1.3	Activité des ions hydrogènes (pH).....	79
3.7.1.4	Azote ammoniacal.....	83
3.8	Maladies reliées à un agent infectieux.....	86
3.8.1	Maladies virales.....	88
3.8.2	Maladies bactériennes.....	92
3.8.3	Maladies reliées à des champignons, algues et parasites.....	95
3.9	Recherches et manipulations biologiques.....	95
Chapitre 4:	ASPECTS TECHNIQUES ET ÉCONOMIQUES DE LA RECHERCHE TRUITTICOLE.....	98
4.1	Contexte du chapitre.....	99
4.2	Schéma de production.....	99
4.3	Les méthodes de production.....	100
4.3.1	Élevage en étang.....	101
4.3.2	Élevage dans les marnites des prairies.....	103
4.3.3	Élevage en bassin.....	103
4.3.4	Élevage en silo.....	104
4.3.5	Élevage en cage ou en enclos.....	104
4.4	Capacité de production d'une pisciculture en vivier.....	106
4.4.1	Capacité de support.....	106
4.4.1.1	Capacité de charge ou charge débit.....	107
4.4.1.2	Densité d'occupation ou charge volume.....	110
4.4.1.3	Renouvellement de l'eau.....	110
4.4.2	Taux de croissance.....	115
4.4.3	Saison de croissance.....	116
4.4.4	Capacité de production.....	117
4.5	Économie et mise en marché.....	118

	<u>page</u>
4.5.1	Intégration verticale..... 119
4.5.2	Situation de la production québécoise..... 121
4.6	Éléments de recherche de pointe..... 123
Chapitre 5:	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS..... 127
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	142

LISTE DES TABLEAUX

	<u>page</u>
1.1	Valeur comparative des protéines produites par unité d'énergie métabolisée pour différentes productions..... 11
1.2	Statistiques mondiales d'aquiculture (tonne métrique/an)..... 12
2.1	Espèces de poissons cultivés au Québec de 1857 à 1980..... 19
2.2	Organismes impliqués dans la production de truites de table au Québec en 1981..... 20
3.1	Relation entre la longueur et le poids de l'omble de fontaine et de la truite arc-en-ciel..... 48
3.2	Processus qui sont susceptibles d'être influencés directement par différents facteurs inhérents à l'éle- vage de poissons..... 52
3.3	Température optimale pour la croissance de certains salmonidés..... 70
3.4	Pourcentage d'ammoniac non ionisé (NH ₃) dans une solu- tion aqueuse d'azote ammoniacal en fonction du pH et de la température..... 84
3.5	Liste de maladies infectieuses affectant les salmonidés... 87
3.6	Facteurs intervenant dans l'équilibre physiopathologi- que d'un organisme en aquiculture intensive..... 89
4.1	Capacité de charge pour truites de 10 cm..... 109

LISTE DES FIGURES

	<u>page</u>
1.1	Importance des facteurs biologiques, techniques et économiques influençant le développement de l'aquiculture..... 15
2.1	Établissements piscicoles gouvernementaux au Québec de 1975 à 1980..... 23
2.2	Zones de pisciculture..... 24
2.3	Vente d'ombles de fontaine et de truites arc-en-ciel de un an ou plus au Québec..... 32
2.4	Schéma de distribution des ventes annuelles et de la valeur totale..... 33
2.5	Valeur approximative des ventes de truites en étangs de pêche et pour la consommation humaine (truite de table)..... 34
2.6	Valeur approximative des ventes de truites à des clubs privés de Chasse et de Pêche..... 35
3.1	Distribution de <u>Salmo gairdneri</u> en Amérique du Nord..... 41
3.2	Distribution mondiale de <u>Salmo gairdneri</u> 42
3.3	Distribution de <u>Salvelinus fontinalis</u> en Amérique du Nord..... 43
3.4	Corps typique de <u>Salvelinus fontinalis</u> et de <u>Salmo gairdneri</u> 45

	<u>page</u>
3.5	Schéma de l'anatomie d'un salmonidé..... 49
3.6	Représentation schématique du système général du métabolisme décrivant la croissance, des intrants (nourriture et oxygène) aux extrants (croissance, travail, excréments), et démontrant certains des facteurs internes et externes affectant le système..... 54
3.7	Sommaire des facteurs induits par une compensation physiologique en réponse aux variations environnementales..... 67
3.8	Effet d'une réduction de ration sur la relation entre le taux de croissance ($\pm 2\sigma$) et la température chez le saumon sockeye (7 à 12 mois)..... 74
3.9	Taux spécifique de croissance ($\pm \sigma$) de saumon coho juvénile (5-10 g) en relation avec la concentration d'oxygène à 15°C..... 78
3.10	Relation entre la vitesse de développement de certaines maladies des salmonidés et la température de l'eau..... 90
4.1	Capacité de charge de la truite soumise à différentes températures..... 108
4.2	Densité d'occupation acceptable chez la truite..... 111
4.3	Taux de renouvellement de l'eau d'un bassin suivant une capacité de support basée sur une densité d'occupation maximale..... 112
4.4	Densité de salmonidés dans un vivier en fonction de leur taille..... 114

ANNEXES

	<u>page</u>
1	Normes générales concernant la création de lacs et d'étangs artificiels..... 131
2	Limites de la qualité de l'eau de surface pour la vie aquatique..... 134
3	Description technique de bassins piscicoles..... 136
4	Nomenclature utilisée en pisciculture aux différents stades de production..... 138

Introduction

L'aquiculture canadienne n'en est encore à l'heure actuelle qu'à un stade embryonnaire de développement. Ses antécédents ne remontent qu'à un peu plus de 100 ans et sa contribution à l'alimentation de la collectivité fut jusqu'à ce jour pratiquement toujours marginale. L'information décrivant cette activité et ses perspectives d'avenir se fait à la fois rare, éparse et difficile à obtenir.

Au Québec, de façon tout particulière, une recherche intégrée visant à mettre en valeur la faune et la flore aquatique à des fins de consommation sur grande échelle, est tout à fait récente pour ne pas dire encore inexistante. La pisciculture québécoise, quoiqu'ayant à son crédit le fait d'avoir été la première activité dans le domaine au pays, n'est demeurée jusqu'au début des années 60 que le privilège de certains ministères gouvernementaux. L'objectif poursuivi en opérant ces installations piscicoles gouvernementales ne se résumait alors et encore aujourd'hui, qu'à la production d'alevins à des fins de réensemencement et de repeuplement de lacs et de cours d'eau (voir le chapitre 2). Cependant, depuis une vingtaine d'années l'élevage de poissons en étang par des particuliers a pris beaucoup d'ampleur et d'importance dans la province. La vogue de la pêche en étang ou du "put and take" se développa alors au grand profit d'une certaine catégorie de pisciculteurs et de consommateurs.

Présentement, un autre mode d'élevage visant cette fois-ci à alimenter le marché de la truite de table, marché actuellement comblé à plus de 40% par de l'importation, retient particulièrement l'intérêt des pisciculteurs québécois. On se réfère, pour ce type d'entreprise, à des appellations techniques telles que: pisciculture intensive, "fish farming", piscifaculture, "raceway", vivier, circulation d'eau en circuit fermé, ainsi qu'à de nombreuses autres désignations qui caractérisent si bien la venue de cette nouvelle industrie.

L'objectif premier de ce mémoire est de rassembler et de fournir des éléments pertinents à la connaissance et au développement d'une pisciculture en eau douce pour l'alimentation au Québec.

La première partie du travail présente la terminologie piscicole ainsi que les objectifs et l'importance de l'aquiculture à travers le monde. Une seconde section retrace brièvement l'historique du développement et des orientations de la pisciculture québécoise; l'on y retrouve aussi une description des rôles et objectifs des différents intervenants et responsables du développement piscicole québécois. Le troisième chapitre rassemble quelques connaissances d'ordre biologiques ayant trait aux deux principales espèces d'élevage du Québec, soit: l'omble de fontaine (Salvelinus fontinalis Mitchill) et la truite arc-en-ciel (Salmo gairdneri Richardson). Nomenclature, distribution géographique, morphologie, bio-énergie, alimentation et santé sont les sujets de cette section du mémoire. Une importance toute particulière est aussi accordée à certains problèmes émanant de la qualité

physico-chimique de l'eau. Le dernier chapitre se consacre pour sa part à des aspects d'ordre zootechnique: les installations physiques, les prévisions de croissance, l'utilisation de l'énergie solaire, etc. retiennent à ce point-ci l'attention. Les aspects d'ordre économique et de mise en marché font aussi l'objet d'une brève analyse. En dernier lieu, on retrouvera une présentation de propositions et de recommandations sur les avenues de la recherche et d'une mise en valeur rationnelle du potentiel piscicole québécois.

CHAPITRE 1

L'AQUICULTURE À TRAVERS LE MONDE

Chapitre 1

L'aquiculture à travers le monde

1.1 Concepts et définitions

L'aquiculture (ou aquaculture selon la terminologie anglo-saxonne) réunit l'ensemble des activités qui vise à aménager et à contrôler le milieu aqueux en vue d'une production animale ou végétale utile à l'homme (Billard, 1979). En fait, l'activité aquicole recouvre une maîtrise partielle ou totale de l'élevage d'une grande quantité d'organismes vivants. À ce sujet, Reay (1979) rapporte qu'il y aurait, en nombre d'espèces assujetties à l'aquiculture moderne, quelque 314 poissons, 74 crustacés, 69 mollusques, 43 algues, 13 angiospermes, 12 spongières, 9 amphibiens, 4 reptiles, 3 rotifères, 2 annélides, 2 mammifères et enfin 1 échinoderme. Cette liste excluerait les espèces d'aquarium ainsi que celles qui seraient exclusives à l'élevage en laboratoire.

La culture de ces différents organismes se voit souvent attribuer des appellations bien spécifiques. Ainsi, l'élevage de poissons devient pisciculture avec, selon les espèces considérées, des désignations telles que: salmoniculture (Salmonidae), cypriniculture (Cyprinidae), voire même truiticulture (truite).

Universellement répandue, l'activité piscicole se diversifie en des systèmes souvent très différents selon les espèces cultivées, les objectifs poursuivis, ou les techniques et méthodes utilisées (Huet, 1970). La littérature spécialisée utilise régulièrement certains concepts ou appellations qu'il est opportun de bien connaître. L'élément température en particulier peut apporter une certaine distinction entre deux grands types de pisciculture. Huet signale à ce sujet que 20°C serait la température de démarcation entre ce qui est justifié d'être appelé pisciculture en eaux froides et pisciculture en eaux chaudes.

En terme piscicole, la notion de production signifie l'obtention d'un poids de poissons par unités de temps et de surface (Kg/ha-an ou Kg/m²-jour) (Arrignon, 1976). Cette définition peut elle aussi conduire à la désignation de différentes pratiques aquicoles. Les termes extensif, semi-intensif et intensif, s'associent à un élevage donné selon la densité de la production en cours ainsi que selon le niveau de modifications et de contrôles des conditions naturelles d'élevage. En eau froide, le qualificatif d'extensif peut généralement être associé à la pisciculture en étang, surtout si l'apport de nourriture est exclusivement endogène. La France, pays où la pisciculture relève d'une expérience bien supérieure à la nôtre, n'obtient en étang que des productions annuelles de carpes ne dépassant guère 500 Kg/ha-an. Toutefois, il y a des pays orientaux, tel la Chine, qui ont développé une technologie permettant des récoltes annuelles de quelques 10 tonnes de carpes par hectare, en étang (Lecompte, 1980). Concernant la production de truites arc-en-ciel, Ackefors et Rosen (1979) mentionnent que

les Taïwanais obtiennent des taux de production, en étang, de l'ordre de 100 à 200 kg/ha (élevage extensif) ou 150 000 à 300 000 kg/ha (élevage intensif). Les Américains pour leur part produiraient en silo, avec une récupération d'eau, la quantité impressionnante de 6 500 000 kg/ha de truites arc-en-ciel. Dans nos régions, la pisciculture intensive se développe particulièrement à partir de l'élevage dit en vivier (caniveaux ou raceway). C'est un peu la technologie de base du "fish farming" ou des piscifactoreries nord-américaines, techniques qui préconisent des méthodes d'élevage relevant d'une hybridation entre les sciences de la pêche et de l'agriculture. Somme toute, la pisciculture se propose avant tout de maîtriser le milieu aqueux, en vue de l'optimisation d'un élevage donné, de la même façon que l'agriculture se propose de maîtriser le milieu terrestre.

1.2 Historique et objectifs

Il y a 3000 ans, les Chinois élevaient déjà la carpe commune (Cyprinus carpio); ils écrivirent un traité de pisciculture en l'an 473 avant notre ère (Lecompte, 1980). En Europe, les Romains possédaient eux-aussi des étangs d'élevage datant presque de la même époque que ceux retrouvés en Chine (Ayles, 1977).

En ce qui a trait à l'aquiculture marine, celle-ci possède une histoire d'au moins 600 ans en France (moules) et de 300 ans au Japon (huîtres et algues) ainsi qu'à Taiwan (Chanos chanos) (Reay, 1979).

La naissance de l'aquiculture canadienne se fit pour sa part dans la province de Québec, où le saumon atlantique (Salmo salar) et l'omble de fontaine furent les deux premiers poissons indigènes à être l'objet d'une fertilisation artificielle et d'une utilisation commerciale (MacCrimmon, 1977; Hansen et al. 1980). Depuis lors, l'aquiculture canadienne s'est passablement diversifiée et son importance, comme nous le verrons subséquemment, s'est vue considérablement augmentée.

Comme l'agriculture, l'aquiculture a évolué à partir de la chasse et de la simple cueillette. Ces dernières méthodes, quoique subvenant encore à 90% dans l'approvisionnement d'organismes aquatiques (Reay, 1979), voient leur importance relative diminuée au profit du développement de méthodes culturales permettant d'obtenir un meilleur contrôle au niveau du cycle de production des organismes convoités.

Les techniques utilisées en pisciculture varient souvent selon les objectifs poursuivis. Ceux-ci peuvent être regroupés dans les six grandes catégories que voici:

- production de juvéniles pour le repeuplement des populations naturelles de lacs et de rivières;
- production de juvéniles pour le peuplement d'étangs de pêche;

- production de juvéniles en eau douce pour les faire croître dans l'océan (exemple: saumon);
- production d'appâts pour la pêche commerciale ou sportive;
- production d'oeufs, de juvéniles, ou d'adultes à des fins de consommation industrielles (vente en gros, vente à l'hôtellerie, vente au détail);
- production de poissons ornementaux ou de laboratoire.

1.3 Productivité et production

Quoique n'ayant jamais été jusqu'à ce jour l'objectif premier des piscicultures québécoises, l'élevage de poissons à travers le monde vise essentiellement à satisfaire les besoins alimentaires des populations. Des chiffres datant de 1975 indiquent que seulement 15% (10,2 mtm)* des prises totales d'organismes aquatiques (70 mtm) originaient des eaux douces. Cela représente environ 21% des prises d'organismes destinées à l'alimentation humaine (48,3 mtm) (Borgstrom 1978). L'Asie avec ses 6,83 mtm procure à elle seule près des trois quart des prises en eau douce. D'une façon générale, on estime à 40% et à 3% les pourcentages respectifs des organismes d'eau douce et d'eau salée qui proviennent d'activités aquicoles à travers le monde (Ackefors et Rosen 1979).

* mtm: million de tonnes métriques

L'activité des pêches commerciales en milieu marin fournit la majorité des apports d'organismes aquatiques destinés à l'alimentation. Or, selon Slinger et Cho (1978), plusieurs scientifiques plafonnent la production potentielle maximale du milieu océanique à quelques 100 mtm par année. Ces mêmes auteurs soulignent que l'aquiculture produisit quelque 6 mtm en 1976, année où la consommation mondiale des organismes aquatiques fut approximativement de 72 mtm. Enfin, ils mentionnent aussi que l'Asie produisait cette même année quelque 80% de la production piscicole, l'Europe 10%, l'Amérique du Nord 8%, et finalement l'Amérique du Sud et l'Afrique seulement 2%.

Si l'Asie met tant d'efforts dans ce type d'élevage, c'est qu'elle a sans doute compris depuis longtemps la grande rentabilité énergétique de la transformation de nutriments en chair de poissons. En comparant la croissance de ruminants, de porcs ou de volailles avec celle des poissons, l'on s'aperçoit rapidement que ces derniers s'avèrent les meilleurs convertisseurs énergétique de la production primaire (voir le tableau 1.1). Pieper et Pfeffer (1979) soulignent à cet effet que le porc et la volaille requièrent plus de trois unités de nourriture sèche par unité de poids gagné au cours d'une période de croissance intensive; alors que la truite arc-en-ciel, maintenue dans un environnement favorable, n'en requiert qu'entre 1,0 et 1,5.

Le tableau 1.2 récapitule la répartition des différentes productions aquicoles d'importance à travers le monde. Deux aspects importants

TABLEAU 1.1: Valeur comparative des protéines produites par unité d'énergie métabolisée pour différentes productions

Production	g protéine/Mcal ¹
Bovin	2
Porc (Hog)	6
Volaille	15
Lait (pâturage)	16
Lait (stabulation)	20
Poisson (truite)	30 - 40

(Tiré de: Smith, 1976; cité par Bardach, 1978)

1 Mcal = 1×10^6 calories, en terme d'énergie métabolisable.

TABLEAU 1.2: Statistiques mondiales d'aquiculture (tonne métrique/an).

Région		Eau douce	Eau de mer et eaux saumâtres						Total Général	
		poissons	Poissons	Huîtres	Moules	Crevettes	Divers	Algues		Total/mer
	Europe	420 230	9 800	129 100	264 300				403 200	823 430
	Asie ¹	2 621 500	634 300	342 500	37 000	8 100	145 000	1 107 500	2 274 900	4 896 400
	Pacifique	121 695	144 000	1 500	350	4 000	50		149 900	271 595
	Amériques	73 040	6 100	180 900	1 500	1 150			189 650	262 690
	Afrique	101 910	6 000	190	60				6 250	108 160
Total mondial		3 338 375	800 200	654 190	303 210	13 250	145 550	1 107 500	3 023 900	6 362 275
Pourcentage		<u>52,5%</u>	12,6%	10,3%	4,8%	0,2%	2,3%	17,4%	<u>47,5%</u>	-

(Adapté de Léonard, 1979)

¹ Le Pacifique comprend l'Indonésie, les Philippines, la Birmanie, l'Australie, la Nouvelle-Zélande et la Nouvelle-Guinée.

N.B. Ces statistiques datent de 1975. En 1979, Léonard rapporte que la production aquicole mondiale était estimée approximativement à sept ou huit mtm par année.

peuvent être mis en évidence de ces statistiques: en 1975, la production de poissons en aquiculture représentait quelque 65% de la production aquicole mondiale et, l'aquiculture en eau douce fournissait près de 53% du total des organismes cultivés. C'est d'ailleurs essentiellement au niveau de la pisciculture d'eau douce qu'il existe une certaine activité piscicole populaire au Québec.

Somme toute, les possibilités de développement de la pisciculture doivent être rapidement envisagées. Avec l'accroissement des besoins alimentaires et la conjoncture énergétique actuelle, l'on se doit de développer des méthodes de production alimentaire requérant moins d'énergie par unité nutritive obtenue. L'organisation des Nations-Unies pour l'Agriculture et l'alimentation (Food and Alimentation Organization, FAO) estime que l'aquiculture devra produire 25 mtm d'aliments en 1985 et 50 mtm en l'an 2000 (Léonard, 1979). Aussi, l'un des principaux défis des années présentes à l'égard de l'aquiculture réside dans l'amélioration de la connaissance des besoins inhérents aux espèces cultivées, ainsi que dans la recherche de la meilleure technologie pouvant favoriser l'atteinte des objectifs visés.

1.4 Opérationnalisation de l'industrie aquicole

La mise en fonction et le développement des activités piscicoles demande de tenir compte des différents éléments suivants:

- installation physique: étang, vivier, silo, etc.;

- contrôle des conditions environnementales: quantité et qualité (pH, O₂, NH₃, etc.) de l'eau;
- nutrition;
- connaissance physiologique et pathologique;
- sélection génétique;
- salubrité des rejets dans le milieu;
- qualité du produit;
- conditions du marché;
- rentabilité économique.

Ackefors et Rosen (1979) ont réalisé à ce sujet un schéma représentant l'ensemble des facteurs impliqués dans le développement aquicole (voir la figure 1.1). Les fondements biologiques, techniques et socio-économiques de l'aquiculture interagissent de façon complexe par l'entremise d'apports énergétiques et de multiples mécanismes de rétroactions. Le statut de l'aquiculture d'un pays est intimement relié à la situation économique de ses consommateurs ainsi qu'à ses programmes et à son niveau de production alimentaire. Par ailleurs, les impératifs actuels du marché piscicole nord-américain conduisent au développement d'une pisciculture à fort rendement. Or, le succès d'une station piscicole à élevage intensif implique des connaissances et des considérations indispensables au bon fonctionnement d'une telle entreprise. C'est sur l'élaboration de quelques uns de ces importants aspects que portera l'essentiel du contenu de ce mémoire.

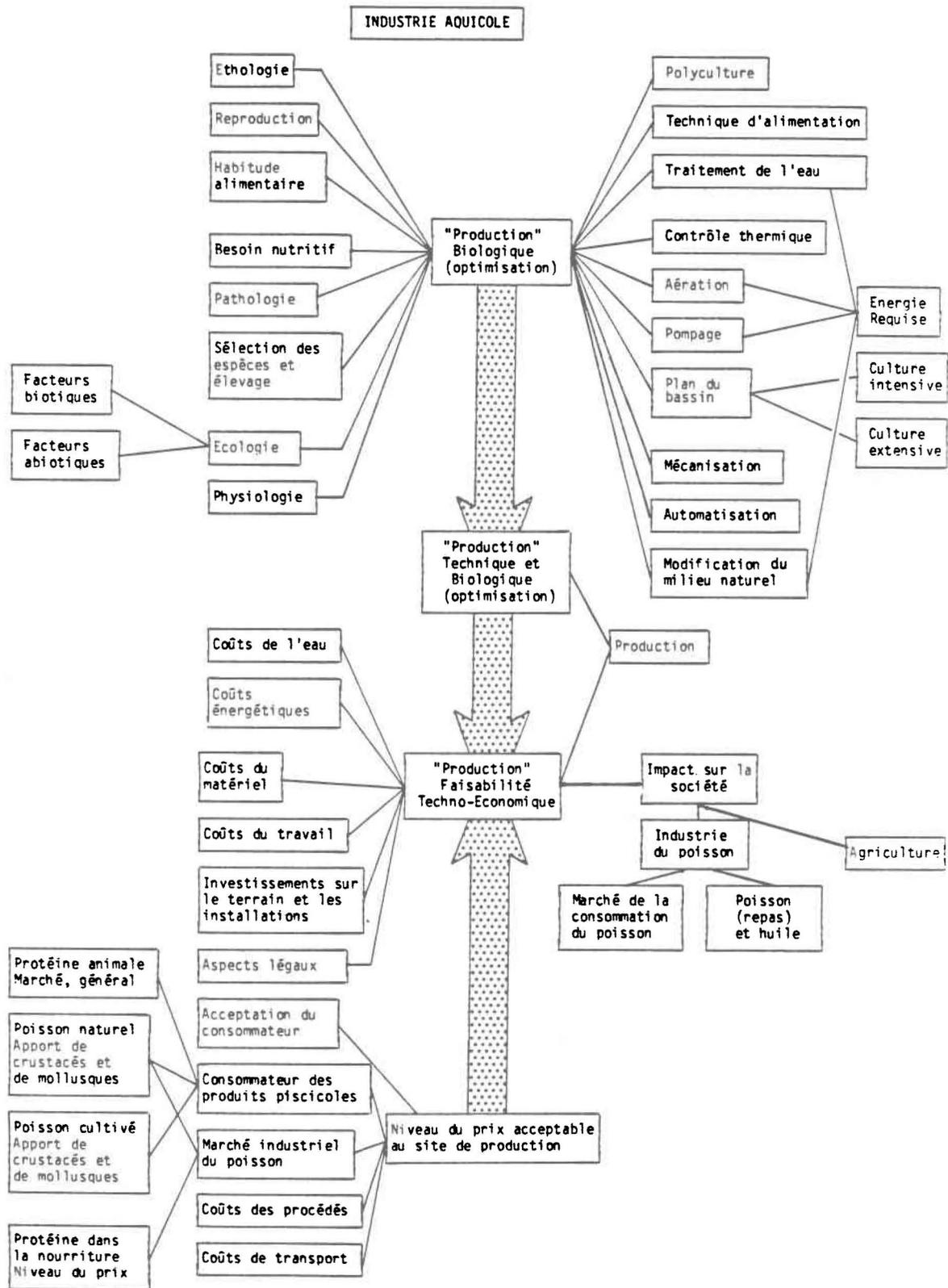


Figure 1.1: Importance des facteurs biologiques, techniques et économiques influençant le développement de l'aquiculture. (Adapté de Ackefors et Rosen, 1979).

CHAPITRE 2

LES INTERVENANTS DANS LA PISCICULTURE QUÉBÉCOISE

Chapitre 2

Les intervenants dans la pisciculture québécoise

2.1 Historique

L'année 1857 fut marquée, grâce à Richard Nettle, par la naissance de la première pisciculture canadienne. Ce fut effectivement dans la ville de Québec qu'il y eut pour la première fois au pays, fécondation artificielle ainsi qu'alevinage et empoissonnement de fretins d'omble de fontaine (Paulhus 1972, Legendre et al. 1980). Deux années plus tard, John Holliday créa sur la rivière Moisie, le premier établissement piscicole commercial de la province. Puis, jusqu'en 1915 ce fut le gouvernement fédéral, par l'entremise de sa division de pisciculture, qui mit sur pied et exploita neuf stations piscicoles au Québec. Dans les années qui suivirent, la responsabilité des activités piscicoles fut transférée aux autorités provinciales (Hansen et al., 1980).

Jusqu'à tout récemment l'objectif premier des installations piscicoles québécoise fut de produire des alevins et de jeunes poissons à des fins de repeuplement. Or, depuis 1969, les producteurs québécois se sont vus offrir une nouvelle ouverture de marché la production de truite-arc-en-ciel pour l'alimentation et pour la pêche en étang à l'année longue (Paulhus, 1972).

Cette nouvelle politique entraîna la construction de nombreuses installations ainsi qu'une diversification des techniques et des modes d'élevage. La "pisciculture d'alimentation" pris dès lors une importance considérable. Au mois de mai 1981, on retrouvait au Québec quelque 258 détenteurs privés de permis d'élevage qui possédaient en l'occurrence un droit de commercialisation de leur produit. De ce nombre, 60 installations servaient uniquement d'étangs de pêche, 24 stations se destinaient à de l'ensemencement et 174 autres pouvaient remplir ces deux objectifs (MLCP, 1981).

Mentionnons qu'à l'heure actuelle, l'omble de fontaine et la truite arc-en-ciel représentent les deux principales espèces cultivées. Depuis 1857 jusqu'à nos jours, il y eut quelque 24 autres espèces impliquées dans des activités d'élevage dont huit d'entre elles le sont encore aujourd'hui (voir le tableau 2.1).

2.2 Les intervenants

En terme d'intervenants, il existe actuellement plusieurs organismes qui se préoccupent de l'évolution de la pisciculture au Québec (voir le tableau 2.2).

2.2.1 Ministère des Pêches et des Océans (MPO)

Organisme fédéral créé en 1979, ce ministère s'occupe principalement des pêches maritimes ainsi que de la mise en valeur de l'aquiculture

TABLEAU 2.1: Espèces de poissons cultivés au Québec de 1857 à 1980

Nom commun	Nom scientifique	Période d'élevage	Remarque
Saumon de l'Atlantique*	<u>Salmo salar</u>	1858 jusqu'à aujourd'hui	Richard Nettle fut l'initiateur
Ouananiche*	<u>Salmo salar</u>	1930 jusqu'à aujourd'hui	
Ombles de fontaine* (truite mouchetée)	<u>Salvelinus fontinalis</u>	1857 jusqu'à aujourd'hui	Richard Nettle fut l'initiateur
Ombles chevaliers* (truite rouge du Québec)	<u>Salvelinus alpinus</u>	1968 ¹	
Touladi* (truite grise)	<u>Salvelinus namaycush</u>	1881 ² jusqu'à aujourd'hui	Originaire des Grands Lacs
Dolly Varden	<u>Salvelinus malma</u>		Jamaisensemencé
Truite moulac ³	<u>S. fontinalis</u> (M) x <u>S. namaycush</u> (F)	1945 jusqu'à aujourd'hui ¹	
Truite arc-en-ciel ⁴	<u>Salmo gairdneri</u>	1903 jusqu'à aujourd'hui	
Truite brune ⁴	<u>Salmo trutta</u>	1890 ² jusqu'à aujourd'hui	
Truite fardée ⁵	<u>Salmo clarki</u>	1940 ² - 1970 ²	
Saumon chinook ⁵	<u>Oncorhynchus tshawytscha</u>	1876 - 1878	
Saumon nerka, kokani	<u>Oncorhynchus nerka</u>	1890 et 1968	
Saumon rose	<u>Oncorhynchus gorbusha</u>	1968	Originaire des provinces voisines
Saumon coho ⁵	<u>Oncorhynchus kisutch</u>	Les années 70	Originaire des provinces voisines
Saumon du Danube	<u>Hucho hucho</u>	1967 - 1970 ¹	
Ombles arctiques	<u>Thymallus arcticus</u>	1968	
Grand corégone ³	<u>Coregonus clupeaformis</u>	1876 - 1968	Originaire des Grands Lacs
Cisco	<u>Coregonus artedii</u>	1968	
Eperlan d'Amérique	<u>Osmerus mordax</u>	1935 ¹	
Maskinongé	<u>Esox masquinongy</u>	1932 jusqu'à aujourd'hui	
Perchaude ³	<u>Perca flavescens</u>	1937 - ?	
Doré jaune ³	<u>Stizostedion vitreum</u>	1965 - ?	
Achigan à petite bouche ³	<u>Micropterus dolomieu</u>	1924 - ?	Fretin capturé
Achigan à grande bouche ³	<u>Micropterus salmoides</u>	1965 - ?	
Carpe	<u>Cyprinus carpio</u>	1950	Utilisé comme nourriture pour le maskinongé
Poisson doré	<u>Carassius auratus</u>	?	

- ¹ - date incertaine
- ² - date approximative
- ³ - culture occasionnelle
- ⁴ - introduit avec succès
- ⁵ - introduit sans succès
- * - espèce indigène au Québec

(Adapté de Hansen et al. 1980).

TABLEAU 2.2: Organismes impliqués dans la production de truites de table au Québec en 1981

Fonctions	Organismes						
	M A P A Q ¹	M L C P ²	M E Q ³	M P O ⁴	S P Q ⁵	C Q P ⁶	F C P U Q ⁷
Règlementation*		X	X	X			
Subvention aux producteurs	X						
Recherche intégrée							
Promotion	X				X	X	X
Mise en marché	X				X	X	X

1 - Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec

2 - Ministère du Loisirs, de la Chasse et de la Pêche

3 - Ministère de l'Environnement du Québec

4 - Ministère des Pêches et Océans

5 - Syndicat des pisciculteurs du Québec

6 - Coopérative québécoise des pisciculteurs

7 - Fédération Coopérative des Pêcheurs Unis du Québec

* - - Règlement de pêche du Québec (MLCP)

- Règlement sur la protection de la santé des poissons (MPO)

- Loi de la qualité de l'environnement (MEQ)

canadienne. Les travaux de Pêches et Océans en aquiculture se sont principalement effectués dans des provinces autres que le Québec. À titre d'exemple, mentionnons les recherches concernant le saumon atlantique à St. Andrews au Nouveau-Brunswick et celles touchant aux saumons du pacifique à Nanaïmo en Colombie-Britannique. Pêches et Océans a de plus réalisé de nombreux travaux ayant trait à l'élevage de truites dans les lacs des prairies (Ayles, 1973; Lawler et al., 1974), à l'utilisation de l'énergie solaire en pisciculture (Ayles et al., 1980) ou encore à l'évaluation de la faisabilité de l'élevage en cage de truites arc-en-ciel en eau saumâtre (Jamieson, 1980).

Au Québec, la contribution de ce ministère s'est surtout faite sentir par l'établissement d'un règlement concernant la protection de la santé des poissons (MPEC, 1977). À l'heure actuelle, l'application de ce règlement fait encore l'objet de vives discussions et c'est au ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche ainsi qu'au ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation d'en assumer la responsabilité (Turgeon et al., 1980; P. Samson, 1981, communication personnelle).

2.2.2 Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche du Québec (MLCP)

Ce ministère, autrefois désigné sous les appellations du ministère de la Chasse et des Pêcheries puis du ministère du Tourisme de la Chasse et de la Pêche (MTCP), s'occupe depuis 1914 d'ensemencements de poissons dans

les cours d'eaux et les lacs de la province (Hansen et al., 1980). Sa fonction fondamentale est d'assurer une saine gestion des activités piscicoles qui produisent un impact sur la faune du milieu naturel. De plus, il a la responsabilité de surveiller et de gérer tout ce qui se rattache à la chasse et à la pêche à l'exception des pêches maritimes. Ainsi, la juridiction du MLCP se résume: à l'émission des permis d'exploitation, à la détermination des espèces de poissons pouvant être élevées, à l'importation et l'exportation d'oeufs et de poissons morts ou vivants ainsi qu'au contrôle des maladies. De plus, ce ministère gère actuellement six établissements piscicoles (voir la figure 2.1) et il doit aussi être en mesure de fournir de la documentation pertinente au domaine piscicole (MTCP, 1978).

Au cours des dernières années, le MLCP a adopté certains règlements et mesures qui ont façonné et orienté le développement de la pisciculture québécoise. Par exemple, cela fut le cas, en 1976, suite à l'instauration d'une politique de zonage qui visait à limiter l'introduction de salmonidés exotiques ainsi que l'élevage d'autres espèces à certaines régions. Ce règlement, visant à sauvegarder la quantité et la qualité des espèces indigènes, conduisit à la création de trois territoires zonés (voir la figure 2.2) pour lesquels furent déterminées les espèces permises à des fins d'élevage. Le zonage fut établi en considérant l'aire de distribution des espèces indigènes et celles des espèces exotiques déjà introduites, les piscicultures déjà mises en place ainsi que les caractéristiques physiographiques des bassins versants. Samson et al. (1976) justifient cette mesure par les raisons suivantes: i) la truite brune (Salmo trutta) met en péril la

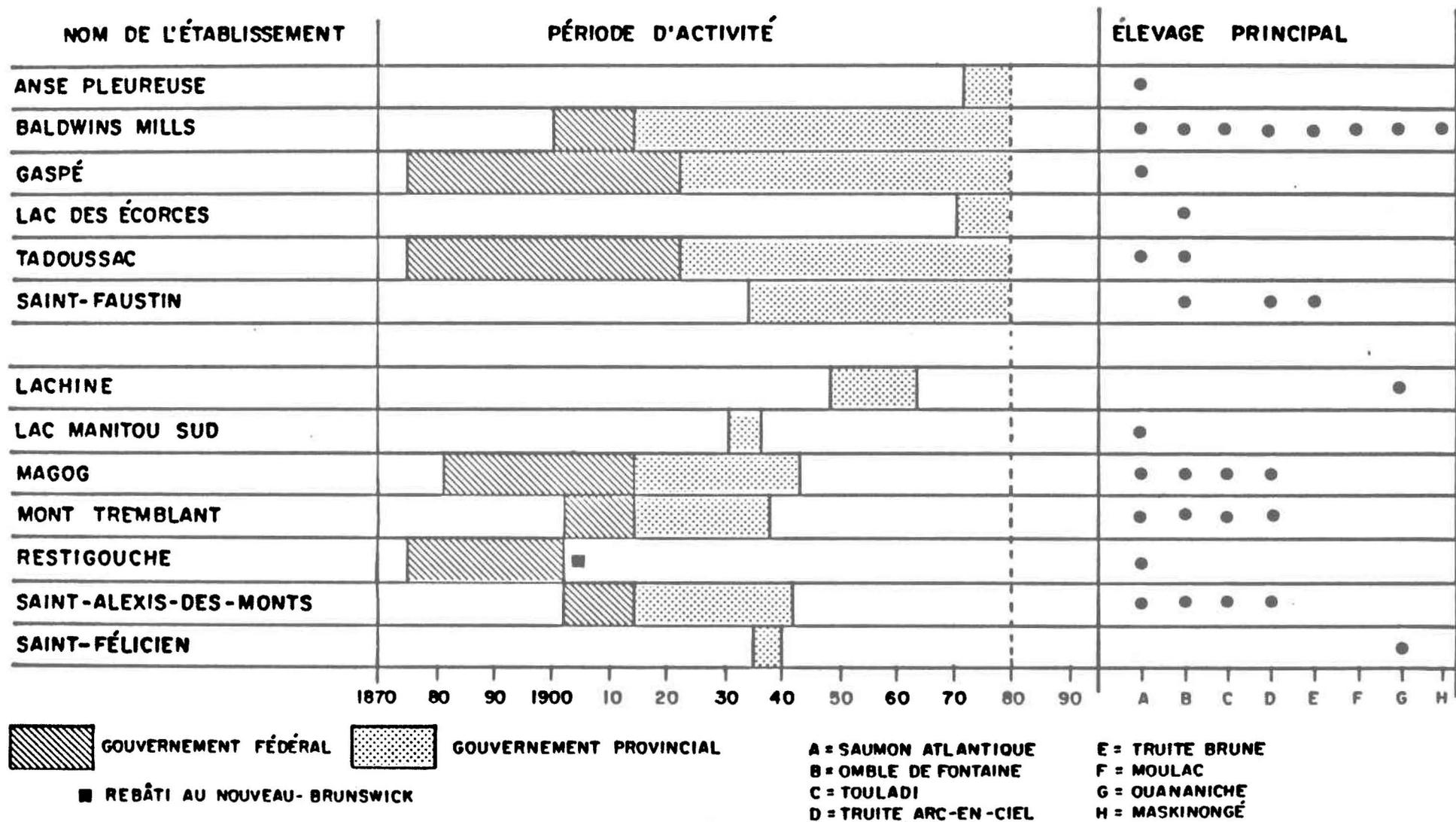


Figure 2.1. Établissements piscicoles gouvernementaux au Québec, de 1875 à 1980 (adapté de Hansen et al., 1980).

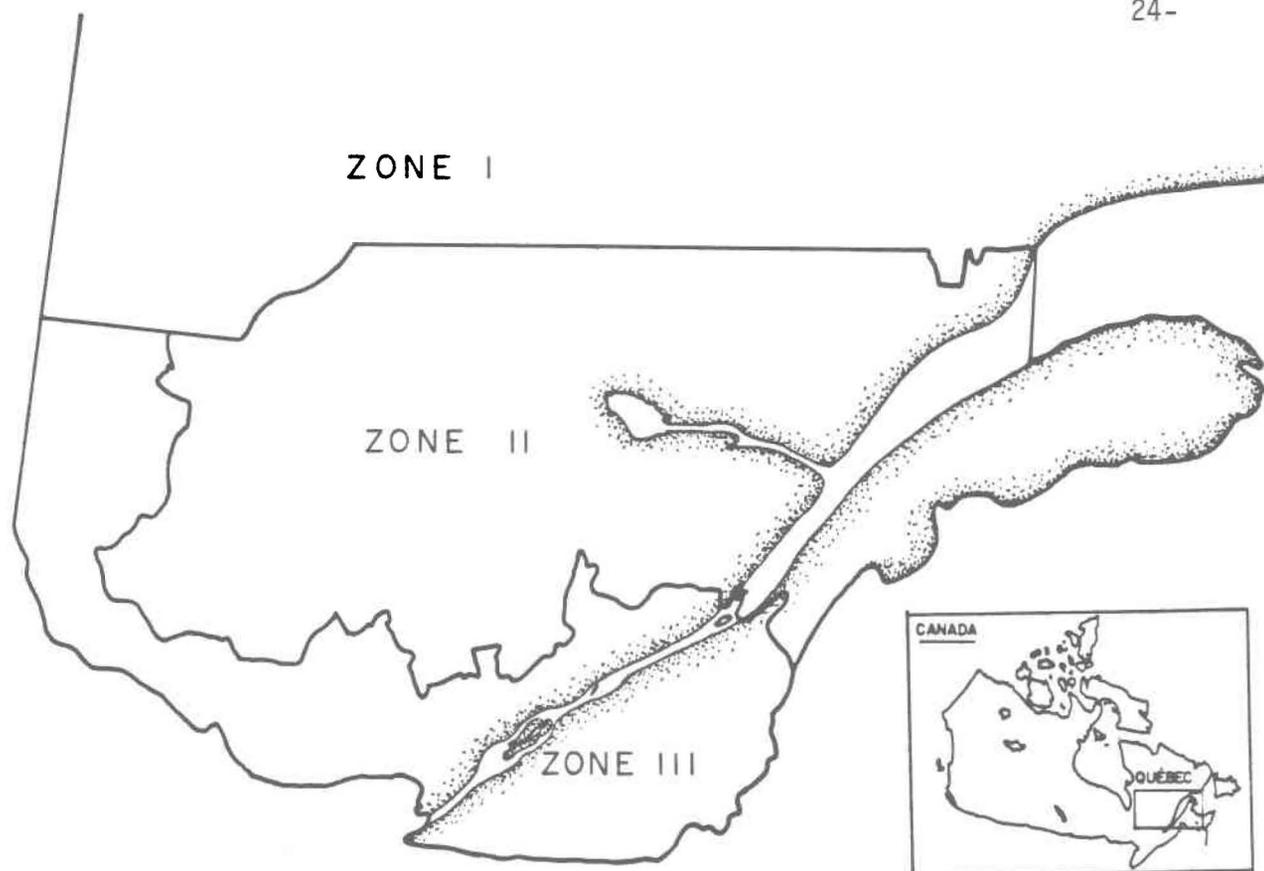


Figure 2.2 . Zones de pisciculture .

Zone 1 : Aucun élevage, ni transport, ni ensemencement provenant d'un établissement piscicole ou d'ailleurs n'est permis sans autorisation spéciale du M L C P.

Zone 2 : Seul l'élevage, la garde en captivité, le transport, le transfert et l'ensemencement des salmonidés indigènes suivants sont permis : l'omble de fontaine, la touladi, l'omble chevalier, la ouananiche et le saumon de l'atlantique. L'élevage des autres poissons indigènes peut se faire s'il est permis par les règlements de pêche du Québec .

Zone 3 : Les mêmes activités qu'en zone 2 sont permises, et celle ci peuvent être appliquées à toutes les espèces indigènes ou exotiques dans le règlement de pêche du Québec

(Adapté de Samson et al., 1976 ; Montplaisir, 1979 ; Hansen et al., 1980 .)

survie du saumon atlantique; ii) la truite arc-en-ciel est un prédateur féroce d'oeufs de saumon en plus d'être un grand compétiteur de la truite mouchetée; iii) il y a des dangers d'introduction d'agents pathogènes dans les populations naturelles et enfin iv) la protection des souches indigènes de poissons qui sont en mesure d'engendrer des hybrides très prometteurs pour l'aménagement piscicole du continent. Les principales oppositions à ce zonage vinrent évidemment des éleveurs de truites arc-en-ciel qui étaient déjà établis (en zone 2) avant la mise en force de cette politique ainsi que de tous ceux qui désiraient y produire de la truite de table (Boulangier et al., 1977).

Par ailleurs, l'opération "gestion faune", du MTCP en 1978, qui conduisit à la disparition des clubs privés de chasse et pêche, entraîna, selon les producteurs, une diminution importante de la clientèle des pisciculteurs privés (Hansen et al., 1980; Lamoureux, 1980).

Mentionnons enfin que depuis 1978, le ministère de l'Agriculture (aujourd'hui MAPAQ) et celui du Tourisme de la Chasse et de la Pêche (aujourd'hui MLCP) en sont venus à l'établissement d'un protocole d'entente concernant leur rôle réciproque à l'égard du développement piscicole de la province (Anonyme, 1978).

2.2.3 Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ)

La participation de ce ministère, quoique relativement récente, s'est avérée extrêmement importante dans le processus de développement de la pisciculture au Québec. C'est en 1975 que le ministère de l'Agriculture fit, par l'officialisation de mesure d'assistance, son entrée dans le dossier de la production de truites de consommation. Comme Samson (1977) l'a mentionné:

"Le but de l'aide proposée par le ministère de l'Agriculture n'est pas de produire du poisson pour repeupler les lacs publics et privés, action plutôt touristique, mais bien de produire un poisson pour la consommation, poisson de la qualité que les consommateurs québécois et canadiens recherchent soit à l'état frais, soit à l'état congelé ou sous tout autre forme (fumée, en conserve)".

Ce ministère apportait donc théoriquement une aide technique et financière aux pisciculteurs intéressés à ce type de production. Il faut aussi souligner que depuis 1979, le poisson de culture est officiellement reconnu comme étant un produit de ferme. Les objectifs actuels du MAPAQ, au niveau de l'industrie piscicole, se résument ainsi (P. Samson, 1981, communication personnelle):

- susciter l'intérêt et assurer une aide technique;
- inciter des investissements;
- orienter le développement en fonction d'un besoin (combler le vide économique de l'industrie de la truite de consommation);
- favoriser la mise en oeuvre d'usines de transformation et assurer la commercialisation des produits obtenus;
- influencer l'économie régionale, soit par une création d'emplois ou encore par un apport touristique.

2.2.4 Syndicat des pisciculteurs du Québec (SPQ)

Créé en 1965 sous l'appellation de l'Association des pisciculteurs du Québec (APQ), ce regroupement de producteurs réunissait environ 80 membres en 1980. Ce syndicat, aujourd'hui affilié à l'Union des producteurs agricoles (UPA), travaille actuellement à des dossiers importants tels que (L.P. Fillion, 1980, communication personnelle):

- l'obtention du droit à la commercialisation de l'omble de fontaine;
- l'instauration d'un système sanitaire en vue de protéger les installations piscicoles et les cours d'eau contre des épizooties;
- la réévaluation du rôle des piscicultures gouvernementales;
- la modification du plan de zonage établi par le MLCP en 1978 (voir la figure 2.2);
- la politique d'achat de poissons de repeuplement par le MLCP.

Le syndicat demande de plus aux dirigeants du MLCP et du MAPAQ de former une équipe scientifique multidisciplinaire qui pourrait coordonner, effectuer et vulgariser des activités de recherche en matière de pisciculture (Loubier, 1979).

Tous ces dossiers ont fait ou font encore l'objet d'études ou de mémoires de la part du syndicat. À titre d'exemple, mentionnons le rapport du comité de zonage de l'APQ qui s'objectait à certains principes défendus par le MLCP, dont celui portant sur la définition des impacts négatifs provoqués par la truite arc-en-ciel à l'égard des salmonidés indigènes (Boulangier et al., 1977).

2.2.5 Coopérative québécoise des pisciculteurs (CO-OP)

La CO-OP vit le jour en 1975 par le regroupement d'une quinzaine de pisciculteurs. Elle fut tout d'abord créée dans le but de centraliser les besoins des producteurs au niveau des équipements spécialisés et de la moulée à truites. Regroupant en 1980 quelques 55 membres, elle constituerait, aux dires de ses promoteurs, une entité susceptible de développer non seulement la production mais aussi la commercialisation de truites de table au Québec (Coopérative Québécoise des Pisciculteurs, 1980).

Les coopérateurs déplorent actuellement l'isolement des producteurs ainsi que l'absence d'un mécanisme central de coordination et de concertation de ceux-ci, en vue de l'élaboration d'une stratégie commune de commer-

cialisation de la truite de table au Québec. Une régie coopérative de production, de transformation et de commercialisation pourrait conduire, selon les producteurs coopérants, à un développement rationnel et intégré de la pisciculture de truites de consommation (Coopérative Québécoise des Pisciculteurs, 1980).

2.2.6 Ministère de l'Environnement du Québec (MEQ)

Autrefois désigné comme les Services de Protection de l'Environnement (SPEQ), le MEQ vise à faire respecter l'environnement aux pisciculteurs québécois selon l'esprit de l'article 22 de la Loi de la qualité de l'environnement (Gouvernement du Québec, 1972) (voir l'annexe 1). L'article mentionne que:

"Nul ne peut ériger ou modifier une construction, entreprendre l'exploitation d'une industrie quelconque, l'exercice d'une activité ou l'utilisation d'un procédé industriel ni augmenter la production d'un bien ou d'un service s'il est susceptible d'en résulter une émission, un dépôt, un dégagement ou un rejet de contaminants dans l'environnement ou une modification de la qualité de l'environnement à moins d'obtenir du Directeur un certificat d'autorisation".

Le MEQ fait une distinction entre deux types de projet soient: celui qui exige un ouvrage de retenue des eaux ou celui qui crée un lac artificiel mais sans avoir recours à un ouvrage de retenue. Selon un récent

rapport de la Direction Générale de la Protection de l'Environnement et de la Nature (MEQ, 1980), le Service d'Analyse des Études d'Impact (SAEI) traite environ 125 dossiers de lacs artificiels par année. Le Service en Milieu Hydrique (SMH) contrôle la stabilité d'environ 9 000 barrages privés au Québec. Par ailleurs, le rapport souligne que les effectifs actuels et prévus sont insuffisants pour s'occuper efficacement de tous ces dossiers.

2.2.7 Fédération Coopérative des Pêcheurs Unis du Québec (FCPUQ)

Cet organisme est le premier producteur et distributeur de poissons et de fruits de mer au Québec. Ouvrant depuis 1939, les Pêcheurs Unis assurent présentement la distribution d'environ 10 à 12 tonnes métriques de truites sur le marché. Malgré cela, les producteurs doivent la plupart du temps trouver leurs propres débouchés puisque la production de truites de consommation du Québec se chiffrait à environ 300 tonnes métriques en 1980 (Doyle et al., 1977; Syndicat des Pisciculteurs du Québec, 1981). Cette fédération est le plus gros vendeur de poissons du Québec avec des ventes de 21 millions\$ pour les six premiers mois de 1981. Nonobstant ce fait, la situation des Pêcheurs Unis est précaire puisqu'ils ont accumulé un déficit de 500,000\$ en 1980 et prévoient des pertes plus élevées en 1981 (Berger, 1981).

2.3 Orientation du développement piscicole québécois

De 1978 à 1979 l'estimation de la production nette dans l'industrie piscicole québécoise indique une augmentation de l'ordre de 44% pour la

production de truite mouchetée et de 28% pour celle de la truite arc-en-ciel (MLCP, 1979; MLCP, 1980).

En l'espace de moins de 15 ans, le nombre de truites vendues par les producteurs du Québec a plus que décuplé (voir la figure 2.3) et la valeur des ventes en fit presque autant (voir la figure 2.4). De plus, une étude réalisée par le MAPAQ (Hansen et Lacasse, 1980) démontre que depuis 1969 la vente de truites destinées à la consommation humaine ne cesse d'augmenter (voir la figure 2.5), alors que la vente de truites à des clubs privés de chasse et de pêche serait quant à elle plutôt déclinante (voir les figures 2.4 et 2.6).

Il existe par ailleurs certaines prévisions optimistes concernant la production et les ventes futures d'oeufs de truites. Le MLCP, se retirant graduellement de ce marché, procurerait ainsi un nouveau souffle chez les producteurs privés d'oeufs d'incubation. Concernant la production d'alevins et de fretins à des fins d'ensemencement, les pisciculteurs québécois estiment que ce secteur d'activité se développera lui aussi, et ce surtout afin de venir palier aux dommages causés à l'environnement par les pluies acides. La même raison est aussi invoquée pour les perspectives de développement de la pêche en étang qui, au dire de certains, jouera de plus en plus un rôle suppléant à la pêche sportive (Syndicat des Pisciculteurs du Québec, 1981).

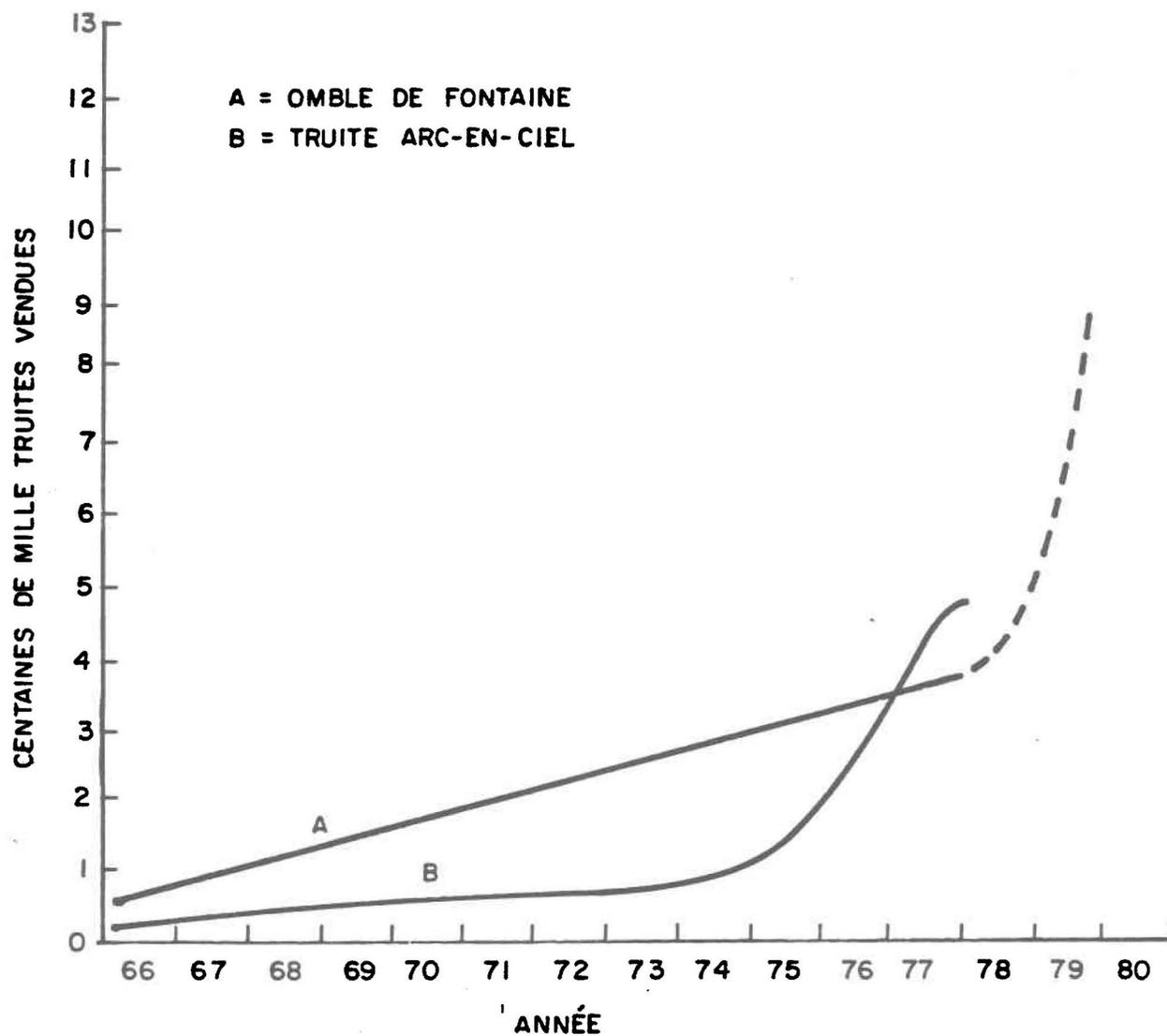
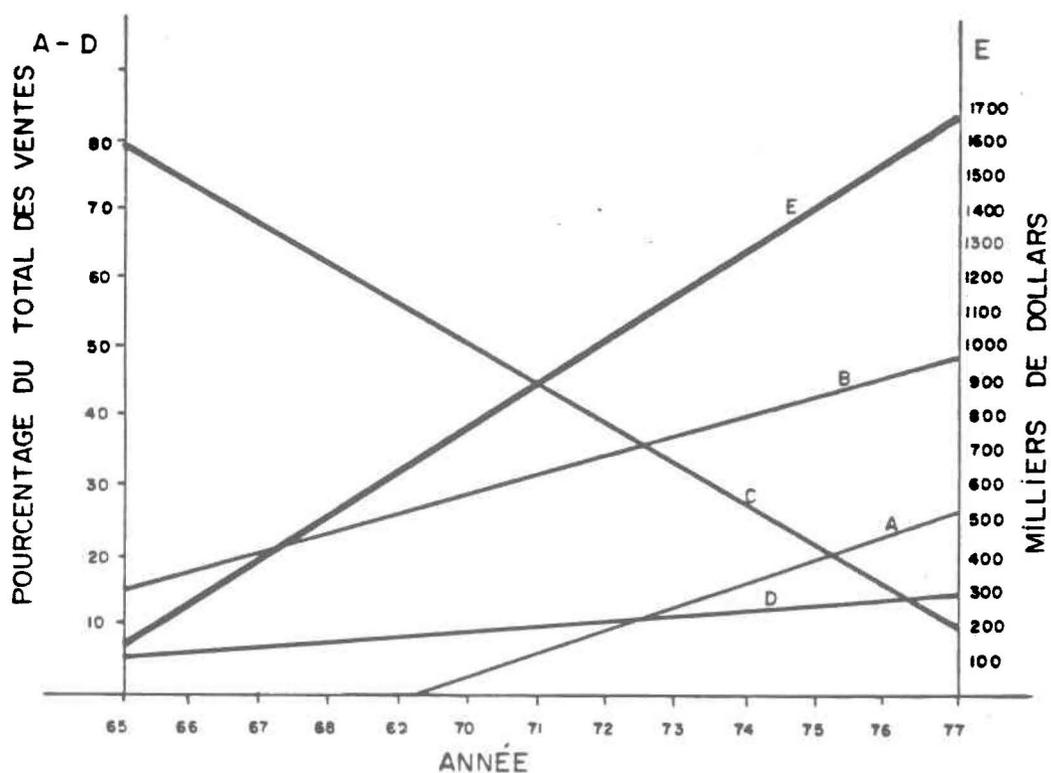


Figure 2.3 . Vente d'ombles de fontaine et de truites arc-en-ciel de un an ou plus au Québec .
(Tiré de Hansen et Locasse , 1980)



LES LIGNES A À D SIGNIFIENT LE POURCENTAGE DES VENTES ANNUELLES TOTALES QUE REPRÉSENTENT LES SECTEURS SUIVANTS :

A = VENTES AUX ÉTANGS DE PÊCHE ET AUX MAGASINS DE DÉTAIL.

B = VENTES AUX ÉTANGS PRIVÉS

C = VENTES AUX CLUBS PRIVÉS

D = VENTES AUX AUTRES ÉTABLISSEMENTS PISCICOLES

E = VALEUR TOTALE.

Figure 2.4. Schéma de la distribution des ventes annuelles et de la valeur totale. (Tiré de Hansen et al., 1980).

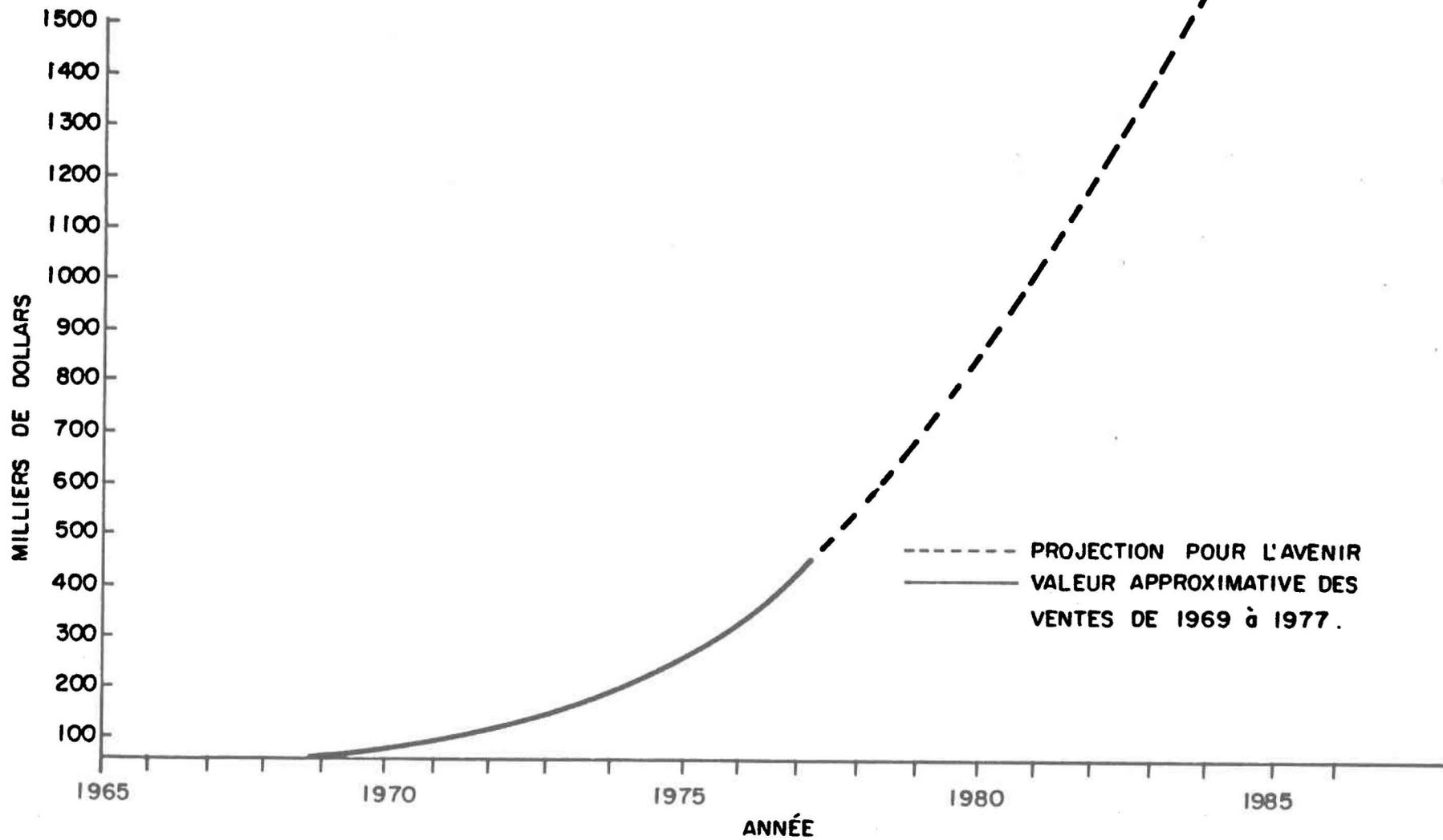


Figure 2.5 . Valeur approximative des ventes de truites en étangs de pêche et pour la consommation humaine (truite de table),
(Tiré de Hansen et Lacasse, 1980).

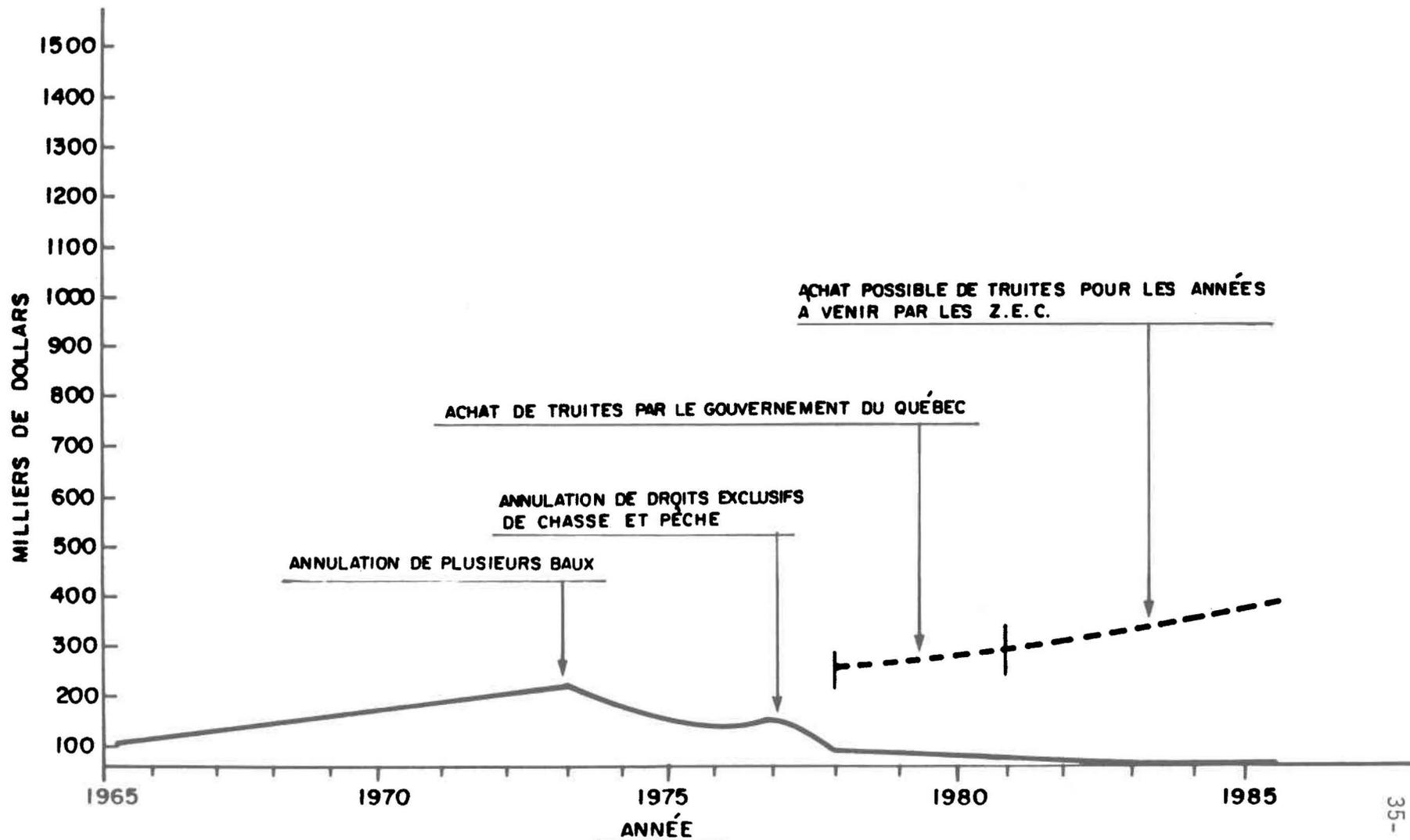


Figure 2.6. Valeur approximative des ventes de truites à des clubs privés de Chasse et de Pêche (Tiré de Hansen et Lacasse, 1980).

En somme, la pisciculture de consommation fait désormais l'objet d'un intérêt jusqu'alors inconnu. On peut dorénavant projeter une certaine expansion de cette activité aquicole. Tout cela pourrait procurer de multiples avantages à bon nombre de pisciculteurs et de consommateurs de la province. Un travail de recherche et de concertation de la part des intervenants est obligatoirement à la base de la réussite d'un développement rationnel et optimal de cette grande ressource alimentaire.

Rappelons que l'objectif premier de ce mémoire est de rassembler et de présenter des connaissances pertinentes au développement d'une pisciculture d'alimentation au Québec. Les chapitres qui suivront discuteront donc d'éléments jugés essentiels au développement et à la mise en valeur de stations piscicoles.

CHAPITRE 3

CARACTÉRISTIQUES BIOLOGIQUES DES SALMONIDÉS
(TRUITE ARC-EN-CIEL ET OMBLE DE FONTAINE)

Chapitre 3

Caractéristiques biologiques des salmonidés

(truite arc-en-ciel et omble de fontaine)

3.1 Les objectifs

Un des facteurs essentiels, pour une planification des techniques aquicoles, réside dans la connaissance du cycle biologique des espèces puisque ce dernier prédétermine une certaine organisation de la production, le choix des techniques ainsi que le niveau de la production et de la productivité envisageables (Morales et al., 1977).

Le présent chapitre se propose de rassembler différentes connaissances inhérentes à la salmoniculture. Ainsi, des éléments d'ordre biologique, i.e.: physiologie, alimentation, pathologie et exigences physico-chimiques du milieu d'élevage, seront l'objet de cette section du document. Une attention particulière sera nécessairement accordée à l'omble de fontaine et à la truite arc-en-ciel.

3.2 Nomenclature

Se situant à l'intérieur du règne animal dans la classe des vertébrés, les poissons seraient apparus il y a environ 500 millions d'années. Il existerait à l'heure actuelle quelque 22 000 espèces vivantes de pois-

sons dont 19 000 à 20 000 espèces de poissons osseux (téléostéens); ceux-ci se répartissent dans diverses familles telle que celle des Salmonidae (Hickman et al., 1974).

Les salmonidés se subdivisent en trois sous-familles: Salmoninae, Coregoninae, Thymallinae. Les Salmoninae regroupent les saumons, les truites et les ombles. Au Canada l'on retrouve à l'état naturel, chez le saumon les genres Oncorhynchus et Salmo, chez la truite le genre Salmo et chez l'omble le genre Salvelinus. Dans la littérature spécialisée l'omble de fontaine peut être désignée sous les noms de truite de mer (anadrome), truite mouchetée, brook trout, eastern brook trout, speckled trout, aurora trout, brookie, square-tail, speckled char, sea trout, common brook trout, mud trout, coaster, eastern speckled trout, native trout, mountain trout, breac et squaretailed trout. La truite arc-en-ciel peut se voir appelée truite Kamloops (lacs), truite steelhead (anadrome), rainbow trout, Kamloops trout, silver trout, steelhead trout, steelhead et coast rainbow trout (Scott et Crossman, 1978).

3.3 Distribution géographique

3.3.1 Truite arc-en-ciel

L'habitat naturel de la truite arc-en-ciel (toutes variétés comprises) était à l'origine l'océan Pacifique oriental et les eaux douces, surtout à l'ouest des Rocheuses, depuis le nord-ouest du Mexique jusqu'à la

rivière Kuskokwim en Alaska. Elle serait aussi indigène des bassins des rivières de la Paix et de l'Athabasca à l'est des Rocheuses (Scott et Crossman, 1978). Au Canada, cette truite serait indigène à la Colombie-Britannique et à l'Alberta. Elle fut par la suite introduite dans l'ensemble des autres provinces canadiennes dont le Québec en 1893-1894 (MacCrimmon, 1971). Depuis 1874, la distribution de la truite arc-en-ciel fut étendue à tout le continent Nord-Américain (voir la figure 3.1) ainsi qu'à l'Afrique, à l'Asie, à l'Australie, à l'Europe et à l'Amérique du Sud (voir la figure 3.2) (MacCrimmon, 1971; MacCrimmon, 1972).

Selon MacCrimmon (1972) la distribution quasi universelle de la truite arc-en-ciel peut être expliquée par la combinaison favorable de facteurs biologiques, sociaux et économiques. C'est un poisson qui s'adapte remarquablement bien à l'élevage artificiel, et il est de plus reconnu comme étant un poisson de sport et d'alimentation remarquable.

3.3.2 Ombles de fontaine

L'omble de fontaine ou truite mouchetée est une espèce endémique de l'est de l'Amérique du Nord. Ses limites naturelles canadiennes sont Terre-Neuve à l'est et le Manitoba à l'ouest. On la rencontre également dans le sud jusqu'en Georgie et vers le nord jusqu'à la baie d'Hudson (voir la figure 3.3).

À cause de son attrait comme poisson de sport, l'omble de fontaine a été introduit un peu partout à travers le monde. Depuis 1872, sa réparti-



Figure 3.1. Distribution de *Salmo gairdneri* en Amérique du Nord
(tiré de MacCrimmon, 1971).



LA DISTRIBUTION ENDÉMIQUE EST INDIQUÉE PAR LES ZONES HACHURÉES
LA DISTRIBUTION NATURALISÉE PAR LES ZONES PLEINES .

Figure 3.2. Distribution mondiale de *Salmo gairdneri*.
(tiré de MacCrimmon, 1972).

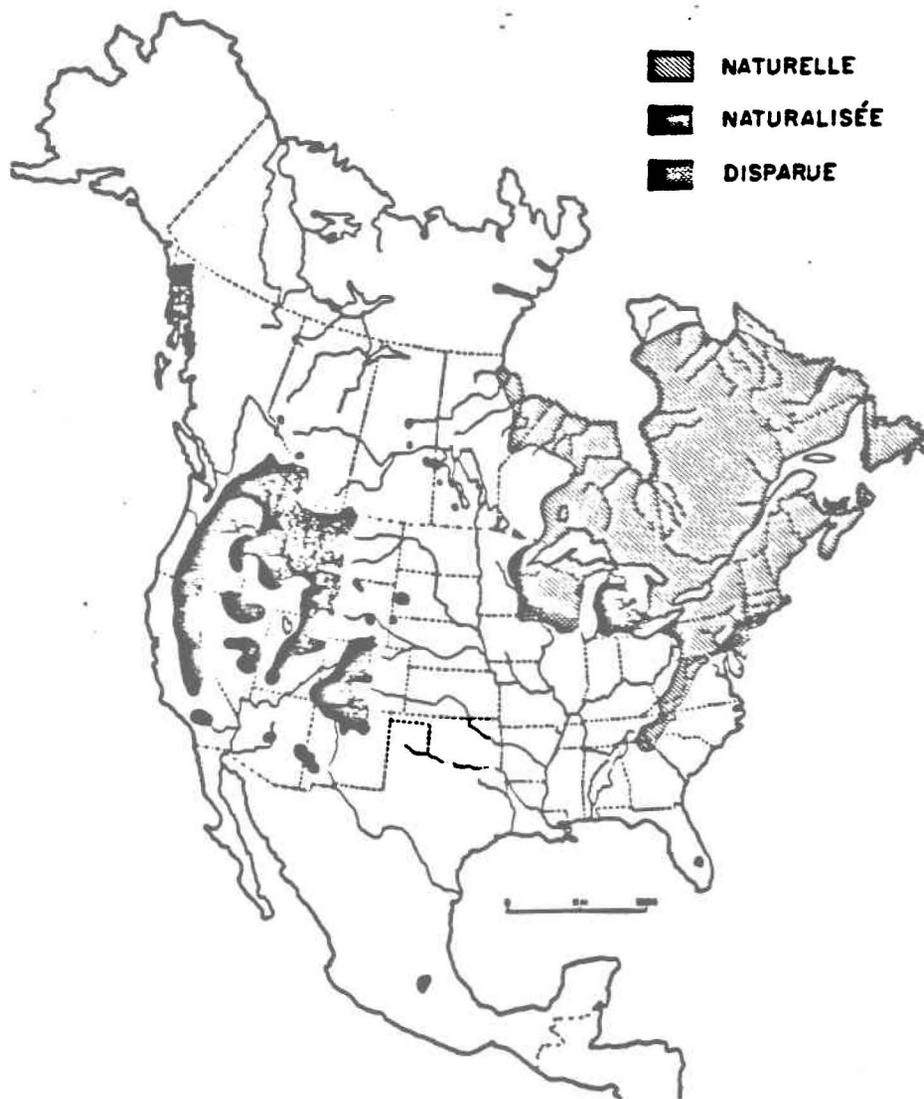


Figure 3.3. Distribution de *Salvelinus fontinalis* en Amérique du Nord (tiré de MacCrimmon et Scott, 1969).

tion s'est étendue à plusieurs régions de l'ouest de l'Amérique du Nord (voir la figure 3.3), de l'Amérique du Sud, de la Nouvelle Zélande, de l'Asie ainsi qu'à plusieurs régions de l'Europe (MacCrimmon et Scott, 1969; Scott et Crossman, 1978). Au Canada ce salmonidé fut introduit successivement en Colombie Britannique (1908), en Saskatchewan (1920) puis finalement en Alberta (1930) (MacCrimmon et Scott, 1969).

Au Québec l'omble de fontaine possède un statut historique extrêmement important. "L'omble de fontaine, nulle part ailleurs qu'au Québec aussi abondant et aussi répandu, devrait être adopté, comme poisson, à titre de symbole national du Québec -- comme on le fait d'une plante, d'un mammifère, d'un oiseau" (Legendre et al., 1980).

3.4 Caractéristiques externes

La longueur typique de la truite arc-en-ciel adulte, selon Scott et Crossman (1978), est de 305 à 457 mm. Sa coloration est variable selon son habitat, sa taille et son état sexuel. La steelhead (truite de mer), Salmo gairdneri, peut connaître une croissance extrêmement rapide en eau salée et peut atteindre un poids de 7 à 9 kg après trois années dans l'océan Pacifique. La truite d'eau douce possède une croissance plus lente quoiqu'elle puisse atteindre un poids de 4,5 kg ou plus dans des conditions favorables (Sedgwick, 1973). Possédant une longueur moyenne de 254 à 305 mm, l'omble de fontaine possède pour sa part une coloration vive très caractéristique (voir la figure 3.4 et Scott et Crossman, 1978).

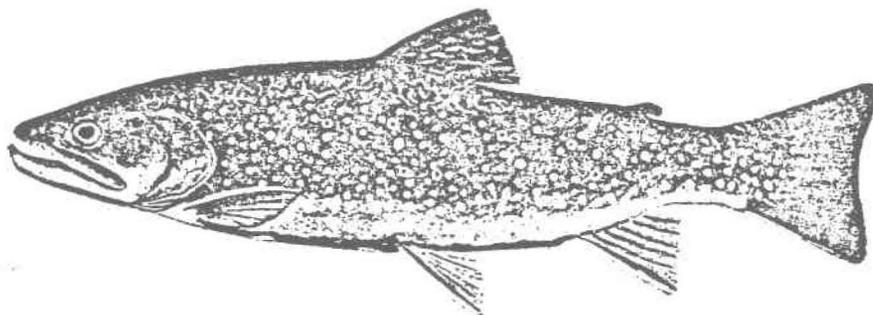
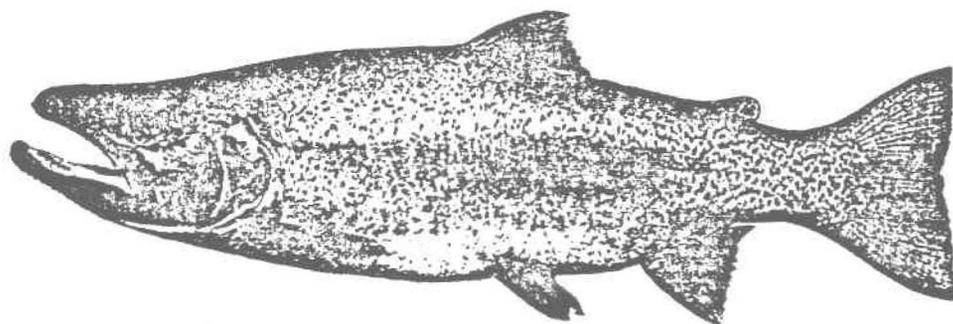
OMBLE DE FONTAINE*Salvelinus fontinalis* (Mitchill)*Salmo gairdneri* Richardson

Figure 3.4. Corps typique de *Salvelinus fontinalis* et de *Salmo gairdneri* (tiré de Scott et Crossman, 1978).

Il existe une relation entre la longueur et le poids d'un poisson (Piper et al, 1975; Hansen et Lacasse, 1980); Ricker 1980):

$$P = ab^b \text{ ou } \text{Log } P = \log a + b (\log L) \quad (3.1)$$

où

P = poids (gramme)

L = longueur (centimètre)

a et b = constantes

La valeur de b s'obtient habituellement en portant le logarithme du poids contre le logarithme de la longueur pour un grand nombre de poissons de taille variée, la pente de la droite représentant l'estimation de b. La valeur de b est généralement près de 3. Pour comparer le poids et la longueur, on a recours aux coefficients de conditions. Le plus commun est le coefficient de condition de Fulton égal à P/L^3 . C'est le paramètre a dans l'équation 3.1, lorsque b est égal à 3. Plus un poisson est lourd pour une longueur donnée, plus grand sera le coefficient de condition. L'estimation de la relation poids-longueur s'effectue, selon les espèces, par les équations:

$$P = 0,0112 L^3 \text{ (omble de fontaine et truite arc-en-ciel)} \quad (3.2)$$

$$P = 0,0127 L^3 \text{ (grosse truite arc-en-ciel)} \quad (3.3)$$

$$P = 0,0075 L^3 \text{ (truite grise)} \quad (3.4)$$

Le tableau 3.1 révèle quelques valeurs de poids d'ombles de fontaine et de truites arc-en-ciel en fonction de leur longueur. La figure 3.5 présente le schéma typique de l'anatomie d'un salmonidé.

3.5 Bio-énergétique et croissance

Le pisciculteur, comme tout autre éleveur, est intéressé à optimiser son travail par le biais de l'obtention d'une croissance et d'un taux de survie maximum des poissons et ce, pour les meilleurs coûts d'opération possible. Pour ce faire, il est utile de connaître les définitions et principes qui suivent. La production, pouvant se définir comme étant la quantité totale de nouveaux tissus développés dans une période de temps donnée (Chapman, 1978), est le résultat d'interactions multiples entre différents facteurs physiques et biotiques. La croissance, étant typiquement mesurée par l'augmentation du poids brut corporel, peut être présentée comme étant la somme du poids des parties comestibles, du poids en protéines, du poids sec ou encore du nombre d'unités énergétiques. Ajoutons qu'il y a deux aspects distincts et importants à considérer dans les phénomènes de croissance, soient: le taux de croissance et l'efficacité de conversion alimentaire (Reay, 1979).

Plusieurs auteurs, dont Elliott (1979) et Reay (1979), ont décrit les composantes du budget énergétique par l'équation simple qui suit:

TABLEAU 3.1: Relation entre la longueur et le poids de l'omble de fontaine et de la truite arc-en-ciel

Longueur (centimètre)	Poids (gramme)	Nombre approximatif par kilogramme
2,0	0,0896	11161
4,0	0,7168	1395
6,0	2,4192	413
8,0	5,7344	174
10,0	11,2000	87
12,0	19,3536	52
16,0	45,8752	22
20,0	89,6000	11
24,0	154,8288	6
30,0	302,4000	3

(Adapté de Hansen et Lacasse, 1980).

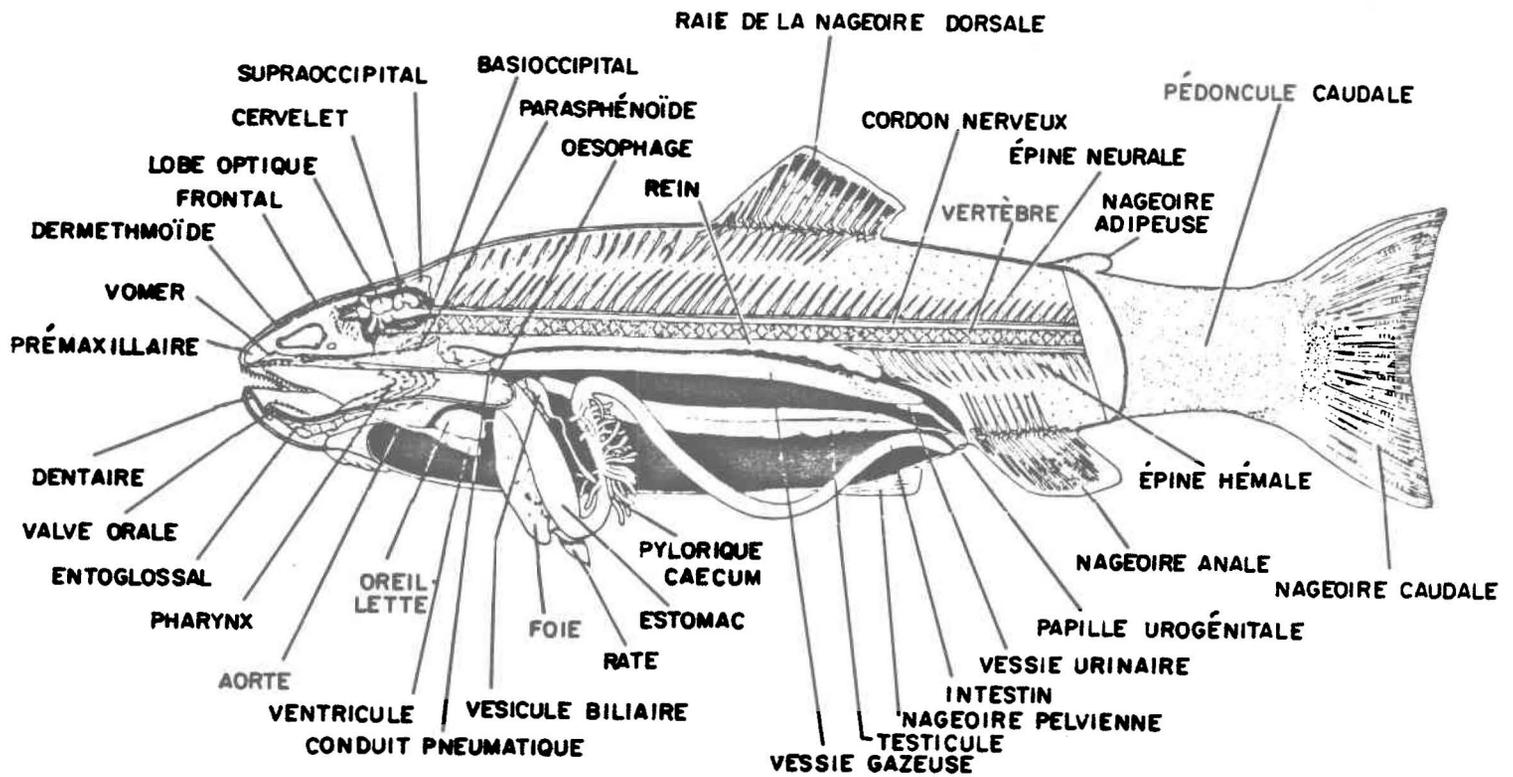


Figure 3.5. Schéma de l'anatomie d'un salmonidé (tiré de Leitritz et Lewis, 1976).

$$C = F + R + U + P + G \quad (3.5)$$

- où
- C = apport d'énergie par l'alimentation
 - F = énergie éliminée dans les fèces
 - R = énergie totale du métabolisme
 - U = énergie perdue dans les produits d'excrétions
 - P = énergie contenue dans le matériel somatique
 - G = énergie contenue dans les gonades

La croissance des gonades peut-être considérée séparément de celle des autres tissus, particulièrement à cause de leur très grande valeur calorifique par gramme de tissus et aussi parce que les tissus reproducteurs forment un capital essentiel pour la progéniture plutôt que pour l'individu lui-même (Chapman, 1978).

L'énergie des activités métaboliques (R) peut être subdivisée en trois composantes (Elliott, 1979): (i) R_s exprimant l'énergie requise pour le poisson au repos, i.e. le métabolisme standard, (ii) R_a désignant l'énergie requise pour nager ou pour tout autre activité, i.e. le métabolisme actif, et (iii) R_d représentant l'énergie requise par les processus de digestion, de mouvement et de déposition du matériel alimentaire, i.e. l'énergie nécessaire pour certaines actions spécifiques.

Dans la pisciculture d'alimentation, l'élément important à favoriser demeure la croissance de muscles comestibles (P); d'après l'équation (3.5), on retrouve:

$$P = C - (F + R + U + G) \quad (3.6)$$

ou

$$P = C - K \quad (3.7)$$

Afin de maximiser la croissance somatique (P), le producteur doit optimiser la ration alimentaire (C) et minimiser l'énergie perdue dans les autres processus (K).

Une faible capacité de conversion peut être reliée à une mauvaise assimilation des aliments, à un taux du métabolisme élevé ou à l'utilisation de l'énergie pour les gonades ou différentes autres composantes. Reay (1979), reprenant les travaux d'Elliott (1976 b) portant sur l'optimisation de la croissance de la truite brune (Salmo trutta L.), résume les influences et interactions de facteurs qui influencent le bilan énergétique du poisson (voir le tableau 3.2). Plusieurs de ces facteurs peuvent être manipulés afin d'optimiser la production recherchée.

De nombreuses études, réalisées à travers le monde, sont menées afin de découvrir et de mieux comprendre le rôle des différents paramètres qui favorisent l'efficacité d'une production piscicole. Des facteurs aussi subtils que l'odeur (Yu et Perlmutter, 1970), la vue (Wirtz, 1974) et la proximité (Li et Brocksen, 1977; Trzebiatowski et al, 1981) de poissons semblables exercent des effets socio-biotiques complexes qui influencent leur propre croissance. Brett (1979) a décrit les différentes interactions

TABLEAU 3.2: Processus qui sont susceptibles d'être influencés directement par différents facteurs inhérents à l'élevage de poissons

PROCESSUS	Facteurs												
	Température	Salinité	pH	Oxygène dissous	Débit de l'eau	Lumière	Polluants	Parasites	Nourriture disponible	Qualité alimentaire*	Age/gros-seur du poisson	Densité des poissons	Sexe
Prise / Consommation (C)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Assimilation (C,F)	X			X				X	X	X	X		
Métabolisme standard (R)	X	X	X				X	X			X	X	
Métabolisme actif (R) ^s a	X	X	X	X	X	X							
Dynamisme d'action spécifique (R) d	X								X	X			
Croissance des gonades (G)	X					X		X	X	X	X	X	

* Incluant la composition chimique

(Tiré de Reay, 1979).

entre les phénomènes qui influencent l'activité métabolique entourant les processus de croissance (voir la figure 3.6).

Dans les paragraphes qui suivent, on discute de certains facteurs de nature biotique et abiotique qui pourraient favoriser la production de chair comestible de poissons.

3.6 Alimentation

Au Québec, les coûts imputables à l'alimentation des truites en pisciculture intensive représentent au delà de 50% des coûts de production (J.L. Loubier, 1980, communication personnelle). Cette simple considération témoigne de toute l'importance qu'il faut accorder à la recherche d'une alimentation saine et appropriée.

Dans tout système vivant l'absorption de nourriture génère des phénomènes plus complexes qu'une simple combustion métabolique fournissant de l'énergie ou qu'une accumulation de matière permettant la croissance. Cela est particulièrement dû à l'influence permanente des facteurs environnementaux sur l'état biochimique des organismes vivants (Brett et Groves, 1979). Quoiqu'il en soit, le matériel nutritif représente le matériel brut essentiel au maintien de la vie. Une partie importante du matériel ingéré est utilisé pour la formation de tissus corporel (anabolisme) et une seconde portion de la nourriture sert à la production énergétique (catabolisme). La nourriture comprend des éléments énergétiques (carbohydrates, graisses et

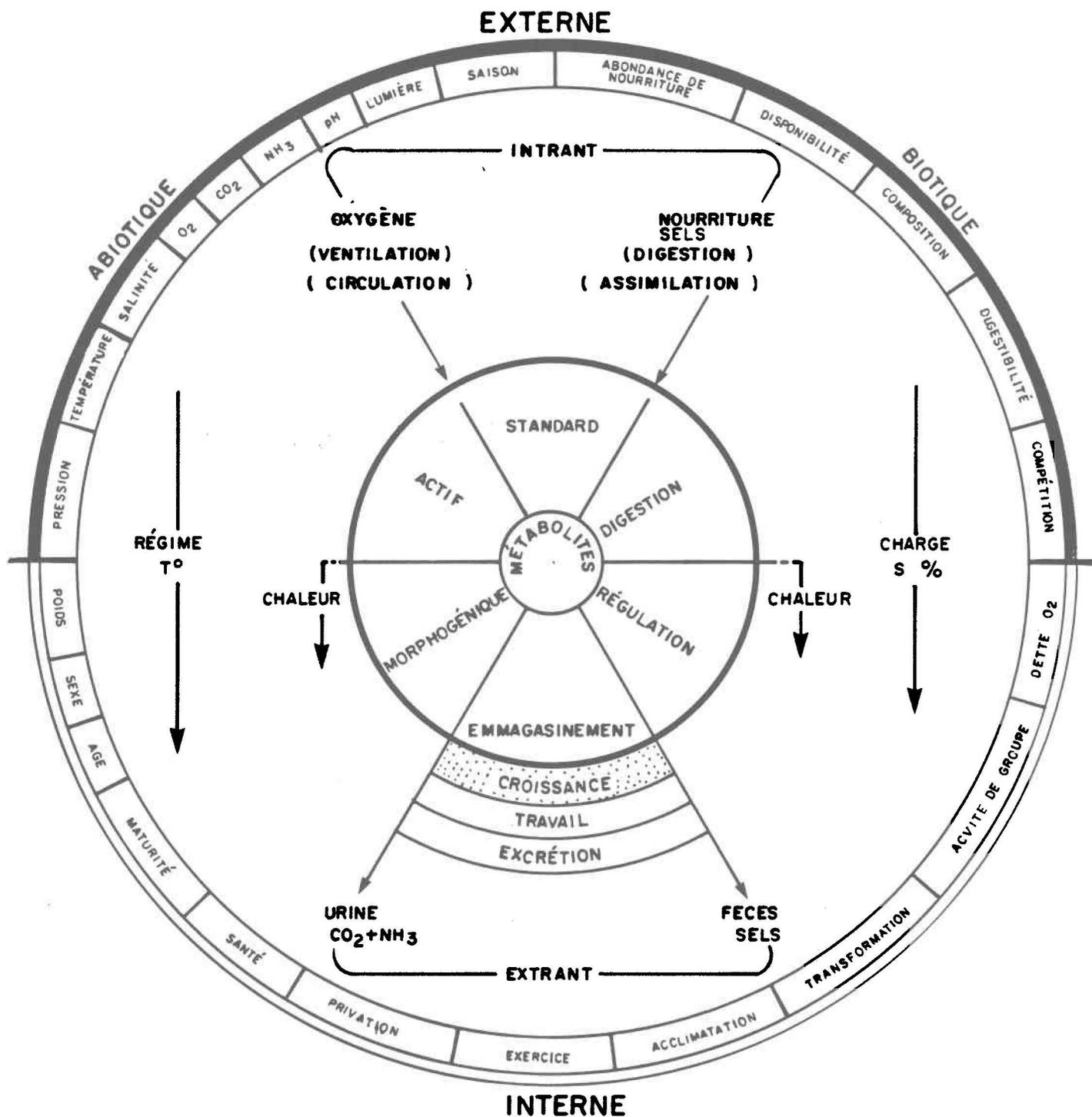


Figure 3.6. Représentation schématique du système général du métabolisme décrivant la croissance, des intrants (nourriture et oxygène) aux extrants (croissance, travail, excréments), et démontrant certains des facteurs internes et externes affectant le système (cercle central). La température est considérée comme étant le facteur majeur de contrôle du métabolisme et la salinité comme le facteur clé dans la demande énergétique pour la régulation. (tiré de Brett, 1979).

protéines) utilisés pour la croissance ainsi que des éléments non énergétiques (minéraux, vitamines, eau, oxygène).

La fraction dite non énergétique est nécessaire au métabolisme; bien que ces constituants (vitamines et minéraux traces) ne soient souvent requis qu'en très petite quantité ils demeurent tout de même essentiels à la vie (Philipps, 1969; Leitritz et Lewis, 1976; Cowey et Sargent 1979; Lovell, 1980; Hilton et Slinger, 1981).

La valeur nutritive d'une diète est ultimement déterminée par la facilité de digestion et d'absorption des aliments par l'animal (Cho et Slinger, 1979)¹. Pour Brett et Groves (1979) il existe des différences majeures entre les sources énergétiques requises par les poissons et celles requises par les animaux terrestres. Contrairement à ces derniers, les poissons utilisent une diète faible en carbohydrates. L'amidon pur est digéré à seulement 30-40% par les salmonidés et la digestibilité des carbohydrates semble décroître quand leur niveau excède 25% de la ration alimentaire. Il a cependant été démontré que les carbohydrates, jusqu'à un niveau de 25% de la diète, sont aussi efficace que les graisses comme source énergétique chez plusieurs espèces de poissons dont notamment chez la truite arc-en-ciel (Cowey et Sargent, 1979).

¹ De plus, la digestibilité et l'équilibre des substances nutritives sont plus importants pour les poissons que pour les espèces terrestres, car il faut éviter l'eutrophisation des eaux et l'augmentation de la demande biologique d'oxygène pouvant résulter d'une nourriture non consommée dans le lieu d'élevage (Hilton et Slinger, 1981).

Les protéines, en plus d'être requises pour la formation et la réparation des tissus ainsi que pour la production d'hormones et d'enzymes, seraient la principale source d'énergie chez les poissons. L'optimum du rapport protéine/calorie, dans la préparation d'aliments pour salmonidé, serait approximativement de 120 mg protéine/Kcal digestible, ce qui est élevé comparativement à la valeur de 70 mg/Kcal requise pour l'alimentation des mammifères. Ajoutons à cela que les lipides seraient, pour leur part, reconnus comme étant la principale source énergétique non protéinique dans la diète naturelle des poissons carnivores ou omnivores (Brett et Groves, 1979).

Phillips (1969) estime la valeur énergétique des protéines à 5,65 Kcal/g, celle des carbohydrates à 4,15 Kcal/g et celle des graisses à 9,40 Kcal/g. Utilisant des coefficients de digestibilité de 40% pour les carbohydrates, 90% pour les protéines et 85% pour les graisses chez la truite (Phillips et Brockway, 1959), il fixe finalement la valeur physiologique des carbohydrates à 1,6 Kcal/g, celle des protéines à 3,9 Kcal/g et celle des graisses à 8,0 Kcal/g.

Il est reconnu depuis plus de 40 ans que certains "facteurs alimentaires accessoires" ou vitamines doivent être présents dans l'alimentation des truites. Des déficiences en thiamine, riboflavine, acide ascorbique, vitamine A, etc., produisent des effets qui inhibent le bon développement des poissons: convulsions, cataractes, anémie et nombre d'autres effets. Concernant les minéraux requis pour l'alimentation de la truite,

certaines travaux récents recommandent que les éléments calcium, magnésium, fer, zinc, iode, sélénium et phosphore soient inclus dans la formulation des aliments utilisés (Hilton et Slinger, 1981).

3.6.1 Recherche sur la composition chimique

L'un des aspects importants de la recherche sur l'alimentation des poissons d'élevage porte sur la détermination des besoins chimiques requis pour leur croissance. Plusieurs études ont été menées à cet égard chez la truite arc-en-ciel. Concernant les protéines, les récents travaux de Steffens (1981) évaluent l'utilisation protéique dans une diète, en terme de "ration d'efficacité de protéines" (protein efficiency ration, PER), ainsi qu'en terme de "valeur de protéines productives" (productive protein value, PPV). Selon Steffens (op. cit.), l'utilisation des protéines dépend essentiellement des espèces de poissons, de leur grosseur, de facteurs environnementaux (O_2 , T° , pH, NH_4^+), de la qualité des protéines, de leur quantité dans la diète ainsi que des sources énergétiques résidant dans la nourriture. Smith et al. (1979) ont élevé pendant trois années des truites arc-en-ciel. Elles furent soumises soit à diète pauvre (36% protéines, 252 Kcal/100g), intermédiaire (42% protéines, 285 Kcal/100g) ou riche (48% protéines, 344 Kcal/100g). Les poissons élevés selon la diète riche pesaient plus et produisaient un nombre plus élevé de gros oeufs. Par ailleurs, Pieper et Pfeffer (1979) estiment quant à eux que les quantités de protéines données aux truites dépassent souvent, et de loin, les besoins nets exigés pour leur croissance. En effet, ces chercheurs révèlent que certains gluci-

des, plus spécifiquement le glucose et l'amidon gélatiné, sont rentables comme source de substitution à une certaine quantité de protéines. Pour Hilton et Slinger (1981), le niveau optimal de protéine dans la diète de très jeunes truites est de 45 à 50% (diète de départ), de 40% chez les truites juvéniles (diète de production) et de 35% chez les truites plus âgées (diète de maintien).

Compte tenu du coût élevé des sources protéiques conventionnelles (les sources protéiques proviennent surtout d'autres animaux; telle en est-il dans la fabrication de farine de poisson de haute qualité), différentes études ont été conduites afin de trouver des sources de protéines de remplacement pouvant favoriser l'expansion des entreprises aquicoles. Des organismes mono-cellulaires (levures et bactéries), des larves de mouches, de la fève soja et de la farine de Krill furent ainsi l'objet de certaines recherches (Beck et al., 1979; Koops et al., 1979; Spinelli et al., 1979). Par ailleurs, il est généralement admis qu'une farine de poisson de haute qualité est plus dispendieuse que des suppléments protéiques végétaux (Hilton et Slinger, 1981).

En ce qui a trait aux glucides et aux graisses, Fischer (1979) rappelle que l'oxydation des produits de dégradation et de transformation des carbohydrates et des lipides est la principale source énergétique chez tous les organismes incapables de photosynthèse. Cependant, l'énergie fournie par les hydrates de carbone serait très faible chez la truite arc-en-ciel. Ainsi, la détermination de la qualité et la quantité de lipides dans

la diète des salmonidés devient extrêmement importante. D'ailleurs, cet aspect reçoit une attention considérable de la part des chercheurs en nutrition (Hilton et Slinger, 1981). Watanabe et al. (1979) ont démontré que l'adjonction, à l'alimentation, de lipides, contenant des acides gras essentiels comme source d'énergie, est de nature à favoriser une utilisation efficace des protéines alimentaires. Pour ces chercheurs, les proportions optimales de protéines et de lipides dans le régime alimentaire seraient respectivement de 35% et de 18%. Ils ont aussi démontré que l'on peut épargner environ 15% de protéines en enrichissant le régime alimentaire d'environ 18% de lipides de haute qualité capables de satisfaire les besoins en acides gras essentiels aux poissons.

Concernant les carbohydrates, la détermination du niveau pouvant être inclu dans la diète des salmonidés fait elle aussi l'objet d'une certaine controverse. Il est particulièrement tentant d'utiliser ces ingrédients (amidon) qui représentent une source énergétique relativement peu dispendieuse. Or, il faut se souvenir que la diète naturelle des salmonidés contient peu de carbohydrates. Pour Hilton et Slinger (1981) l'espèce de salmonidé, l'âge et la taille des poissons, la température de l'eau et probablement la forme de carbohydrate utilisée expliqueraient la gamme (entre 12 et 25%) des niveaux de carbohydrates recommandés par différents auteurs.

En ce qui a trait aux vitamines, l'un des principaux problèmes à résoudre consiste à en réduire les pertes par solubilisation dans l'eau. Concernant les éléments minéraux, plusieurs recherches, actuellement en

cours, porteraient sur leurs interactions avec l'eau dans laquelle évolue le poisson. En effet, nombre de problèmes rencontrés en pisciculture seraient reliés à une déficience ou à un excès d'éléments nutritifs contenus dans la diète ou dans l'eau d'alimentation. D'ailleurs, sauf pour le calcium et peut-être aussi pour le magnésium, les éléments minéraux ne se retrouvent probablement pas dans l'eau en quantité suffisamment grande pour qu'on puisse les omettre de la diète (Hilton et Slinger, 1981).

3.6.2 Alimentation versus qualité du poisson

Pour Buckley et Groves (1979) la composition brute des poissons est affectée par deux facteurs principaux: le stade de développement et l'alimentation. L'importance de la qualité de l'alimentation sur les qualités organoleptiques de la chair des poissons sauvages et d'élevage serait, quant à elle, bien établie. De plus, l'environnement (exemple: les substances organiques dissoutes) et certains facteurs physiques (exemple: l'activité du poisson et la température de l'eau) y joueraient également un rôle important (Spinelli, 1979).

D'une manière générale, les changements relatifs en protéines, glucides et lipides de la diète n'affecteraient pas la composition protéiques et minérales des poissons. Les poissons d'élevage ont cependant plus de matières grasses que les poissons en nature et la quantité ainsi que la composition de ces matières grasses seraient directement reliées au niveau d'énergie alimentaire et plus particulièrement, à celui des lipides (Buckley

et Groves, 1979). Hilton et Slinger (1981) mentionnent que lorsque le niveau de lipides de la diète est trop élevé chez des poissons, vivant dans une eau de faible température, ceux-ci deviennent alors extrêmement gras.

Grayton et Beamish (1977) ont pour leur part étudié l'effet de la fréquence des apports de nourriture sur les changements de poids ainsi que sur les proportions relatives des principaux constituants organiques de la truite arc-en-ciel. Les fréquences d'alimentation varièrent d'un repas à tous les deux jours jusqu'à six repas par jour. La croissance fut parallèle à la quantité de nourriture ingérée et, à 10°C, la quantité maximale de nourriture ingérée fut observée pour une fréquence de deux repas (jusqu'à satiété*) par jour. Ils n'ont observé aucune différence significative dans les taux de croissance ainsi que dans les niveaux d'eau, de lipides ou de protéines dans les tissus des poissons en fonction de la fréquence de l'alimentation. Seule la quantité de lipides aurait eu quelque peu tendance à croître avec l'augmentation de la fréquence de l'alimentation.

Outre la qualité alimentaire du poisson produit, la couleur du poisson est un autre aspect important pour la mise en marché de celui-ci. Le rose caractéristique des salmonidés est principalement dû à un pigment caroténoïde, l'astaxanthine (Johnson et al., 1977). Des ajouts, aux aliments, de levures rouges Phaffia rhodozyma (Johnson et al., 1977), de zoo-

* On considère que les poissons ont mangé à satiété lorsqu'ils n'ingèrent plus la nourriture fournie dans la minute qui suit leur mise en disponibilité. Grayton et Beamish (1977) évalue généralement à 10 ou 15 minutes la durée de l'alimentation avant d'atteindre l'état de satiété.

plancton (Spinelli, 1979) ou de caroténoïdes artificielles (Ellis, 1979) favorisent les colorations vives chez les salmonidés.

3.6.3 Comportement alimentaire en élevage intensif

Twongo et MacCrimmon (1976) ont constaté que le meilleur temps pour commencer à nourrir les poissons en pisciculture était après l'absorption complète des réserves vitellines. Ils rappellent aussi qu'une forte quantité de vitellus peut encore être présente dans la cavité abdominale, après la disparition de la vésicule externe, et que les alevins ne manifesteraient aucun comportement alimentaire avant le début de la nage vers le haut (swim-up). Heming (1979) a réalisé une intéressante étude permettant d'évaluer le moment optimal, à différentes températures, du début de l'alimentation artificielle chez le saumon chinook (Oncorhynchus tshawytscha). Selon ce chercheur, l'apport de nourriture extérieure n'a pas d'effet sur l'absorption des réserves vitellines. Les alevins sont par contre capable d'utiliser de la nourriture exogène avant même d'avoir résorbé la totalité de leur réserve vitelline. Il existe cependant un moment où une contribution extérieure d'aliments assure une optimisation des taux de croissance et de survie subséquents des saumons. Or, sauf différentes températures d'élevage étudiées (6, 8, 10 et 12°C), les temps optima obtenus, pour l'alimentation exogène, ne purent être directement rattachés à la disparition du sac vitellin, ni même à la remonté des alevins vers le haut (swim-up) ni non plus à l'absorption complète des réserves vitellines.

Les poissons démontrent aussi une préférence pour l'ingestion de proies vivantes telles les larves de nauplius (Artemia salina) (MacCrimmon et Twongo, 1980). Bromley et Smart (1981) ont établi que les truites nourries jusqu'à satiété avec de la nourriture d'une composition et d'une valeur nutritive comparables, mais de catégories différentes (sèche, humide, etc), conduisaient à des résultats semblables en terme de quantité de nourriture ingérée, d'efficacité de conversion alimentaire, de croissance et de composition des poissons ainsi nourris.

Il existe aussi des recherches qui cherchent à établir une relation entre la grosseur, la dureté et la texture des particules alimentaires avec la taille des poissons obtenus (Hilton et Slinger, 1981). Soulignons à ce sujet que Luquet et Rumsley (1979), dans une excellente revue du problème de la formulation et de la technologie des aliments secs pour poissons, mentionnent que les formules des éléments commerciaux (qui utilisent une douzaine de matières premières), destinés à l'élevage, ne sont pas suffisamment simples et qu'elles rendent difficiles la gestion des stocks. Trois raisons principales sont évoquées par ces auteurs pour expliquer cet état de fait:

- le manque de connaissance des besoins nutritifs et alimentaires des poissons;
- le manque de connaissance dans la disponibilité des éléments nutritifs des matières premières;
- des raisons d'ordre purement technique (exemple: mauvaise conservation des aliments, difficultés dans leur manipulation).

La tendance devrait être à la simplification des formules, cela pourrait provoquer une décentralisation de la fabrication des aliments vers les lieux d'utilisation. Pour sa part, Petit (1981) soutient que bien que les caractéristiques des aliments et la quantité à distribuer soient bien étudiées, la manière dont est distribuée cette nourriture dans le temps et l'espace reste encore dans la plupart des cas du domaine de l'empirisme.

3.7 Qualité du milieu versus développement

Le facteur le plus important dans le choix d'un site à salmoniculture demeure l'approvisionnement en eau. En théorie, toute déficience dans la qualité de l'eau peut être corrigée par des procédés de traitement et s'il n'y a pas suffisamment d'eau, son reconditionnement et sa réutilisation peuvent être envisagés. Mais encore faut-il savoir déceler les problèmes et posséder les ressources nécessaires à leur solution. Quoiqu'il en soit, comme l'écrivit si bien Munro (1978):

"Le milieu aquatique est soumis à une longue série de paramètres et pratiquement à tous ceux qui influent aussi l'homéostasie, la croissance et la reproduction du poisson. Lorsque ces facteurs s'altèrent au-delà d'une limite de tolérance, ils prédisposent à la maladie ou ils la provoquent effectivement. Parmi les plus importants figurent la composition chimique de l'eau, sa température, son contenu biologique, l'intensité et la périodicité de son éclairage, ses ressources en espace et en nourriture, la fréquence de ses motifs à terreur tels que les ombres mouvantes".

En fait les maladies affectant les poissons peuvent être subdivisées en deux grands groupes, selon qu'elles sont reliées à un agent infectieux (virus, bactéries, champignons, parasites) ou non (maladies nutritionnelles, maladies reliées à la qualité de l'eau, malformations embryonnaires, tumeurs) (Péloquin, 1978). De Kinkelin et Gérard (1972) rappellent que les maladies des poissons conduisent souvent à des mortalités, mais que toutes les mortalités ne résultent pas nécessairement de maladies. Pour ces ichthyopathologistes, le terme maladie s'applique à des anomalies du comportement et (ou) à l'intégrité corporelle en l'absence de toute pollution ayant un effet toxique direct sur l'animal. Les troubles provoqués par la qualité du milieu ne seraient pas du domaine de la pathologie tel que définie par ces chercheurs.

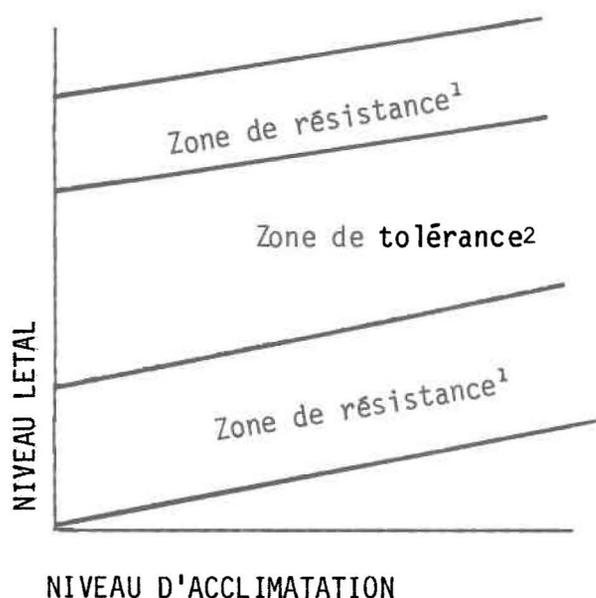
Hansen et al. (1980) mentionnent que les propriétaires québécois d'installations aquicole connaissent mal la qualité de l'eau qu'ils utilisent et qu'il y a un urgent besoin de conseillers spécialisés dans la prévention, la diagnose et le traitement des maladies infectieuses, de même que dans le choix des sites et dans la planification des installations. Ces mêmes auteurs soulignent que certains pisciculteurs auraient souvent des pertes dépassant 75% pour la production d'alevins.

Le meilleur terme pour désigner les pressions environnementales qui produisent une compensation physiologique est le mot stress. Un faible taux d'oxygène ou une carence en nutriments (vitamines ou éléments traces) agissent tous de la même manière; ces facteurs sont désignés comme étant des "facteurs limitants". Les poisons, narcotiques ou des températures extrême-

ment basses agissent de différentes façons en supprimant des activités régulières du métabolisme; ces facteurs sont appelés "facteurs inhibiteurs". Il y a aussi des paramètres tels que l'accroissement de la salinité, l'élévation de la température, ou simplement un excès d'exercices musculaires qui peuvent produire une tension conduisant à une demande excessive du métabolisme ainsi qu'à une modification des procédés physiologiques normaux; ceux-ci peuvent être désigné par le terme "facteurs de surcharge" (Hoar, 1975).

Il existe, pour chaque paramètre considéré, une certaine gamme de valeurs pour laquelle le poisson peut s'assurer d'un développement "normal" (voir la figure 3.7). Les limites précises de la zone de tolérance dépendent de beaucoup d'éléments dont la méthode de détermination de cette propre zone. Deux techniques sont communément utilisées. Pour l'une, le niveau de la variable environnementale est graduellement altéré jusqu'à ce que l'animal succombe; pour l'autre, les animaux sont placés dans une série de milieux létaux et le temps requis pour mourir est noté. En général, c'est la deuxième méthode qui est préférée, car il y aurait moins de chance d'acclimation durant ce type d'expérience. De plus, les résultats ainsi obtenus se prêteraient plus facilement à des méthodes d'analyses statistiques (Hoar, 1975).

Les critères de qualité de l'eau concernant la vie aquatique (voir l'annexe 2) sont non seulement fragmentaires, mais encore faut-il idéalement considérer leur méthode d'évaluation, l'acclimatation préalable des poissons aux paramètres étudiés, le temps d'exposition, la variation dans le temps de



- 1 Effets de stress chroniques, processus létaux aigus, fatigue et épuisement
- 2 Il existe une relation entre le niveau d'acclimatation des poissons à un facteur donné et l'effet de celui-ci sur leur état de santé. Des modifications d'ordre biochimique, physiologique et comportementale permettent aux individus de tolérer certaines variations environnementales.

Fig. 3.7: Sommaire des facteurs induits par une compensation physiologique en réponse aux variations environnementales (Adapté de Hoar, 1975).

survie des individus d'une population, la présence d'agents complexants ou de produits toxiques ainsi que nombre d'autres facteurs pouvant influencer ce que l'on désire mesurer.

Tous ces éléments s'avèrent importants dans l'estimation des critères de qualité du milieu compatibles avec la faune aquatique. La société américaine des pêcheries (American Fisheries Society, 1979) a publié à cet effet une revue critique des valeurs de 53 critères de qualité de l'eau retenues par l'agence de protection de l'environnement des États-Unis (Environmental Protection Agency, EPA) à l'égard de la vie aquatique. Après une revue de la littérature existante, chaque paramètre fit l'objet d'une analyse critique des valeurs limites en fonction des objectifs. Il est en outre suggéré, pour chaque contaminant auquel un critère de qualité fut développé, d'inclure des informations supplémentaires sur la qualité physico-chimique du milieu, sur la toxicité et la dynamique des principales formes chimiques ainsi que sur les possibilités de bio-accumulation du produit. Pour leur part, McLean et al. (1980) ont élaboré une bibliographie portant sur l'ensemble des aspects (méthodologie, biochimie, histologie, physiologie, bio-accumulation, etc.) relevant de la toxicologie en milieu aquatique.

3.7.1 Aspects physico-chimiques de la qualité de l'eau

Dans la section qui suit, on discute de quelques paramètres physico-chimiques de l'eau en relation avec la santé et le développement de la truite en pisciculture.

3.7.1.1 Température

La température est un paramètre très important dû à son effet direct sur l'activité et les procédés métaboliques des poissons, à son effet indirect sur le niveau d'oxygène dissous et à son influence sur la susceptibilité des poissons aux agents toxiques et infectieux.

La température corporelle du poisson, mis à part certaines exceptions, est approximativement de 0,5°C au dessus de celle de son environnement. C'est d'ailleurs pour cette raison que la température de l'eau joue un rôle si important dans la régulation des activités d'un poisson (Reinert, 1980). En effet, comme dans la plupart des réactions chimiques connues, les vitesses de croissance sont dépendantes de la température ambiante. Les vitesses des réactions physiologiques dépendent de façon exponentielle de la température; ces réactions ont généralement une valeur de Q_{10} égale à 2. En d'autres mots, une augmentation de température de 10°C double la vitesse de ces réactions (Hoar, 1975). Par ailleurs, l'énergie requise pour maintenir le métabolisme augmente également avec l'élévation de la température, et de ce fait, il existe une température optimale concernant les activités métaboliques d'un poisson (Phillips, 1969); c'est à cette température que l'animal converti le plus efficacement sa nourriture en tissus (voir le tableau 3.3). Sedgwick (1973) rapporte la température optimale serait de 18°C chez la truite arc-en-ciel. Leitritz et Levis (1976) mentionnent, pour leur part, que dans une eau à 15,5°C, la croissance de la truite est d'environ 2,5 cm par mois alors qu'à 7,4°C elle ne serait guère que de 0,6 cm par

TABLEAU 3.3: Température optimale pour la croissance de certains salmonidés

Espèces	Optimum (°C)	Salinité (%)	Poids initial	Commentaires	Références
<u>Salmo trutta</u>	12,8	Douce	10 - 300 g	Ration optimale	Elliot (1975a)
<u>Oncorhynchus keta</u>	13,0	35% de salinité	"under Yearling" juvéniles (< 1 an)	Poids non révélé	Kepshire (1971) (dans Brett, 1979)
<u>Salvelinus fontinalis</u>				juvénile; nourriture nauplius, foie	(1972)
<u>Salmo gairdneri</u>	17,0	Douce	0.98 - 2,33 g	Nourriture humide Orégon; race Steelhead	Wurtsbaugh et Davis (1977)
<u>Salmo gairdneri</u>	17,2	Douce	0,3 - 3 g	Alevin au stade de juvénile; crevette salée et graine à truite	Hokanson <u>et al.</u> (1977)
<u>Oncorhynchus nerka</u>	15,0	Douce	6 - 20 g	Nourriture de "graines humides"	Brett <u>et al.</u> (1969)

mois. Des études conduites à l'Université Guelph indiquent que pour chaque augmentation de 3°C de l'eau, entre 7 et 15°C, l'on obtient un doublement du poids chez la truite arc-en-ciel. L'augmentation du taux de croissance se réalise jusqu'à 18°C pour par la suite décliner avec l'augmentation de la température au delà de ce seuil. D'après ces chercheurs, l'efficacité de transformation des aliments augmente entre 7 et 15°C puis décline entre 15 et 19°C. Les poissons vivant à 19°C et plus deviendraient alors hyperactifs et requièreraient ainsi plus de nourriture pour chaque unité de poids obtenue (Blum, 1979). Pour Brown et Gratzek (1980), l'unité thermique (UT) peut être utilisée afin de prédire la croissance en pisciculture (approximativement 4,7 UT sont nécessaires par cm d'accroissement). Ils suggèrent l'équation suivante:

$$UT = T_1 - T_2 \times n \text{ mois} \quad (3.8)$$

où T_1 est la température moyenne de l'eau (°C) au cours de la période de croissance.

T_2 est égale à 3,7°C, température où il y a une croissance nulle chez la truite.

Pour Brown et Gratzek (op. cit.), il existe un certain désaccord en ce qui a trait aux valeurs de la température de l'eau recommandées en truiticulture. En général, selon ces chercheurs, pour produire des oeufs de bonne qualité, les géniteurs de la truite arc-en-ciel ne doivent pas être

maintenus à une température excédant 12,8°C au cours des 6 mois précédant la fraie. Après celle-ci, les oeufs ont à s'acclimater à la pisciculture; des températures de 8 à 13°C sont alors recommandées bien que des eaux de 13 à 14°C soient aussi utilisées. McCormick et al. (1972) mentionnent que des températures maintenues entre 12,4 à 15,4°C seraient optimales pour la croissance de l'omble de fontaine, de l'alevinage au stade juvénile.

Peterson et al. (1979) ont vérifié que les températures préférées par les alevins du genre Salmo et leurs hybrides intergénétiques étaient nettement supérieures (13 - 15°C) à celles qui étaient préférées par les espèces et hybrides du genre Salvelinus (9,0 - 11,5°C). Ces auteurs font aussi mention qu'il est généralement reconnu que les membres du genre Salvelinus sont moins tolérants à l'égard des variations de température que ceux du genre Salmo. Concernant la température létale, soulignons avant tout qu'elle varie selon le stade de développement et l'acclimatation préalable du poisson. Elle serait de 25,5°C (TL_{50} = température létale médiane pour 7 jours) pour un alevin d'omble de fontaine du stade "swim-up" (McCormick et al., 1972). Concernant la truite arc-en-ciel, Bidgood et Berst (1969) rapportent que la température létale serait approximativement de 26°C.

Différentes études, dont celles conduites par Brett et al. (1969), Wurtsbaugh et Davis (1977) ainsi qu'Elliott (1975a, 1975b, 1976a, 1976b), sur le saumon sockeye (Oncorhynchus nerka), la truite arc-en-ciel et la truite brune, ont démontré l'importance de l'interaction des effets combinés

de la température et de la ration alimentaire sur les taux de croissance, l'efficacité de conversion alimentaire et la qualité des poissons.

L'étude de Brett et al. (1969) démontra pour la première fois l'interaction des effets combinés de la température et du rationnement alimentaire sur les taux de conversion alimentaire et de croissance chez le saumon sockeye. De ce travail, plusieurs informations importantes sont à retenir:

- avec une ration alimentaire en excès, le taux de croissance spécifique du saumon diminue à partir d'un âge et d'une température optimaux de croissance;
- pour une même température, le gain de poids augmente avec la ration alimentaire;
- avec une augmentation de température, il y a une nette augmentation des besoins énergétiques requis pour la croissance et ce, jusqu'à l'atteinte d'un seuil où le poisson devient indisposé;
- la constitution tissulaire varie avec la température. Ainsi, parallèlement à l'augmentation de température, la teneur en eau tend à augmenter alors que la proportion de protéines et de gras font l'inverse;
- la température optimale de croissance diminue si l'on diminue la ration alimentaire; par ailleurs, pour une température donnée, il existe une ration conduisant à un taux de croissance optimal (voir la figure 3.8);
- pour une température donnée, l'augmentation de la ration au delà d'un certain niveau conduit à une diminution de l'efficacité de conversion

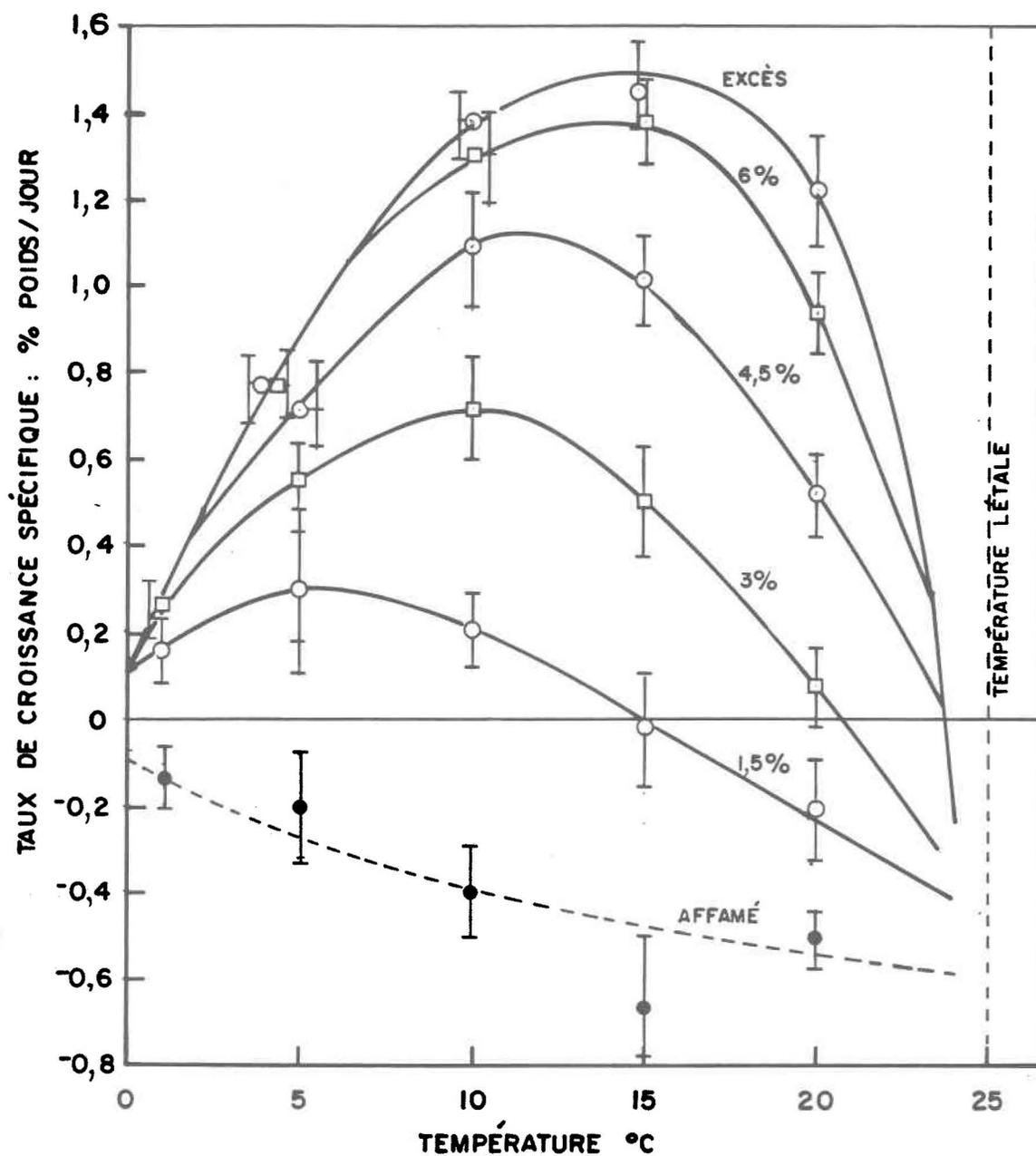


Figure 3.8. Effet d'une réduction de ration sur la relation entre le taux de croissance ($\pm 2\sigma$) et la température, chez le saumon sockeye (7 à 12 mois) (tiré de Brett et al., 1969).

alimentaire. Chez le saumon sockeye l'efficacité brute de croissance

$$(\text{Efficacité brute} = \frac{\text{Gain poids}}{\text{Poids de la nourriture}} \times 100)$$

maximale est de 25% à 11,5°C pour une ration quotidienne de 4% du poids corporel brut.

Il est finalement important de garder à l'esprit que:

- tout changement dans la température de l'eau affecte le comportement et le développement du poisson;
- le développement optimal d'un poisson requiert l'apport d'une eau dont les températures varient en fonction du stade de production de celui-ci.

3.7.1.2 Oxygène

L'oxygène et l'azote sont, parmi les gaz dissous, les plus importants à l'égard de la vie aquatique. À côté d'eux figurent le gaz carbonique, l'ammoniac et le sulfure d'hydrogène. Chacun des gaz constituant l'air se dissout dans l'eau; la solubilité de chacun est conditionnée par les facteurs suivants (Roberts, 1978):

- la pression totale de l'air et la pression partielle de chacun des gaz dans le mélange en contact avec l'eau;

- la concentration en sel dissous, car en général, la solubilité des gaz diminue lorsque la concentration des sels dissous augmente;
- la température, car plus celle-ci s'élève, moins les gaz y sont solubilisés;
- sa constante d'équilibre pour l'échange phase gazeuse-solution.

Les poissons, comme la majorité des organismes vivants, requièrent une certaine quantité d'oxygène afin de s'assurer d'un apport énergétique fournit par l'oxydation de la nourriture ingérée. Des lamelles branchiales bien vascularisées permettent cet échange gazeux par diffusion. Environ 99% de l'oxygène du sang est transporté par les globules rouges (érythrocytes). Une unité volumétrique de sang de poisson peut contenir de 15 à 25 fois plus d'oxygène qu'un même volume d'eau (Reinert, 1980). À 10°C, l'eau douce contient 7,93 ml/l d'oxygène (approximativement 0,8% du volume) quand elle est en équilibre avec l'air libre à la pression correspondant au niveau de la mer. Aux mêmes conditions de température et de pression, l'air contient approximativement 209 ml/l d'oxygène, soit plus de 26 fois la quantité retenue dans l'eau (Davis 1975).

La réduction des niveaux d'oxygène dissous produit des effets notables sur plusieurs procédés d'ordre physiologique, biochimique et comportemental (Davis, 1975; Eddy, 1977; Brett, 1979; Payne, 1979; Fromm, 1980; Brett et Blackburn, 1981; Spry et al., 1981). Une diminution de la pression partielle d'oxygène dans l'eau entraîne: une diminution de la saturation des globules rouges ainsi que de la tension d'oxygène dans les veines, une aug-

mentation de la capacité des branchies à transférer l'oxygène ainsi qu'une augmentation de la quantité d'eau traversant ces mêmes branchies. De plus, un faible niveau d'oxygène affecte le taux de croissance du poisson, son appétit et l'efficacité de conversion de ses aliments. L'augmentation de la toxicité de certains produits peut être provoquée par une augmentation du volume d'eau filtré; phénomène qui est d'ailleurs relié à une diminution de l'oxygène du milieu (Davis, 1975).

La consommation d'oxygène augmente avec l'activité ou le stress (Hoar, 1975). Selon Reinert (1980) la plupart des biologistes acceptent la valeur de 6 mg/l d'oxygène comme étant la concentration minimale requise pour assurer le succès de l'ensemble des activités des poissons. Pour Brett (1979), une concentration d'oxygène de 5 mg/l est critique pour la croissance; d'ailleurs, une diminution de 1 mg/l d'oxygène sous cette concentration peut causer une diminution de 30% du taux de croissance. Enfin, Brett (op. cit.) ajoute que l'efficacité de conversion des aliments se voit, elle aussi, réduite en absence d'une quantité adéquate d'oxygène. Brett et Blackburn (1981), outre le fait d'avoir vérifié l'augmentation d'hématocrites à des niveaux inférieurs d'oxygène, ont constaté que pour des concentrations d'oxygène inférieures à 5 mg/l, la croissance de jeunes saumons coho (Oncorhynchus kisutch) était visiblement affectée (voir la figure 3.9). Ces mêmes auteurs concluent, après avoir examiné les résultats de certaines études portant sur l'achigan, la carpe et le saumon coho, qu'au dessus d'un niveau critique, variant entre 4,0 et 4,5 mg O₂/l, la croissance et l'efficacité de conversion des aliments ne seraient pas limitées pour de courtes périodes d'élevage (6-8 semaines).

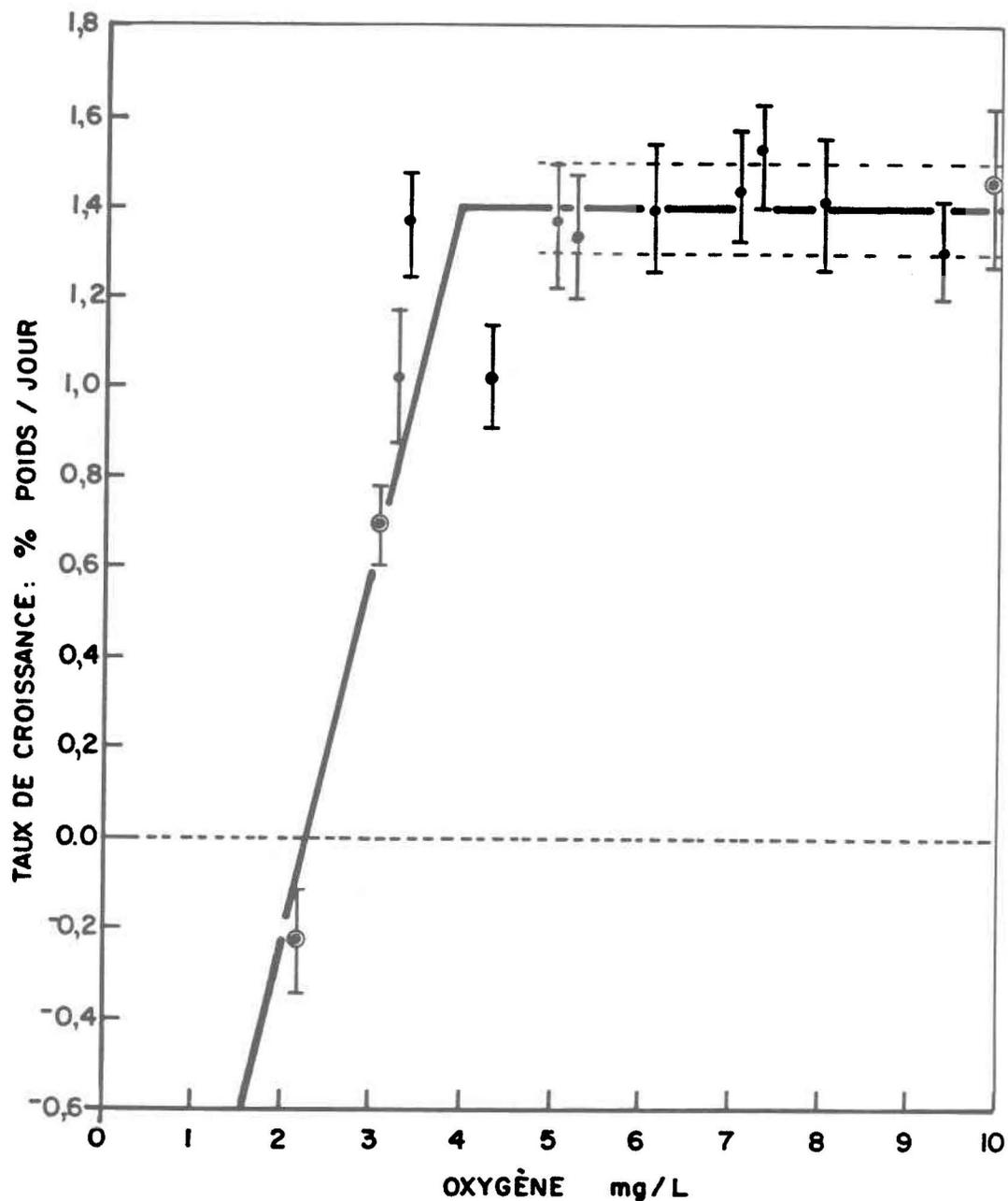


Figure 3.9. Taux spécifique de croissance ($\pm \sigma$) de saumon coho juvénile (5-10g) en relation avec la concentration d'oxygène à 15°C. (tiré de Brett et Blackburn, 1981).

Il faut aussi souligner que malgré toute l'importance qu'un pisciculteur doit accorder au maintien d'une bonne oxygénation de son eau, il doit de plus veiller à ce qu'elle ne devienne pas trop sursaturée en oxygène et en azote; car le poisson pourrait alors souffrir de troubles physiologiques connus sous le nom de maladie des bulles de gaz (Gas Bubble Disease) (Nebeker et al., 1978; Bouck, 1980).

3.7.1.3 Activité des ions hydrogènes (pH)

L'importance du pH sur les réponses physiologiques et toxicologiques des poissons fait aujourd'hui l'objet de recherches actives. L'avènement récent du phénomène des pluies acides conduit à poser une multitude d'interrogations sur l'avenir des populations naturelles de poissons de plusieurs lacs et rivières Nord-Américains. Bien que ce travail ne soit pas centré sur cette importante question, il doit tout de même en aborder certains aspects qui peuvent être reliés au succès d'une entreprise piscicole.

Le pH se définit comme étant le négatif du logarithme dans la base 10 de l'activité des ions hydrogènes:

$$\text{pH} = - \log \{ \text{H}^+ \} = - \log [\text{H}^+] \quad (3.9)$$

L'eau pure est un peu ionisée (autoprotolyse)



et l'on peut exprimer la constante d'équilibre de la réaction (3.10) par:

$$K_e = [\text{H}^+] [\text{OH}^-] \quad (3.11)$$

où $K_e = 1,00 \times 10^{-14}$ à 25°C

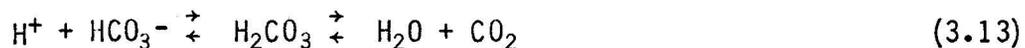
ainsi

$$-\log K_e = -\log [\text{H}^+] - \log [\text{OH}^-] = 14,00$$

ou

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14,00 \quad (3.12)$$

À 25°C , une solution est considérée acide à un $\text{pH} < 7,00$ elle est basique si le $\text{pH} > 7,00$ et elle est neutre si le $\text{pH} = 7,00$. Le pH est un paramètre variable dans le temps (exemple: une augmentation de la production primaire induit une augmentation du pH de l'eau). Par ailleurs, le système d'équilibre le plus important dans les eaux naturelles pour contrôler le pH est le système du CO_2 et des carbonates. La réaction peut s'écrire comme suit:



Ce système est fortement responsable du contrôle du pH . D'autres produits tels l'acide silicique, $\text{Si}(\text{OH})_4$, l'ion ammonium, NH_4^+ , l'activité biologique, etc. peuvent également, mais généralement de façon moins importante, influencer le pH . Pour leur part, les mesures d'alcalinité ($[\text{Alc}]$).

$$[\text{Alc}] = [\text{HCO}_3^-] + 2 [\text{CO}_3^{-2}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}^+] \quad (3.14)$$

et d'acidité totales ($[\text{Aci}]$)

$$[Ac] = 2[H_2CO_3] + [HCO_3^-] + [H^+] - [OH^-] \quad (3.15)$$

sont des indicateurs qui permettent d'estimer la capacité maximale d'une eau naturelle pour neutraliser les déchets acides ou basiques, sans détruire trop profondément les activités biologiques présentes dans une eau donnée (Tessier, 1979).

Le pH agit sur la physiologie du poisson de plusieurs façons (Fromm, 1980; Spry et al., 1981), notamment en affectant:

- l'activité enzymatique;
- le transport membranaire et la perméabilité ionique;
- l'hémoglobine et les autres protéines;
- la reproduction et le développement;
- la croissance spécifique;
- la sensibilité aux métaux toxiques;
- le comportement.

L'"European Inland Fisheries Advisory Commission" (1969), "EIFAC", considère que les niveaux acceptables de pH permettant d'assurer la survie des poissons se situent entre 5 et 9 et qu'une productivité maximale serait obtenue dans une gamme de pH entre 6,5 et 8,5. Pour Fromm (1980), les salmonidés peuvent tolérer un pH 5,0 mais sous ce seuil il advient alors des problèmes au niveau de la régulation osmotique et des électrolytes homéostatiques. Concernant la croissance spécifique, certaines expériences indiquent des

réductions de croissance avec une diminution de pH, d'autres ne signalent pas de changement. D'après Leivestad et al. (1976; cité par Fromm, 1980) on peut doubler le taux de croissance de l'omble de fontaine, élevée avec de la nourriture en abondance, si on fait l'élevage à pH 6,0 plutôt qu'à pH 4,0. D'autre part, Menendez (1976), ayant exposé des adultes de truite mouchetée à des pH de 4,5 et de 5,0; a constaté une diminution de leur croissance, par rapport à un milieu de contrôle (pH 7,0), durant les 3 premiers mois de son expérience sans par la suite obtenir de différence dans les 2 mois qui suivirent.

Spry et al. (1981) ont rassemblé nombre d'informations pertinentes décrivant la toxicité de certains métaux (Al, Cd, Cu, Pb, Mn, Ni, Zn) et l'influence du pH sur cette toxicité. Ainsi, la toxicité d'un quelconque métal peut être abordée à trois niveaux:

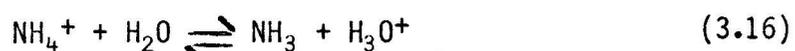
- le comportement chimique du métal dans l'eau;
- l'interface eau-poisson;
- le poisson lui-même.

Il existe dans le milieu aquatique plusieurs facteurs qui déterminent la disponibilité d'un métal au poisson. Ainsi, l'ion "libre" (composé de coordination constitué d'un métal et de molécules d'eau, $Me (H_2O)^{2+}$) est considéré comme étant la forme plus toxique d'un métal; sa concentration relative augmente lorsque le pH du milieu diminue. Par contre, la toxicité de certains métaux, tel le zinc, semble diminuer avec une augmentation de l'acidité de l'eau.

Soulignons enfin qu'entre les pH de 5,5 et 7,4, le bioxyde de carbone semble être un facteur important d'indisposition des poissons (Fromm, 1980).

3.7.1.4 Azote ammoniacal

La toxicité de l'ammoniac est l'un des facteurs importants qui obligent le pisciculteur à utiliser une eau de haute qualité afin d'assurer un bon fonctionnement de son installation (Peters et Bose, 1975). L'azote ammoniacal est probablement l'une des substances toxiques les plus couramment rejetées dans le milieu aquatique; d'ailleurs, plusieurs études détaillées traitent de sa toxicité. Il a été établi que la forme toxique affectant les poissons n'était pas l'ion ammonium (NH_4^{+1}), mais bien la molécule d'ammoniac non ionisée (NH_3). La réaction chimique reliant les deux formes peut s'écrire:



Trussel (1972) a déterminé les quantités d'ammoniac non ionisé, retrouvées dans des intervalles de températures et de pH ordinairement observés, dans des eaux douces de la zone tempérée (voir le tableau 3.4). Le tableau 3.4 démontre clairement que plus le pH et la température s'élèvent, plus la proportion d'ammoniac non dissocié (NH_3) augmente. Pour Roberts (1978), des concentrations de NH_3 supérieures à 0,02 mg/l dans l'eau ne sont pas recommandées pour les poissons. Spotte (1970) souligne, pour sa part, que le pH

TABLEAU 3.4: Pourcentage d'ammoniac non ionisé (NH₃) dans une solution aqueuse d'azote ammoniacal, en fonction du pH et de la température.

pH	(C)	TEMPÉRATURE																			
	5 (F)	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	41,0	42,8	44,6	46,4	48,2	50,0	51,8	53,6	55,4	57,2	59,0	60,8	62,6	64,4	66,2	68,0	69,8	71,6	73,4	75,2	77,0
6,5	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,12	0,13	0,13	0,14	0,16	0,17	0,18
6,6	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,12	0,13	0,13	0,15	0,16	0,17	0,18	0,20	0,21	0,22
6,7	0,06	0,07	0,07	0,08	0,09	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,20	0,21	0,23	0,25	0,26	0,25
6,8	0,08	0,09	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,19	0,20	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35
6,9	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,19	0,20	0,22	0,23	0,25	0,27	0,29	0,32	0,34	0,36	0,39	0,42	0,44
7,0	0,12	0,14	0,15	0,16	0,17	0,19	0,20	0,21	0,24	0,25	0,27	0,29	0,31	0,34	0,37	0,40	0,42	0,45	0,49	0,52	0,55
7,1	0,16	0,17	0,19	0,20	0,22	0,23	0,26	0,27	0,30	0,32	0,34	0,37	0,39	0,42	0,46	0,50	0,53	0,57	0,62	0,66	0,78
7,2	0,20	0,22	0,23	0,25	0,27	0,29	0,32	0,34	0,37	0,40	0,43	0,46	0,50	0,53	0,58	0,63	0,67	0,71	0,77	0,83	0,84
7,3	0,25	0,27	0,30	0,32	0,34	0,37	0,40	0,43	0,47	0,51	0,54	0,58	0,62	0,67	0,73	0,79	0,84	0,90	0,97	1,04	1,10
7,4	0,31	0,34	0,37	0,40	0,43	0,47	0,51	0,54	0,59	0,64	0,68	0,73	0,78	0,84	0,91	0,99	1,05	1,13	1,22	1,30	1,35
7,5	0,39	0,43	0,47	0,50	0,54	0,59	0,64	0,68	0,74	0,80	0,85	0,92	0,98	1,06	1,15	1,24	1,32	1,42	1,53	1,63	1,73
7,6	0,49	0,54	0,59	0,63	0,68	0,74	0,80	0,85	0,93	1,00	1,07	1,16	1,24	1,33	1,44	1,56	1,66	1,78	1,92	2,05	2,11
7,7	0,62	0,68	0,74	0,80	0,86	0,92	1,01	1,07	1,17	1,26	1,35	1,45	1,55	1,67	1,81	1,96	2,08	2,23	2,41	2,57	2,72
7,8	0,78	0,85	0,93	1,00	1,08	1,16	1,27	1,35	1,46	1,58	1,69	1,82	1,95	2,09	2,26	2,45	2,61	2,79	3,01	3,21	3,39
7,9	0,98	1,07	1,16	1,25	1,35	1,46	1,59	1,69	1,83	1,98	2,12	2,29	2,44	2,62	2,83	3,06	3,26	3,48	3,76	4,01	4,10
8,0	1,22	1,34	1,46	1,58	1,70	1,83	1,10	2,12	2,30	2,48	2,65	2,86	3,05	3,28	3,54	3,83	4,07	4,35	4,69	4,99	5,28
8,1	1,54	1,68	1,83	1,98	2,13	2,29	2,50	2,65	2,88	3,11	3,32	3,58	3,81	4,09	4,42	4,77	5,07	5,41	5,83	6,21	6,55
8,2	1,93	2,11	2,29	2,48	2,67	2,86	3,12	3,32	3,59	3,88	4,14	4,46	4,75	5,10	5,50	5,94	6,30	6,72	7,23	7,69	8,11
8,3	2,41	2,64	2,87	3,10	3,33	3,58	3,90	4,14	4,48	4,84	5,16	5,55	5,90	6,33	6,82	7,36	7,80	8,31	8,94	9,49	10,00
8,4	3,02	3,30	3,59	3,87	4,16	4,46	4,87	5,15	5,58	6,01	6,41	6,89	7,32	7,84	8,44	9,09	9,62	10,24	10,99	11,66	12,23
8,5	3,77	4,12	4,47	4,82	5,18	5,55	6,05	6,40	6,92	7,45	7,98	8,52	9,04	9,68	10,40	11,18	11,82	12,56	13,45	14,25	14,97
8,6	4,70	5,13	5,57	5,99	6,44	6,89	7,50	7,93	8,56	9,21	9,79	10,49	11,12	11,88	12,74	13,68	14,44	15,31	16,37	17,30	18,14
8,7	5,85	6,38	6,91	7,43	7,97	8,53	9,26	9,78	10,54	11,32	12,02	12,86	13,61	14,51	15,53	16,63	17,53	18,54	19,77	20,84	21,82
8,8	7,25	7,90	8,54	9,18	9,84	10,50	11,38	12,01	12,92	13,84	14,68	15,67	16,55	17,61	18,30	20,07	21,11	22,27	23,68	24,90	26,00
8,9	8,96	9,74	10,52	11,28	12,07	12,87	13,92	14,66	15,74	16,82	17,80	18,96	19,98	21,20	22,57	24,02	25,19	26,51	28,09	29,44	30,64
9,0	11,02	11,96	12,89	13,80	14,74	15,68	16,91	17,78	19,04	20,30	21,42	22,75	23,91	25,30	26,85	28,47	29,78	31,23	32,96	34,44	35,75

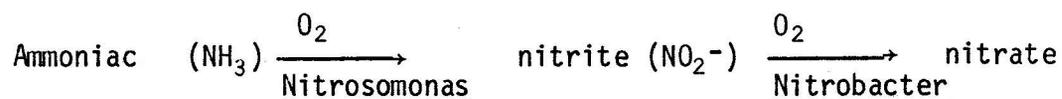
(Tiré de Trussell, 1972).

et l'oxygène dissous sont les deux principaux facteurs qui influencent la toxicité de l'ammoniac; plus la teneur en oxygène est faible, plus la toxicité de l'ammoniac est élevée.

L'ammoniac libre est un produit extrêmement toxique pour nombre d'organismes vivants. L'excrétion de ce composé, comme résultat final du métabolisme de l'azote, est commune aux organismes vivants et peut constituer une part importante de l'azote ammoniacal dans les eaux naturelles. Shirahata (1964; cité par Spotte, 1970) souligne qu'une truite arc-en-ciel en pleine croissance excrète, en une heure, quelque 17 mg d'ammoniac par kilogramme de poids. Il existe cependant une relation étroite entre la quantité d'azote ingérée dans la nourriture et le taux d'ammoniac excrété (Rychly et Marina, 1977).

La toxicité de l'ammoniac fut toujours au centre des préoccupations de la recherche portant sur le recyclage de l'eau en aquiculture (Spotte, 1970; Peters et Bose, 1975; Bohl, 1977; Pettigrew et al., 1978; Seguin et al., 1978; Mayo, 1979). Les techniques d'aération, de filtration mécanique, de sédimentation, de centrifugation, de filtration biologique, de culture de micro-colonies nitrifiantes, d'échangeur ionique, de contrôle du pH et de température ont été jusqu'à maintenant les principaux procédés de reconditionnement de l'eau et du contrôle de la toxicité de l'ammoniac.

Pour Burrows et Combs (1968) la nitrification serait l'option la plus pratique et la plus économique des méthodes d'élimination du NH_3 . La réaction de nitrification s'écrit:



Ce procédé bactériologique transforme l'ammoniac en nitrate; produit moins toxique qui serait plus facilement retiré du milieu (assimilation par des organismes, filtration sur charbon ou résine, etc.). Quoique l'ion nitrate est la forme d'azote la moins toxique (Pettigrew et al., 1978), la nitrification de l'ammoniac conduit aussi à la production de nitrites; produits considérés toxiques à 0,2 mg/l chez les salmonidés (Mayo, 1979). Cette toxicité des nitrites serait cependant variable selon la présence d'anions chlorure, sulfate, phosphate et nitrate (Russo et al., 1981).

3.8 Maladies reliées à un agent infectieux

En élevage intensif, la santé des animaux est la principale garantie de productivité et de rentabilité d'une entreprise. Il existe toujours un risque d'épidémie accru du fait même de l'intensification d'un élevage. Les maladies infectieuses originent soit de virus, de bactéries, d'algues, de champignons ou de parasites. Le tableau 3.5 regroupe quelques agents causals d'infections (bactéries, virus) ou d'infestations (parasites) retrouvés chez les salmonidés.

Les maladies véhiculées par les agents infectieux entraînent non seulement des pertes sur le plan économique du fait de mortalités, mais elles agissent aussi sur d'autres facteurs tels: la croissance et l'état de santé, la résistance à la fatigue, la fécondité, la vulnérabilité aux préda-

TABLEAU 3.5: Liste des maladies infectieuses affectant les salmonidés

A. MALADIES VIRALES (microscope électronique 50,000 à 100,000 fois)	
<u>Agent infectueux</u>	<u>Nom de la maladie</u>
NHI	Nécrose hématoïétique infectieuse
NPI*	Nécrose pancréatique infectieuse
SHV	Septicémie hémorragique virale
B. MALADIES BACTÉRIENNES (microscope optique 400 à 1,000 fois)	
<u>Agent infectueux</u>	<u>Nom de la maladie</u>
<u>Aeromonas hydrophila</u> *	Septicémie
<u>Aeromonas salmonicida</u> *	Furonculoses
<u>Haemophilus</u> *	Maladie des ulcères
<u>Mysobactéries</u> *	Maladie bactérienne des branchies, "columnaris disease", "cold water "disease", "peduncle disease"
<u>Pseudomonas fluorescens</u> *	Septicémie - Entérite
<u>Corynebacterium</u> *	Maladie bactérienne du rein
<u>Mycobacterium</u>	Tuberculose
<u>Nocardia</u>	Lésions granulomateuses chroniques
<u>Streptomyces</u>	Infection généralisée
<u>Vibrio</u>	Vibriose
<u>Yersinia</u>	Maladie de la bouche rouge
C. MALADIES À CHAMPIGNONS ET À ALGUES (microscope optique 40 à 400 fois)	
<u>Agent infectueux</u>	<u>Caractéristiques</u>
Dinoflagellés	En eau salée seulement
Ichthyophonus	Alimentation par poisson marin
Saprolegnia*	Mousse blanche
D. MALADIES PARASITAIRES (microscope optique, loupe, oeil nu)	
1. Protozoaires (microscope)	
<u>Agent infectueux</u>	<u>Caractéristique</u>
<u>Ceratomyxa</u>	Organes internes
<u>Costia</u>	Branchies et peau
<u>Hemmeguya</u>	Muscles et peau
<u>Ichthyophthirius</u> *	Points blancs "Ich"
<u>Myxosoma cerebralis</u>	Tournis (divers organes)
<u>Octomitus</u> ou <u>Hexamita</u>	Intestin et vessie natatoire
<u>Oodinium</u> et <u>Cryptocaryon</u>	Eau salée
<u>Plistophora</u>	Kystes (peau et branchies)
<u>Scyphidia</u>	Peau
<u>Trichodina</u> *	Peau et branchies
2. Métazoaires (loupe, oeil nu)	
<u>Agent infectueux</u>	<u>Caractéristique</u>
<u>Acantocéphales</u>	Intestin
<u>Cestodes</u>	Kystes dans les tissus ou vers dans l'intestin
<u>Crustacés</u>	Externes
<u>Nématodes</u>	Vers ronds internes
Trématodes - monogénétique (un hôte)	
<u>Dactylorhynchus</u> *	Branchies (1 mm)
<u>Diplozoon</u>	Branchies (rare)
<u>Discocotyles</u> *	Branchies (oeil nu)
<u>Gyrodactylus</u>	Peau, branchie, oeil
- digénétique (cycle complexe)	
<u>Cotylurus</u>	Coeur
<u>Cryptocotyle</u>	Point noir (eau salée)
<u>Diphlostomum</u>	Oeil

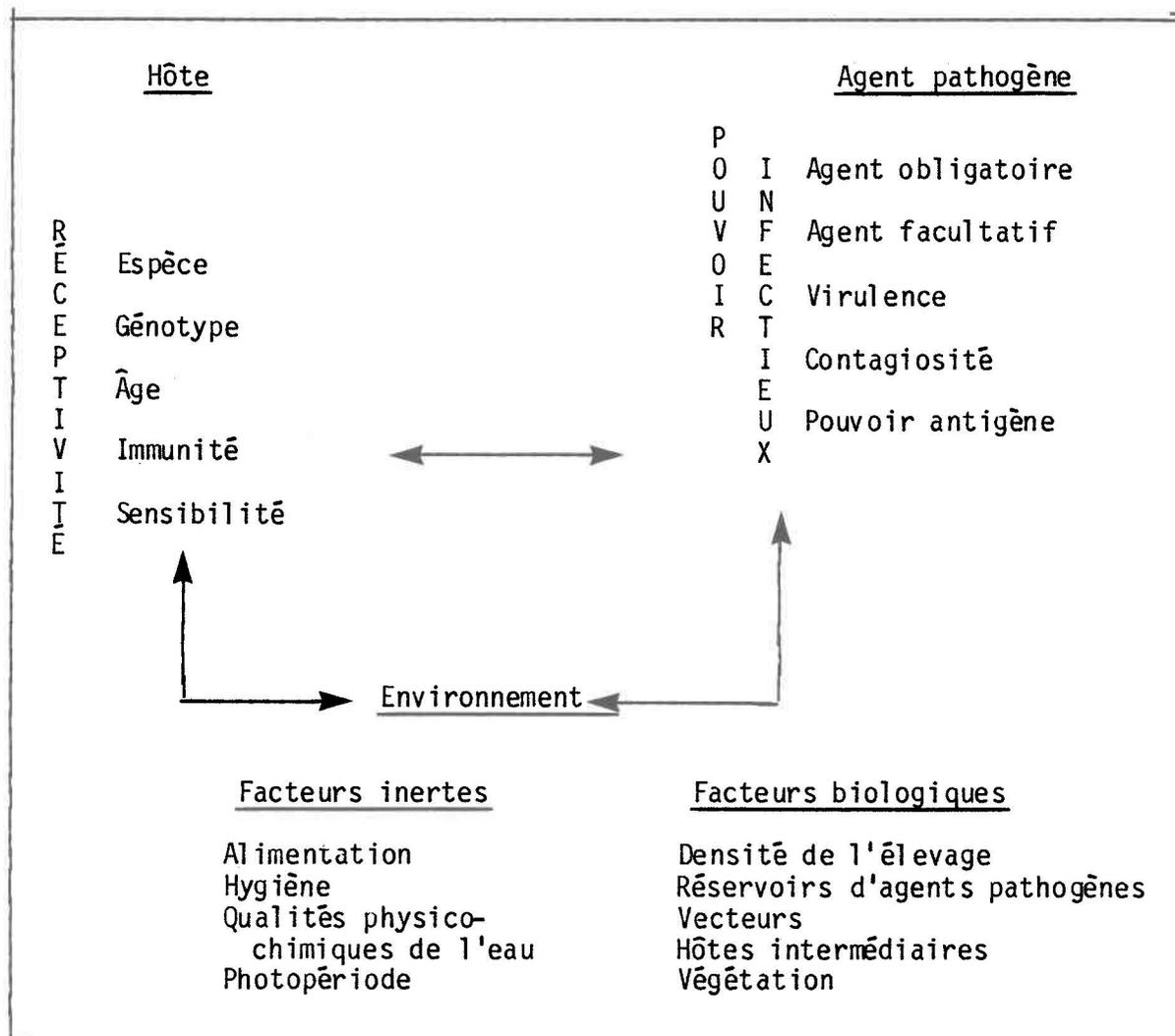
* Maladies diagnostiquées au Québec
(R. Pêloquin, 1981, communication personnelle).

teurs, la sensibilité à une mauvaise qualité de l'environnement et les modifications hématoLOGIQUES (Sarig, 1979). La sévérité d'une infection dépend largement des conditions physiologiques de l'hôte. L'âge, le sexe et l'état général de la santé du poisson, résultat des conditions d'élevage, sont tous des facteurs importants. L'environnement, spécialement dans l'élevage d'ectothermes qui tout au long de leur vie sont plus dépendants de leur milieu que les endothermes, joue un rôle primordial dans l'apparition d'épizooties en élevage intensif. La température, la photopériode, la dureté et le pH de l'eau seraient importants dans le déclenchement, le déroulement et l'aboutissement des maladies infectieuses (Le Bitoux, 1974). Le tableau 3.6 représente les sous-systèmes, hôte, agent pathogène et environnement qui interagissent sur l'équilibre physiopathologique du poisson. L'influence de la température de l'eau sur l'évolution de certaines maladies infectieuses (voir la figure 3.10) est un exemple de l'importance des propriétés du milieu dans le développement d'une pathologie.

3.8.1 Maladies virales

Avec la septicémie hémorragique virale (SHV) et la nécrose hématoPOIÉTIQUE infectieuse (NHI), la nécrose pancréatique infectieuse (NPI) suscitent l'intérêt des ichtyopathologistes et des éleveurs de salmonidés du monde entier. L'IPN fut identifiée pour la première fois en 1940 dans des oeufs incubés de l'est du Canada (Christensen, 1968). Elle fut depuis retrouvée dans la plupart des régions de l'Amérique du nord, de l'Europe et du Japon. C'est une maladie très contagieuse affectant principalement les

TABLEAU 3.6: Facteurs intervenant dans l'équilibre physiopathologique d'un organisme en aquaculture intensive



N.B. L'intervention de l'éleveur peut se faire au niveau de chaque système (techniques d'élevage, thérapeutiques, vaccinations, etc.).
(Adapté de Le Bitoux, 1974).

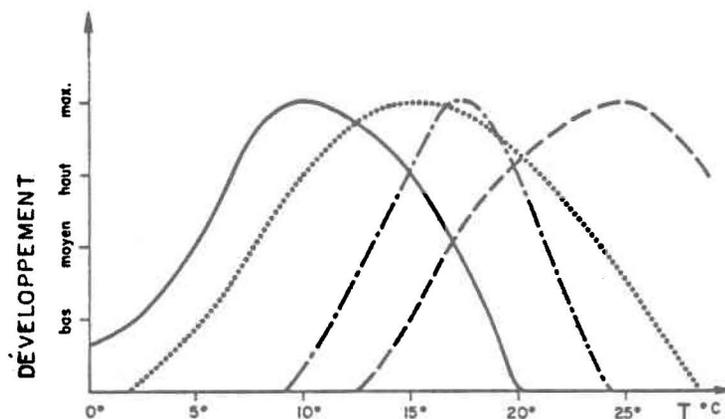


Figure 3.10. Relation entre la vitesse de développement de certaines maladies des salmonidés et la température de l'eau (Tiré de Reichenbach-Klinke H., 1971).

MALADIES REPRÉSENTÉES :

- SEPTICÉMIE HÉMORRAGIQUE VIRALE
- NÉCROSE PANCRÉATIQUE INFECTIEUSE
- · - · - · FURONCULOSE
- NÉVROSE HÉMATOPOÏÉTIQUE INFECTIEUSE

alevins de salmonidés. Elle peut être transmise par les oeufs, la laitance et les fèces (Sarig, 1979). Yamamoto (1974) a déjà établi que la NPI était très fréquente dans les piscicultures d'Alberta. Le virus, qui fut principalement isolé dans les reins des poissons, est rencontré beaucoup plus fréquemment chez l'omble de fontaine que chez la truite arc-en-ciel. Dans les piscicultures québécoises, la NPI est la deuxième cause de mortalité en pisciculture après les accidents mécaniques, électriques ou autres (Hansen et al., 1980). Par ailleurs, la SVH est, tout au moins en Europe, la plus commune et la plus dévastatrice des maladies infectieuses de la truite arc-en-ciel (Ghittino, 1973).

L'examen histologique de poissons atteints par la NPI révèle une nécrose du pancréas et une nécrose cireuse des muscles striés (Christensen, 1968). Les poissons adultes peuvent transporter le virus dans leurs organes internes, particulièrement les gonades, sans aucune manifestation de la maladie (Sarig, 1979). Reno et al. (1978) ont rendu, chez l'omble de fontaine, des individus porteurs du virus pendant au moins une année.

La répression de cette maladie est très difficile car il n'y a pas encore de remède connu qui soit réellement efficace. Le virus de la NPI est très résistant et même une désinfection des eaux par les rayons ultraviolets se révèle inefficace (Maisse et al., 1980). Six méthodes principales sont utilisées dans la prévention et le contrôle des maladies virales (Amend, 1976):

- prévention du contact de l'organisme pathogène avec l'hôte;
- manipulation de l'environnement (élévation de la température);
- immunisation;
- chimiothérapie (iode povidone);
- croisements sélectifs pour résister aux maladies;
- diminution du stress qui rend plus vulnérable aux maladies.

3.8.2 Maladies bactériennes

Bien que cela fasse plus de 80 ans que l'on effectue des recherches sur des maladies bactériennes telles que la furonculose, celles-ci posent toujours des difficultés de détection et de traitement (Snieszko, 1973). Or, parmi les agents pathogènes bactériens, les groupes suivant ont une importance toute particulière: Aeromonas et Pseudomonas, Corynébactérie, Entérobactérie, Haemophylus, Mycobactérie et Nocardia, Myxobactérie, Streptomyces et Vibrio (Sarig, 1979).

Deux groupes particuliers sont à la source d'inquiétudes majeures en pisciculture québécoise: l'Aeromonas salmonicida, cause de la furonculose, et les corynébactéries, causes de la maladie bactérienne du rein. La furonculose est une maladie qui apparaît surtout chez les poissons d'exploitation piscicole. L'omble de fontaine y serait particulièrement sensible alors que la truite arc-en-ciel y serait moins. La bactérie responsable peut être directement transmise par l'eau et par les fèces. Des conditions telles qu'un manque d'oxygène, une alimentation défectueuse ou des bassins

surpeuplés favoriseraient le développement de la maladie. Les poissons affectés peuvent être atteints de rougeurs dans le canal intestinal, d'œdème diffus sur le péritoine, d'hémorragies de la vessie natatoire ou encore d'abcès sur la rate (Christensen, 1968). Les bactéries A. salmonicida et A. hydrophila sont la cause de mortalités dont le nombre varie selon la température du milieu. Ainsi, sous une température de 9,4°C, il n'y aurait pas de mortalité attribuable à A. hydrophila. Par ailleurs, c'est à des températures élevées (20,5°C) que la truite steelhead, le saumon coho et le saumon chinook meurent le plus rapidement de la septicémie et de la furonculose (Groberg et al., 1978).

La bactérie A. salmonicida, n'ayant été isolée que dans les eaux contenant des poissons, fut longtemps considérée comme étant un parasite obligatoire. Or, Dubois-Darnaudpeys (1977) découvrit que cette bactérie pouvait survivre et se reproduire, sans la présence de poissons, au delà d'une soixantaine de jours dans une eau où le pH, la température et la minéralisation étaient appropriés.

Pour sa part, la maladie bactérienne du rein (Bacterial Kidney Disease) fut diagnostiquée pour la première fois au Québec en 1979. C'est une maladie qui affecte tout aussi bien les truites brunes et les truites arc-en-ciel que l'omble de fontaine. Cette dernière espèce serait cependant plus sensible à la bactérie et elle développerait plus rapidement les symptômes et lésions caractéristiques de la maladie (Péloquin, 1979; Mitchum et Sherman, 1981). Quoique le diagnostic de cette infection soit difficile et

que le mode de transmission ne soit pas clairement établi (Sarig, 1979), des facteurs tels que la perte d'appétit, l'exophtalmie (gros yeux) et la présence d'un gros ventre chez les alevins, des reins gonflés et grisâtres ainsi que des mortalités régulières en pisciculture seraient des symptômes

Les moyens de prévention et de contrôle des maladies bactériennes peuvent être regroupés en trois catégories. Premièrement, on peut agir au niveau de l'accroissement de la résistance naturelle des poissons par sélection génétique (Moav, 1979) ou par immunisation (Dorson, 1972). Deuxièmement, on peut apporter certaines modifications à l'environnement en réduisant la matière en suspension, par l'entreuse de filtre (Gérard et Tiret, 1974,) et en maintenant les installations propres en les désinfectant par des méthodes physiques (chaleur) ou chimiques (chlore, solutions d'ammonium, chaux vive, soude, etc.) (De Kinkelin et Gérard, 1972; Gérard, 1974). En troisième lieu, on peut faire usage d'antibiotiques (substances antimicrobiennes d'origine biologique), notamment les tétracyclines et les furanes (Michel, 1978; Brown et Gratzek, 1980), ou d'autres produits chimiques à valeur thérapeutique comme la flumeguïne qui sert à lutter contre la furonculose (Michel et al., 1980).

Au Québec, des recherches conduites à l'institut de médecine vétérinaire de St-Hyacinthe visent à différencier les souches de germes virulents de germes non virulents chez le poisson. Les chercheurs de l'institut travaillent également à vérifier l'influence du stress sur le développement des maladies bactériennes chez les poissons. Ils tentent aussi d'acquérir

une meilleure connaissance de la réponse immunitaire des poissons soumis à une vaccination et vivant dans différentes conditions physico-chimiques (R. Lallier, 1981, communication personnelle).

3.8.3 Maladies reliées à des champignons, algues et parasites

Deuis plusieurs années de nombreux auteurs, tels Lagler (1956), Christensen (1968), Amlacher (1970), Hoffman (1970), Mawdesley-Thomas (1972), Roberts (1978), Brown et Gratzek (1980) ont rassemblé de multiples informations concernant des problèmes d'infestations des poissons en eau douce. Différentes méthodes de traitements des maladies reliées aux champignons, algues, protozoaires, vers, etc. y sont d'ailleurs bien décrites.

Au Canada, les chercheurs Margolis et Arthur (1979) ont rassemblé bon nombre de renseignements publiés sur les parasites des poissons au Canada. Ainsi, protozoaire, myxosporidie, turbellarié, trématode, cestode, copépode, etc. peuvent venir parasiter les poissons en milieu naturel. Dans les piscicultures québécoises, bien que reconnaissant la présence de certains de ces agents infectieux (voir le tableau 3.5), il n'y aurait actuellement pas de problèmes majeurs ayant trait au parasitisme chez les poissons d'élevage (R. Lallier, 1981, communication personnelle).

3.9 Recherches et manipulations biologiques

Outre le contrôle des éléments de nature physico-chimique, pathologique et nutritionnel, l'optimisation de l'industrie piscicole se réalise

également par le biais de recherches portant sur nombre d'autres facteurs biologiques. Le système neuroendocrinien en est un exemple type. En effet, on est à ce jour en mesure de modifier la croissance et la maturation sexuelle des poissons, en manipulant la photopériode ainsi que certaines conditions environnementales (température, salinité) et en utilisant des hormones stéroïdes (Poston, 1978). Au cours de la production de truite de consommation, la suppression de la maturation sexuelle et de la croissance des gonades présente l'avantage d'économiser de l'énergie. La maturité sexuelle, atteinte à un âge précoce ou chez des individus de petite taille, est un grave inconvénient pour la production de gros individus car elle retarde la croissance du poisson. De plus, certains pisciculteurs affirment qu'elle provoque une mortalité accrue chez la truite arc-en-ciel (Moller et al., 1979). Les hormones, en plus de pouvoir stimuler l'appétit et contrôler la reproduction des poissons, peuvent encore augmenter l'efficacité de transformation des matières nutritives en chair comestible (Bardach, 1978; Payne, 1979; Stabell et Rofstie, 1980).

L'étude comportementale des poissons révèle que tout ce qui peut être perçu par les organes des sens peut influencer le comportement voir la croissance (Prévost, 1952). Des recherches effectuées en Allemagne auraient par ailleurs démontré que la couleur noire, du fond et des bassins d'élevage, serait préférable à la couleur bleue qui exciterait des poissons tels que le huchon (Hucho hucho) et la truite fario (Salmo trutta) ainsi qu'à la couleur verte qui entraînerait la prolifération d'algues (Gillet et al., 1977). Le comportement social intraspécifique (effet de dominance et de

subordination) conduirait à des conséquences importantes sur la croissance de chaque individu élevé (Noakes, 1978).

En ce qui concerne l'amélioration génétique des espèces, il faut souligner que des recherches conduites jusqu'à présent à travers le monde offrent des perspectives extrêmement intéressantes. Des généticiens norvégiens auraient obtenu, par la sélection répétitive de poissons, des augmentations du taux de croissance allant de 10 à 20% de celui du taux habituel (Parker, 1979). Pour Moav (1979), la réussite de la pisciculture moderne dépend fortement de la sélection en vue d'une adaptation spécifique des poissons aux nouvelles conditions imposées par l'élevage. Moav (op. cit.) énumère quelques-unes des techniques de sélection offrant le plus de promesses, soient: l'hybridation visant à tirer bénéfice de l'hétérosis, la prospection et l'essai de nouveaux stocks génétiques sauvages ainsi que l'hybridation interspécifique visant à produire des lignées monohybrides et stériles. Parce que les organismes aquatiques sont des ectothermes, i.e. qu'ils ne possèdent pas le système homéostatique des mammifères ou des oiseaux, Wilkins (1981) rappelle la nécessité d'autant plus grande de réaliser des études génétiques sur des espèces soumises aux grandes variations environnementales imposées par les systèmes intensifs et extensifs de culture. Il faut aussi souligner les énormes possibilités offertes par les récentes techniques du génie génétique et du dosage, dans la production de poissons dont on aurait sélectionné certains caractères favorables (Rossion, 1981).

CHAPITRE 4

ASPECTS TECHNIQUES ET ÉCONOMIQUES DE LA RECHERCHE TRUITTICOLE

Chapitre 4

Aspects techniques et économiques de la recherche truiticole

4.1 Contexte du chapitre

Le développement piscicole, tant à l'échelle internationale que québécoise, n'en est encore qu'à ses premières balbutiements en matière de techniques permettant d'optimiser la production et la mise en valeur de cette ressource. Malgré cela, plusieurs réalisations et travaux importants ont vu le jour au cours des dernières décennies. Il suffit de mentionner des sujets tels l'énergie solaire, le recyclage de l'eau, l'élevage en silo, la création de coopératives, etc. pour réaliser toute la diversité des aspects qu'il est important d'introduire. Ce chapitre se propose donc d'être, en quelque sorte, un indicateur des recherches ayant trait aux dimensions techniques et économiques de la production de truite de consommation. Ces quelques paragraphes présentent aussi des informations pratiques et pertinentes à qui veut bien devenir producteur de truites de consommation.

4.2 Schéma de production

D'après Chevalier (1976), on reconnaît généralement que le schéma classique de production d'une station piscicole se ramène essentiellement à ce qui suit¹. Les oeufs prélevés chez la femelle sont mélangés avec la

¹ Il faut se référer à l'annexe 3 pour prendre connaissance des termes utilisés dans la désignation des différents stades de développement des oeufs et des poissons produits en pisciculture.

laitance du mâle; en culture extensive, on place simplement le mâle en présence de la femelle dans un milieu où la fécondation se produit sans autre intervention humaine. Au stade de l'embryon, l'oeuf peut être manipulé et transporté. Par la suite, l'alevin de 2,5 à 4,0 cm peut être utilisé pour le repeuplement. Au stade de fretin (taille d'environ 5,0 cm), les truitelles peuvent alors autant servir à la pisciculture d'alimentation qu'au repeuplement des cours d'eau et des lacs. Les individus ayant atteint l'âge d'un an sont, soit exportés, soit utilisés pour le repeuplement ou encore gardés jusqu'à une taille de truite-portion (poids d'environ 250 g) pour être consommés. C'est aussi à cette taille que certains individus sont sélectionnés pour devenir géniteurs.

4.3 Les méthodes de production

Au Canada, il y a trois espèces de truites qui font particulièrement l'objet de recherches pour la production piscicole (Ayles et Brett, 1978):

- **la truite arc-en-ciel**; l'espèce la plus populaire au pays;
- **la truite mouchetée ou omble de fontaine**; dans l'est du Canada, la production de l'Ombles de fontaine rivalise avec celle de la truite arc-en-ciel;
- **la truite grise**; espèce principalement cultivée pour la pêche sportive.

Ces trois types de salmonidés peuvent être élevés grâce à différentes méthodes dont les plus importantes sont: l'élevage en étang, en marmites (pototholes), en bassin, en silo et en cage ou en enclos.

4.3.1 Élevage en étang

Particulièrement populaire au pays au cours de la dernière décennie, le mode d'élevage en étang est surtout utilisé à des fins récréatives plutôt que commerciales (Pritchard, 1978). La création d'étangs de ferme au Québec fut essentiellement popularisée d'une façon artisanale. Séguin (1972) en décrit ainsi les utilisations:

"L'étang de pêche artificiel embellit la propriété et en augmente la valeur. La petite nappe d'eau ainsi créée peut également être aménagée en fonction du gibier ou de la récréation. Elle peut servir de réservoir d'eau pour combattre les incendies, abreuver le bétail ou irriguer les terres".

De plus, selon leurs rôles, les étangs peuvent se voir attribuer différentes appellations (Brown et Gratzek, 1980):

- étang de maintien (Holding Pond):

habituellement de 0,40 hectare (1 acre) ou moins, c'est le type d'étang où l'on conserve les géniteurs;

- étang de fraie (Spawning Pond):

étang où les géniteurs sont rassemblés pour frayer;

- étang d'élevage (Rearing Pond):

étang où les alevins sont placés pour y croître jusqu'à la taille de juvénile (fingerling) désirée;

- étang de croissance (Growing Pond):

étang où les poissons croîtront jusqu'à une taille suffisante pour être consommés (truite-portion, environ 250 g);

- étang de pêche (Catch-Out Pond):

étang où les poissons sont introduits ou élevés pour être par la suite capturés par des pêcheurs sportifs.

La construction d'un étang artificiel pose des exigences bien spécifiques au niveau de la nature du sol ainsi que de la quantité et de la qualité de l'eau disponible (Paulhus, 1972; Séguin, 1972; Ryder, s.d.).

4.3.2 Élevage dans les "marmites" des prairies

Les prairies canadiennes recèlent de milliers de petits lacs peu profonds, hautement productifs mais où la truite ne peut vivre en hiver; en effet, à cause du couvert de glace, ces lacs productifs sont soumis à une forte diminution d'oxygène. Pourtant, ces lacs très riches en nourriture (crevettes d'eau douce) peuvent procurer des conditions favorables à l'élevage de truites de consommation (Ayles, 1973; Lawler et al., 1974). La méthode d'élevage consiste à introduire dans les lacs, au printemps, de la truite arc-en-ciel de 2 à 6 g pour par la suite la recueillir, à l'automne, avec un poids de plus de 200 g; soit l'équivalent d'une taille commerciale. Suite au succès connu par cette méthode d'élevage, le nombre de fermes piscicoles des prairies a augmenté de 283 en 1970 à près de 400 en 1975 (Ayles, 1977).

4.3.3 Élevage en bassin

Selon leurs dimensions, leur forme et leur fonction, les bassins sont appelés auge, bassin d'alevinage, caniveaux (raceway) ou vivier, bassin circulaire, etc. (voir l'annexe 3).

La pisciculture en vivier est actuellement le mode d'élevage intensif le plus populaire chez les pisciculteurs commerciaux. Le vivier peut être construit en terre, béton, brique ou en tout autre matériel durable et non toxique. Les dimensions et la forme (souvent rectangulaire) varient

beaucoup d'une exploitation à l'autre. Ce type d'élevage intensif exige un taux de renouvellement élevé ainsi que le maintien d'une bonne qualité de l'eau d'approvisionnement. Ces installations possèdent le désavantage d'exiger des investissements initiaux élevés (Brown et Gratzek, 1980).

4.3.4 Élevage en silo

Conçue au début des années 70, cette nouvelle méthode de culture intensive fut rapidement adoptée et développée par les américains. Généralement de forme circulaire, le silo est fabriqué soit en béton, en acier ou en fibre de verre. Ces structures varient entre 1 à 10 m de diamètre et elles possèdent des hauteurs variables (Brown et Gratzek, 1980). Aux États-Unis, Moody et McClesky (1978) ont comparé l'efficacité des silos et des viviers horizontaux lors de l'élevage de truites arc-en-ciel. Bien que requérant plus de nourriture, les truites croissaient plus rapidement en silo. Les silos maintenaient un environnement de qualité supérieure aux viviers et leur utilisation réduisait les coûts d'opération, par le simple fait du peu d'entretien requis. En plus d'avoir réussi un certain recyclage de l'eau de ces installations, rappelons que certains pisciculteurs américains auraient obtenu une production inégalée de 6 500 000 kg/ha de truites arc-en-ciel dans de tels systèmes (Ackefors et Rosen, 1979).

4.3.5 Élevage en cage ou en enclos

Coche (1978) décrit ainsi l'élevage en cage et en enclos :

"L'élevage en cage ou en enclos consiste à élever un groupe de poissons, en général, depuis le stade juvénile jusqu'à la taille commerciale, dans un volume d'eau enclos de tous côtés, tout en permettant la libre circulation de l'eau, à travers la "cage" ainsi matérialisée".

Selon Coche (op. cit.) cette méthode d'élevage piscicole, originaire d'Extrême-Orient, fut graduellement adoptée et développée aux États-Unis et en Europe. Les cages employées en pisciculture sont de plusieurs types: cages émergentes, reposant sur le fond et occupant toute la colonne d'eau, cages flottantes à la surface ou cages submergées flottant entre deux eaux ou reposant sur le fond. En ce qui a trait aux enclos, ceux-ci peuvent être situés en milieu marin tant au niveau intercotidal qu'au niveau sublittoral.

Plusieurs travaux ont été réalisés sur la sélection des meilleurs sites et sur la conception physique des cages et enclos (Milne, 1979; Moller, 1979). Au Canada, Jamieson (1980) a pour sa part démontré la faisabilité biologique de la méthode d'élevage en cage pour produire des truites arc-en-ciel, jusqu'à une taille commercialisable, à l'intérieur d'une période de croissance de six mois dans un habitat d'eau saumâtre. Concernant l'omble de fontaine, Sutterlin et al. (1976) ont vérifié ses possibilités d'élevage en eau salée. L'utilisation de cages peut aussi être adoptée en eau douce; c'est ce que les travaux de Whitaker et Martin (1974) démontrèrent avec l'élevage de truites arc-en-ciel dans des lacs précambriens du Manitoba.

En ce qui a trait à la rentabilité économique de ces installations, Collins et Delmendo (1979), grâce à l'élevage intensif de poisson chat (Ictalurus punctatus) dans différents types d'installations (caniveaux, cages, enclos), soulignent que ce sont les caniveaux qui exigent les plus importants investissements et les cages les plus faibles. Ils rapportent que l'élevage en enclos exige la main d'oeuvre la plus importante. Ils ont observé un coût de production, par kilo de poisson chat, presque similaire pour l'élevage en cages, en caniveaux ou en enclos et ce en tenant compte de deux récoltes par année.

4.4 Capacité de production d'une pisciculture en vivier

Afin de déterminer la rentabilité d'une opération piscicole intensive, il est nécessaire de connaître le potentiel de production de l'installation. Les performances d'une pisciculture s'expriment généralement en poids de poissons produit par unité de volume de bassin (kg/m^3) et en poids de poissons produit par unité de débit ($\text{kg}/\text{l}/\text{min}$). Par ailleurs, la capacité de production annuelle d'une station piscicole est fonction de la capacité de support de l'installation, du taux de croissance des individus et de la durée de la saison de croissance (Aquafarms Canada Ltd, 1977).

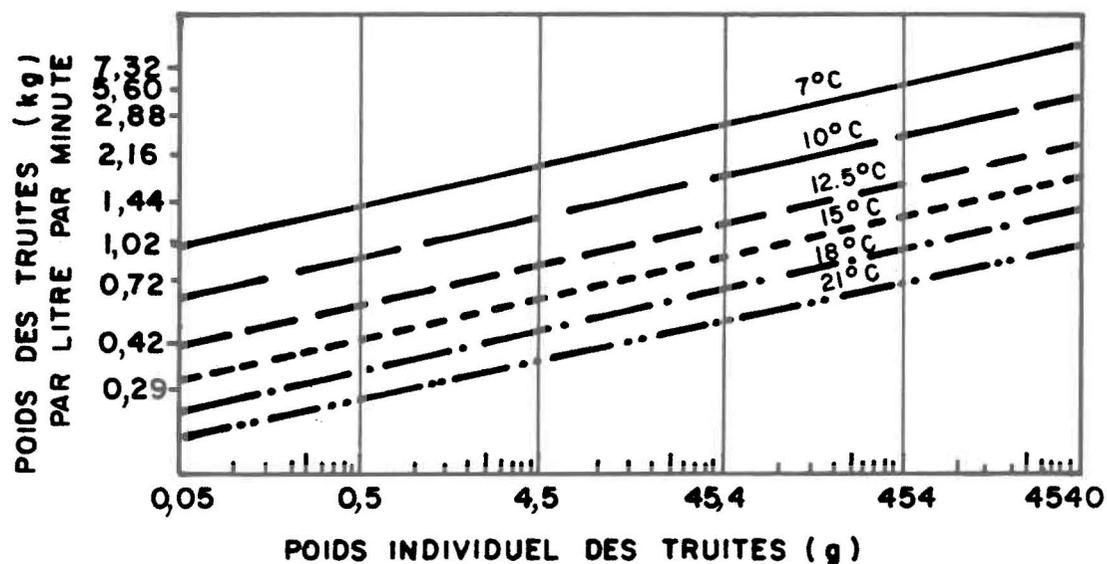
4.4.1 Capacité de support

La capacité de support est utilisée pour indiquer la biomasse de poissons pouvant être maintenue dans un bassin dans des conditions optimales

de croissance. La densité optimale de poissons, dans le cas où la production est l'objectif principal, est celle, où le gain de production permis par la charge du bassin, est financièrement la plus avantageuse. Deux facteurs importants déterminent fondamentalement cette capacité de support, ce sont: la capacité de charge et la densité d'occupation. Par ailleurs, l'un ou l'autre de ces facteurs peut limiter la capacité de support à différents stades de la production (Aquafarms Canada, 1977).

4.4.1.1 Capacité de charge ou charge-débit

La capacité de charge réfère au débit d'eau requis pour maintenir une quantité de poisson (kg/l/min). Le débit d'eau nécessaire, à l'élevage d'une quantité donnée de poissons, s'estime à partir de la quantité d'oxygène requis pour l'élevage de ceux-ci. En règle générale, le taux d'oxygène consommé par unité de poids des poissons est proportionnel à la température de l'eau et inversement proportionnel à la taille de l'animal. La figure 4.1, adaptée des travaux de Liao (1971), indique la capacité de charge approximative pour des truites de différentes tailles vivant à différentes températures. Westers et Pratt (1977) ont eux aussi déterminé une capacité de charge pour l'élevage de la truite en pisciculture (voir le tableau 4.1).



N.B. POUR UNE ÉLÉVATION DE 290 MÈTRES AU DESSUS DU NIVEAU DE LA MER, AVEC UNE SATURATION D'OXYGÈNE DISSOUS DE 95 POURCENT, LE CONTENU MINIMUM EN OXYGÈNE EST DE 5,0 MILIGRAMMES OU PLUS PAR LITRE D'EAU.

Figure 4.1 . Capacité de charge de la truite soumise à différentes températures (Adapté de Liao , 1971).

Tableau 4.1: Capacité de charge pour truites de 10 cm

température °C	Poids de poissons de 10 cm* par litre d'eau par minute (kg/l/min)
10	1,33
11	1,16
12	1,01
13	0,89
14	0,80
15	0,71
16	0,64
17	0,56
18	0,51
19	0,47
20	0,42

Les résultats mentionnés supposent une augmentation constante du taux de croissance des truites avec la température de l'eau. Le degré de saturation de l'eau en oxygène est de 90%.

- * Pour obtenir la capacité de charge pour des truites de différentes tailles, il suffit de multiplier la valeur du tableau par la longueur du poisson considéré, puis de diviser le résultat par 10.
(Adapté de Westers et Pratt, 1977).

4.4.1.2 Densité d'occupation ou charge-volume

L'élevage des poissons requiert non seulement un certain débit d'eau, mais il nécessite aussi un minimum d'espace permettant aux poissons de croître de façon optimale. Cet espace minimal varie selon la taille des poissons en croissance. Ainsi, la densité d'occupation se définit comme étant la quantité de poisson pouvant co-exister et croître à un taux optimum dans un volume d'eau donnée (Kg/m^3). De nombreux travaux portant sur l'optimisation de la densité d'occupation en fonction de la production font état de cette importante question (Larmoyeux et al., 1973; Brauhn et al., 1976; Kincaid et al., 1976; Aquafarms Canada, 1977; Westers et Pratt, 1977). La figure 4.2 propose des normes de densité d'occupation acceptable pour l'élevage de la truite.

4.4.1.3 Renouvellement de l'eau

La planification d'une installation piscicole doit prévoir un équilibre entre sa capacité de charge et sa densité d'occupation. Le taux de renouvellement de l'eau d'un bassin permet d'intégrer ces deux facteurs à la capacité de support du milieu d'élevage. Une prise en compte des valeurs présentées dans les figures 4.1 et 4.2 procure des données définissant le renouvellement de l'eau nécessaire à l'élevage de truites. Le taux de renouvellement de l'eau s'applique indépendamment de la taille des installations considérées (voir la figure 4.3).

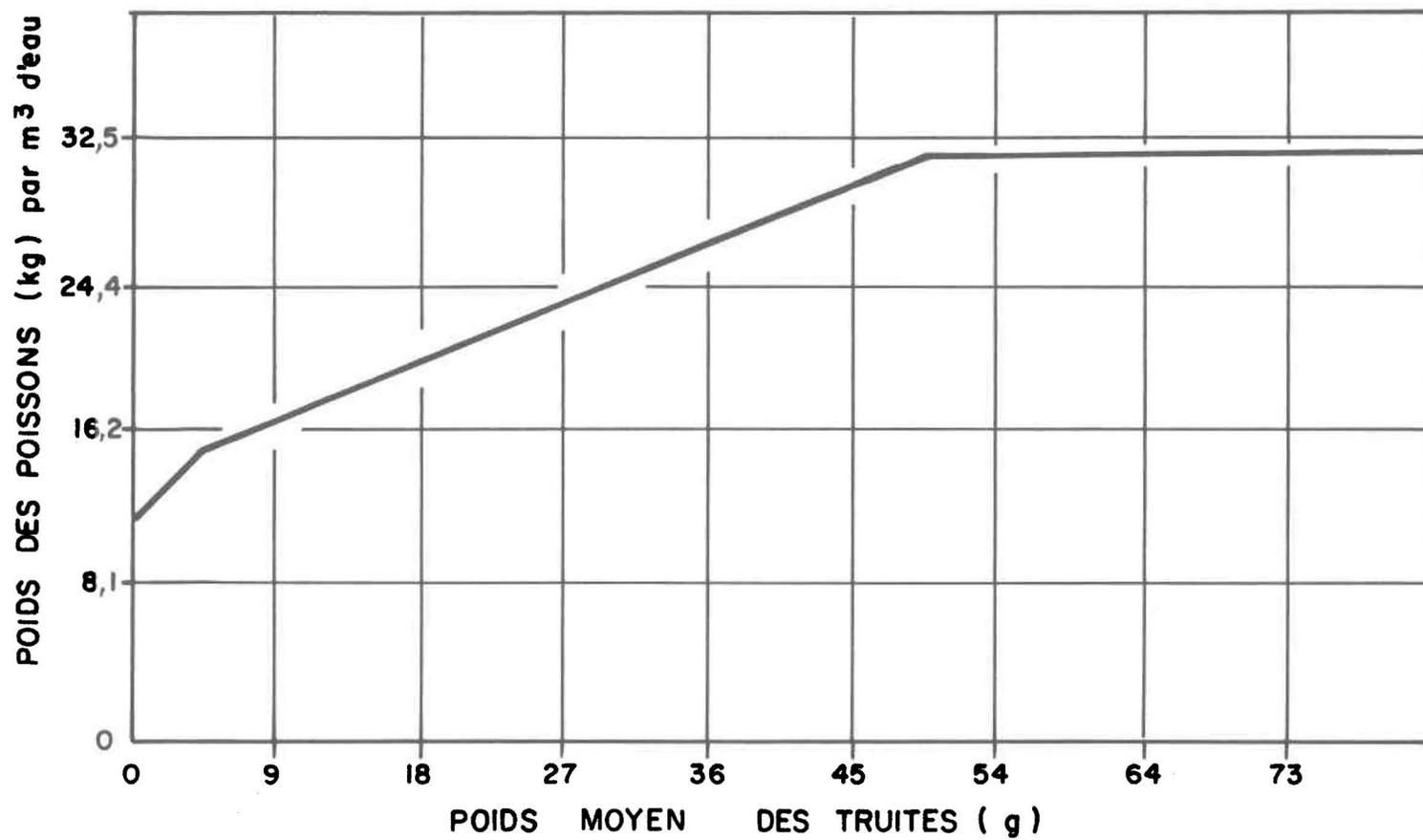


Figure 4.2 . Densité d'occupation acceptable chez la truite (Adapté de Aquafarms Canada , 1977) .

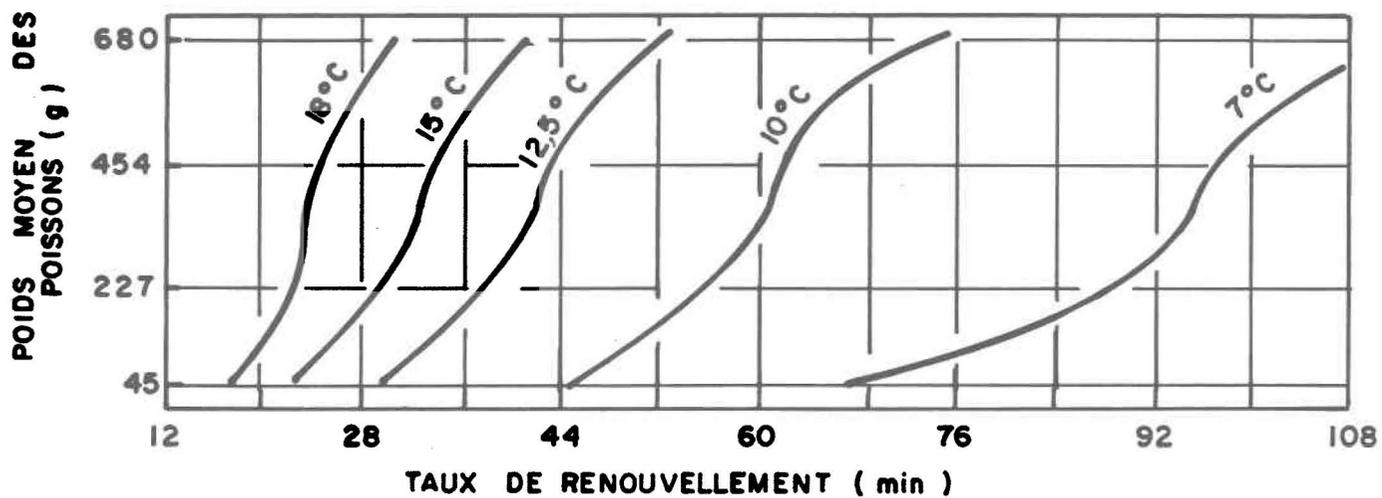


Figure 4.3. Taux de renouvellement de l'eau d'un bassin suivant une capacité de support basée sur une densité d'occupation maximale (Tiré de *Aquafarms Canada*, 1977).

Westers et Pratt (1977) ont travaillé à l'établissement de densités d'occupation de bassins, pour des salmonidés, en tenant compte de la capacité de charge du milieu (fonction de la température et de la taille des poissons) et du débit d'eau disponible. Ils utilisèrent la formule élaborée par Westers (1970):

$$D = (R / 0,06) \times CC$$

où

D = densité d'occupation (Kg/m³)

R = nombre de fois où l'eau se renouvelle en 60 minutes

CC= capacité de charge (Kg/l/min) (voir le tableau 4.1).

Le choix du taux de renouvellement de l'eau est extrêmement important dans la conception d'un bassin d'élevage puisqu'il dicte la grandeur des bassins requis pour l'obtention de la production recherchée en fonction du débit d'eau disponible. Ainsi, l'espace d'élevage requis sera d'autant plus faible (donc coûts moins élevés) que le taux de renouvellement de l'eau est élevé. À ce sujet, Aquafarms Canada (1977) considère comme adéquat un taux de renouvellement des eaux d'une fois à toutes les 30 minutes, alors que Westers et Pratt (1977) recommandent pour leur part un changement d'eau à toutes les 15 minutes (voir la figure 4.4). Ajoutons que d'autres méthodes de calcul de la charge et de la densité des poissons ont aussi été proposées par différents chercheurs (voir Petit, 1981).

- ①= AVEC UN TEMPS DE RENOUVELLEMENT DE L'EAU DE 15 min.
 ②= AVEC UN TEMPS DE RENOUVELLEMENT DE L'EAU DE 30 min.

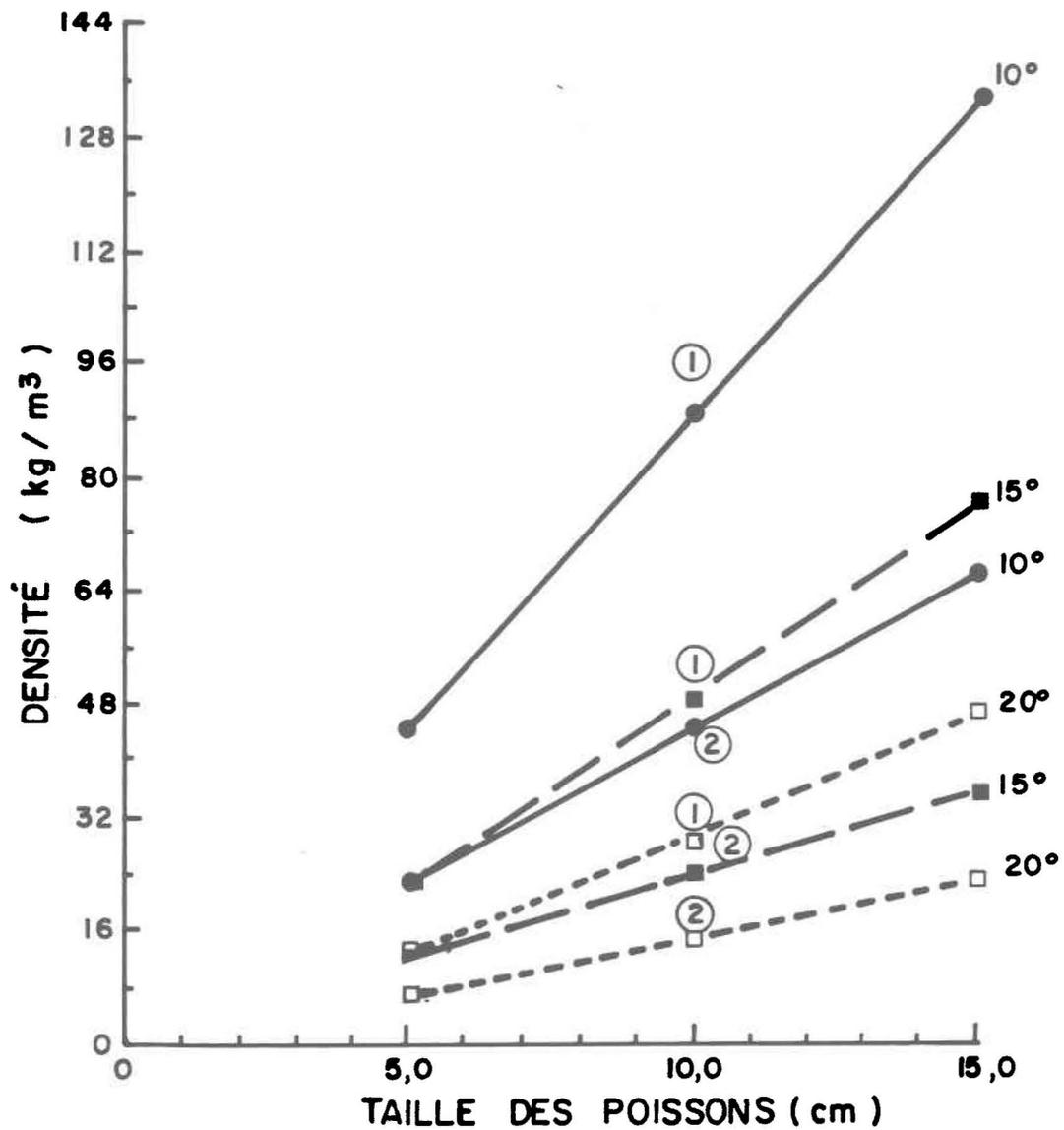


Figure 4.4. Densité de salmonidés dans un vivier en fonction de leur taille (Adapté de Westers et Pratt, 1977).

4.4.2 Taux de croissance

Plusieurs auteurs dont Ursin (1979) et Ricker (1979) font état de nombreux modèles mathématiques servant à prédire les taux de croissance des poissons en milieu naturel. Iwana et Tautz (1981) ont de leur côté élaboré un modèle de croissance pour salmonidés d'élevage:

$$W_t^{0,33} = W_0^{0,33} + (T_m/1000)t \quad (4.2)$$

où

W_t = le poids au temps t (g)

W_0 = le poids initial (g)

T_m = la température moyenne ($^{\circ}\text{C}$)

t = le temps en jours

Ce modèle permet de calculer le poids final (connaissant t et T_m) ou encore le temps ou la température requis afin d'atteindre un poids donné. Prenons l'exemple d'une truiticulture ayant au départ des poissons d'un poids moyen de 5 g. On peut calculer le poids moyen final après 100 jours d'élevage pour des températures quotidiennes variant de la façon suivante: 32 jours à 10°C ; 45 jours à 13°C ; 17 jours à 8°C et 6 jours à 6°C .

La température moyenne T_m est donc:

$$\frac{= 32(10) + 45(13) + 17(8) + 6(6)}{100} = 10,8^{\circ}\text{C}$$

Le poids final W_t est:

$$W_t = (W_0^{0,33} + \left(\frac{T_m}{1000}\right) t)^3 = [1,71 + 0,0108 (100)]^3 = 21,72g$$

Si l'on veut connaître le temps requis afin d'obtenir une production désignée, l'équation 4.2 deviendra alors:

$$t = \frac{W_t^{0,33} - W_0^{0,33}}{\left(\frac{T_m}{1000}\right)} \quad (4.3)$$

On peut aussi calculer la température moyenne nécessaire à l'obtention d'une certaine quantité de poissons dans un temps donné:

$$T_m = \frac{W_t^{0,33} - W_0^{0,33}}{t} \times 1000 \quad (4.4)$$

4.4.3 Saison de croissance

La saison de croissance est essentiellement limitée par les baisses de température des eaux d'approvisionnement. Aussi existe-t'il certains avantages à utiliser, en hiver particulièrement, un apport d'eau souterraine. Généralement plus riches en sels dissous que les eaux de surface, les eaux souterraines ne contiennent normalement pas d'organismes pathogènes et la régularité relative de leur température en font une source d'approvisionnement potentielle fort intéressante. Mais, l'utilisation d'eau souterraine

comme seule source d'approvisionnement présente le désavantage de fournir une eau, dont la température généralement froide, ne favorise pas une pleine croissance des poissons. Il est à souligner que des températures annuelles moyennes de l'ordre de 4 à 7°C ou encore une eau se maintenant sous 9°C durant la saison de croissance ne permettent pas de rentabiliser un élevage de truite (Blum, 1979). L'eau de surface, pour sa part, possédant souvent l'avantage d'être bien oxygénée, aurait cependant les désavantages d'être plus susceptible aux activités polluantes du milieu ainsi qu'à être soumise à des variations importantes de températures. Le système idéal d'alimentation d'eau pour une station piscicole devrait tenter de tirer un profit maximum des avantages des deux sources possible d'approvisionnement. Ainsi, une telle combinaison, renforcie de dispositifs favorisant l'aération et le réchauffement de l'eau, permettrait un meilleur contrôle tant sur la qualité physico-chimique (T° et O₂) que sur la durée de la saison de croissance des poissons.

4.4.4 Capacité de production

Conséquemment à tout ce qui fut élaboré précédemment, la capacité de production annuelle d'une pisciculture peut être estimée par la formule (Aquafarms Canada, 1977):

$$CP = CS \times PO \times N \times PC \quad (4.5)$$

où

- CP = la capacité de production annuelle
- CS = la capacité de support
- PO = le pourcentage de la capacité de support occupé
- N = la durée de la saison de croissance en mois
- PC = le pourcentage moyen de croissance de la biomasse anticipé
par mois

4.5 Économie et mise en marché

La rentabilité demeure le critère majeur sur lequel doit être fondé le développement piscicole d'une région. Pour évaluer la rentabilité d'opérations piscicoles et prendre des décisions touchant les entreprises concernées, Berge (1979) suggère de réaliser des enquêtes économiques en trois étapes:

- une étude d'ensemble de l'industrie piscicole;
- un examen détaillé d'échantillons de stations piscicoles;
- une étude de stations pilotes.

La première étape requiert peu de connaissances préalables. Elle nécessite surtout l'examen de statistiques concernant: le nombre d'entreprises existantes, leur localisation, leur type de production, leur volume de ventes ainsi que le travail et les investissements requis par ce genre d'entreprise. L'examen de stations échantillons doit être réalisé avec l'aide de pisciculteurs ou d'autres personnes possédant de bonnes connaissances en

pisciculture. Les investigations peuvent porter sur l'analyse détaillée des investissements et des coûts de production, la connaissance de facteurs clés concernant les investissements (la production, la rentabilité, etc.), l'analyse des ventes et des marchés, les relations biologiques et technologiques de l'élevage tel que les matériaux de construction, les quantités et qualités de l'eau requises, la forme des bassins, l'alimentation, etc. Concernant l'importance des stations pilotes, celles-ci peuvent servir à l'obtention de multiples données techniques essentielles au développement et à la coordination des activités piscicoles. Mentionnons aussi tout le travail qu'il y a à faire concernant l'évaluation de machineries et de nouvelles techniques de production servant à diminuer les coûts actuels d'investissements et de production.

4.5.1 L'intégration verticale

L'intégration verticale de la pisciculture consiste à s'occuper du contrôle de l'ensemble des opérations englobant l'élevage tout entier jusqu'aux formes de commercialisation les plus avancées (exportations). Pour Briggs (1979), il existe de nombreux avantages à accroître l'intégration verticale en pisciculture, soient: la valorisation de la recherche et le développement de la technologie, la stimulation de gros investissements, le recours à une structure spécialisée et la mise au point ainsi que la commercialisation des produits. De plus, une telle intégration atténue souvent l'influence des fluctuations dues aux cycles économiques et améliore la qualité du produit à tous les stades.

L'intégration verticale ne se justifie que si elle permet d'accroître l'efficacité de l'industrie piscicole. L'intégration fait intervenir quatre séries d'opérations: les fournitures de matériel et de services, la pisciculture proprement dite (à savoir reproduction et élevage), puis la transformation, la distribution et enfin la commercialisation (Crackwell, 1979). Crackwell soutient que:

Les forces qui poussent à l'intégration sont plus vigoureuses dans le domaine de la pisciculture que dans tout autre forme d'élevage, et des entreprises intégrées se créeront dans de nombreuses branches de l'industrie".

Selon Briggs (1979) une telle intégration est généralement associée à de vastes unités économiques, à de grandes productions, à des marchés et à des profits importants. C'est ainsi que quoique les petites entreprises pourront toujours survivre, les grandes sociétés multinationales, dont les ventes sont énormes, joueront un rôle déterminant dans cette industrie. Les Américains ont un climat social et économique favorisant l'expansion constante de cette intégration. L'exemple des géants producteurs de saumons Union Carbide et Weyerhaeuser qui ont investi approximativement 40 millions de dollars américains dans cette industrie en 1978, ainsi que des possessions du gouvernement américain représentant quelque 100 fermes d'élevage à saumon destinées à palier à la diminution des stocks naturels, sont de bons indicateurs de la capacité de l'entreprise privée américaine et de son gouvernement (Cronin, 1978).

4.5.2 Situation de la production québécoise

À l'heure actuelle, la production de truite de consommation par les pisciculteurs québécois ne représente pas 60% du potentiel du marché de la province. Ce dernier serait évalué à 600 tonnes métriques par année. Les américains ainsi que les japonais sont pour leur part nos deux plus grands fournisseurs extérieurs (Syndicat des pisciculteurs du Québec, 1981).

Les principaux problèmes et défis à relever concernant la mise en marché de la truite de consommation au Québec peuvent être regroupés dans les trois points qui suivent:

- les coûts de production onéreux conduisent souvent à des prix non concurrentiels par rapport au même produit importé;
- la régularité d'approvisionnement demeure une difficulté majeure pour les producteurs québécois;
- la limite des débouchés est souvent omniprésente, car il n'existe actuellement pas de plan de promotion, de mise en marché pas plus qu'un plan rationnel de distribution.

Lors de la présentation de son projet de construction d'une usine de transformation de la truite à Trois-Rivières, la Coopérative Québécoise des Pisciculteurs (1980) écrivait:

"En résumé, la production et la commercialisation de la truite québécoise est à une croisée de chemins. Il est un fait que la capacité de production augmente rapidement, au point d'atteindre 1000 tonnes métriques au cours des cinq prochaines années. Mais concomitamment à ce développement, aucun effort de commercialisation n'a été fait concrètement".

et elle ajouta:

"Le problème fondamental se situe au niveau de l'absence d'un mécanisme central de coordination et de concertation des producteurs en vue d'en arriver à une meilleure rationalisation des investissements et de la production, une mise en commun des ressources financières et humaines, pour réaliser la transformation du produit à un moindre coût et à l'élaboration d'une stratégie commune de commercialisation de la truite de table au Québec".

La recherche de solutions à l'expansion et à la promotion de la truite, devra tenir compte des autres faits qui suivent:

- la consommation de la truite sur une base extensive n'a pas de racine populaire dans la province;
- pour une consommation de poissons d'environ 7,7 kg par habitant en 1978, le Québec pourrait rapidement atteindre le seuil des pays "grands consommateurs", comme l'Italie (10 kg par habitant) et la France (11,4 kg par habitant);
- la concurrence des autres viandes, en terme de prix et de qualité, constitue un facteur limitatif important à la consommation de poisson;

- le marché québécois ne représente que 30 à 40% du marché canadien. Les importations de truites fraîches et congelées pour le Canada totalisaient 1120 tonnes métriques en 1980, alors que 95,4% de la truite importée des États-Unis était sous forme congelée en 1979;
- selon la Coopérative Québécoise des Pisciculteurs (1980), le seul mode de pénétration de marché qui permettrait au produit québécois de percer serait la vente de la truite à l'état frais. Or, la conservation de la truite est inférieure à celle du lait. La durée de conservation d'une truite, retirée du bassin d'élevage jusqu'au moment de la servir au consommateur, est de sept jours.

Il devient donc essentiel de travailler à l'élaboration d'une technologie permettant de diminuer les coûts de production tout en favorisant une production continue, de favoriser l'obtention d'un produit de qualité afin de fournir et d'élargir les marchés québécois et canadiens, de mettre une emphase sur la transformation ainsi que sur la présentation du produit aux différents types de clients (restaurants, poissonneries spécialisées, chaînes alimentaires, etc.).

4.6 Éléments de recherche de pointe

Le développement piscicole est intimement lié à la recherche de techniques pouvant rencontrer voire même atténuer les exigences inhérentes à ce type d'élevage. Le problème d'approvisionnement en eau étant l'un

d'eux, de nombreux chercheurs concentrent leurs efforts à produire du poisson en circuit fermé (Peters et Bose, 1975; Bohl, 1977; Séguin et al., 1978; Mayo, 1979; Ayles et al., 1980). En plus d'assurer une réduction considérable du volume d'eau utilisé, la recirculation permet un meilleur contrôle de la température ainsi que des maladies véhiculées par l'eau. Les désavantages ou problèmes résultant de ce système se résument à l'accumulation de métabolites toxiques, à la diminution de l'oxygène et à l'augmentation de l'acidité ainsi que des solides en suspension.

Concernant la problématique du réchauffement des eaux, certaines alternatives telles que l'utilisation d'effluents thermiques (Sylvester, 1975; Tanaka, 1979) et l'emploi de l'énergie solaire (Ayles et al., 1980), offrent certaines perspectives très intéressantes. La première pisciculture du monde intégrant l'énergie calorifique du soleil se retrouve à Gunton au Manitoba (Wray, 1981). Cette station piscicole peut être opérationnelle à des températures extérieures de -30°C et ce sans avoir nécessairement recours à d'autres sources de chaleur que le soleil (Ayles et al., 1980).

Malgré des réalisations encourageantes, l'orientation actuelle de la pisciculture occidentale, comme pour beaucoup d'autres activités rurales, correspondrait, selon Billard (1980), à une régression ainsi qu'à une perte de savoir faire. Ainsi, pour ce chercheur, il n'y aurait jamais eu de véritable agriculture des eaux, puisque le précieux liquide n'en est souvent ramené qu'à un simple support physique véhiculant l'oxygène et éliminant les métabolites. Alors que l'accent est mis sur une pisciculture d'alimentation

coûteuse en infrastructure, en énergie et en protéine, Billard (op. cit.) rappelle l'exemple de l'intégration des activités aquicoles aux activités agricoles pratiquée en Asie et en Israël. Malgré ces dires et considérant les exigences de nos espèces d'élevage, on peut affirmer qu'il existe depuis quelques années certaines activités de recherche axées sur l'utilisation de déchets agricoles et urbains en pisciculture (Schoeder et Hepher, 1979; Waynavorich, 1979). Cependant, Ryder (s.d.) soutient que compte tenu des longs hivers caractérisant nos régions nordiques, la fertilisation d'étang peut contribuer à augmenter la mortalité hivernale (Winter-kill) des truites par le biais d'une diminution de l'oxygène disponible et par l'addition de bioxyde de carbone. Des essais de production intégrée, tels que l'utilisation de boues de pisciculture comme amendement organique des sols (Lesel et al., 1976) et l'association d'activité piscicole à des cultures végétales (Lesel et Ifergan, 1975; Ackefors et Rosens, 1979), ainsi que l'utilisation d'étangs piscicoles pour le traitement d'eaux usées (Allen et Hepher, 1979), témoignent aussi de l'existence d'une certaine recherche d'intégration des cultures. Il serait donc opportun de concevoir de nouvelles pratiques permettant non seulement d'améliorer l'efficacité de production d'une pisciculture, mais également d'utiliser la pisciculture en combinaison avec d'autres types d'exploitations.

Outre ce qui fut préalablement énuméré, de nombreux autres défis de recherches demeurent essentiels à relever. On a qu'à penser à la maîtrise des processus de reproduction et à la conception d'écloserie (Harvey et Hoar, 1980; Terver, 1980) ainsi qu'au contrôle des déchets générés par la

production des truites (Rosse, 1979; Fauré, 1980) pour reconnaître toute la complexité et l'étendue des connaissances nécessaires pour le développement et l'expansion de cette nouvelle industrie.

CHAPITRE 5

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Conclusions et recommandations

La pisciculture d'alimentation québécoise n'a certes pas encore atteint une maturité comparable aux activités agricoles classiques, ni même aux activités piscicoles reliées à des fins sportives. Pourtant les marchés actuels et les prévisions annoncées invitent à un dynamisme innovateur à l'égard de ce type d'élevage.

L'augmentation récente de la production de truites au Québec peut s'avérer encourageante, compte tenu des quantités brutes produites. Cependant, les problèmes reliés aux coûts de production, à la qualité du produit et à la régularité des approvisionnements viennent en obscurcir quelque peu la première image. Les attentes du consommateur sont à la fois simples et difficiles à rencontrer: qualité organoleptique et nutritive, coût et régularité d'approvisionnement sont à la base du choix des individus à l'égard de tout produit de consommation. C'est dans le but d'atteindre ces objectifs que doivent s'élaborer toutes stratégies de production de poisson de table.

De plus, il faut aussi reconnaître que l'activité piscicole, quoique souffrant d'un empirisme aigu, ne semble pas être l'objet d'un grand intérêt de recherche particulièrement au Québec. L'industrie et les institutions académiques ont une piètre performance dans la recherche ayant trait à la production et à la mise en marché du poisson d'élevage. Pour leur part, les différents ministères impliqués ont trop peu de personnel qualifié

pour s'occuper adéquatement des problèmes (santé, recherche, mise en marché, etc.) relés à ce type de production.

Quoi qu'il en soit, la recherche piscicole doit être avant tout une activité multidisciplinaire et systématique. Son principal défi réside dans la conception de systèmes d'élevage qui non seulement amélioreront le rendement de chaque unité au sein d'une exploitation piscicole, mais qui de plus permettront l'utilisation combinée de d'autres types d'exploitations. On est effectivement de plus en plus conscient, et ce à travers le monde entier, de la valeur de la polyculture, de l'intégration de l'agriculture et de la zootechnie à l'élevage piscicole ainsi que du recyclage des effluents ménagers dans la pisciculture. Afin d'évaluer ces alternatives et considérant les investissements encourus pour la mise en oeuvre des piscicultures actuelles, il devient impérieux d'investir dans la création de stations pilotes afin d'assurer une expertise constante des techniques permettant de demeurer compétitif avec les producteurs étrangers.

Concernant la diffusion de l'information reliée à l'aménagement, la gestion et la recherche en pisciculture il est primordial d'ériger un système d'information bien structuré qui saura combler les lacunes existantes. L'acquisition, la mise en disponibilité, la dissimination d'une documentation écrite ou de montage audio-visuels ainsi que l'établissement de services de vulgarisation accessibles sont autant d'outils indispensables que les structures actuelles ne permettent guère d'obtenir.

Il n'est pas facile d'établir avec certitude un ensemble de priorités auxquelles les autorités et les producteurs concernés doivent s'attaquer à court terme. Quoi qu'il en soit, considérant uniquement les installations existantes, les aspects de l'alimentation et de la santé des poissons qui y sont élevés sont certainement deux avenues importantes de recherche où des investissements imminents doivent être réalisés.

En guise de conclusion, considérant que le marché de la truite arc-en-ciel est en perte de vitesse au Canada, à cause notamment de la concurrence américaine et du fait que le prix de ce produit a augmenté moins rapidement que celui de toute autre espèce d'élevage (T.G. Carey, 1982, communication personnelle), les personnes intéressées à se lancer dans l'élevage de la truite au Québec ont intérêt à connaître les méthodes et les contraintes de production ainsi que les ouvertures du marché, si elles veulent avant tout assurer la viabilité de leur entreprise. Le succès de la pisciculture d'alimentation au Québec ne sera jamais une réalité, tant et aussi longtemps que nous n'aurons pas mis au point un système intégré permettant d'unir nos ressources, en vue d'obtenir une production concurrentielle avec les autres produits du marché ainsi qu'avec les rendements des piscicultures étrangères.

Annexe 1: NORMES GÉNÉRALES CONCERNANT LA CRÉATION DE LACS ET D'ÉTANGS ARTIFICIELS

(Tiré du ministère de l'Environnement du Québec, 1980)

NORMES

JUSTIFICATION

- | | |
|--|---|
| 1. Le lac artificiel doit être distant d'au moins trente-cinq (35) mètres de toute voie publique | - Prévient l'accumulation d'herbicides, chlorures ou autres fondants dans l'eau |
| 2. Le lac artificiel doit être construit en dérivation, c'est-à-dire en dehors du lit actuel du cours d'eau d'alimentation | <ul style="list-style-type: none"> - Contrôle du niveau d'eau possible - Risque réduit de rupture de digues - Étang peut être vidé complètement - Prévient l'introduction d'espèces ichtyennes indésirables dans le lac artificiel et/ou dans le cours d'eau d'alimentation - Étang peut être isolé du cours d'eau, ce qui évite notamment les risques de contamination du cours d'eau par des algicides, antibiotiques ou autres produits chimiques pouvant être utilisés - Évite la création de barrières physique et/ou écologique sur le cours d'eau - Protection des berges du cours d'eau - Évite préjudice éventuel à l'utilisation du cours d'eau en amont ou en aval |
| 3. La distance entre le cours d'eau d'alimentation ou tout autre cours d'eau ou plan d'eau et la ligne d'eau d'exploitation du réservoir devra être d'au moins trente-cinq (35) mètres | - Protection des berges naturelles des cours d'eau |

4. Il doit être possible de contrôler le débit affluent de nul à maximum
 - Permet l'isolement total du lac par rapport au cours d'eau
 - Facilite les travaux de nettoyage ou autres pouvant être faits dans le lac
5. Le débit affluent du lac devra en tout temps être supérieur à 4,5 litres/minute par 1 000 mètres cubes d'emmagasinement du lac au niveau d'eau d'exploitation
 - Cette norme a pour but d'assurer dans le lac artificiel un temps de renouvellement et un débit minimum nécessaire au maintien d'une qualité d'eau acceptable et de prévenir ainsi les problèmes de croissance excessive d'algues ou de plantes aquatiques (macrophytes)
6. Sauf dans le cas de lacs alimentés par des sources, le débit affluent ne doit jamais excéder 50% du débit total du cours d'eau qui l'alimente
 - Permet de conserver dans le tronçon du ruisseau situé entre la prise d'eau et le point de rejet, une présence et une circulation d'eau nécessaires à la conservation des éléments biotiques du cours d'eau
 - Évite le réchauffement excessif des eaux à l'aval du point de rejet en diluant les eaux réchauffées par un séjour prolongé dans le plan d'eau aménagé
7. Le lac artificiel doit avoir une profondeur moyenne d'au moins deux (2) mètres
 - Préviend la détérioration de la qualité générale de l'eau et l'eutrophisation rapide du lac
8. Le lac artificiel doit être muni d'un appareil de vidange (moine, vide-étang, etc...) permettant le contrôle du niveau de l'eau par l'évaluation des eaux de surface
 - Permet une vidange progressive du plan d'eau limitant ainsi les conséquences dans le cours d'eau en aval
 - Préviend les risques de rupture de l'ouvrage de retenue, le cas échéant
 - Préviend les problèmes de turbidité dans le cours d'eau à l'aval

9. Les pentes des talus ne doivent pas excéder 45° et doivent être recouvertes de pierres libres ou de gazon immédiatement après les travaux de construction. Dans le cas de talus de sable, la pente ne devra pas excéder 30°
- Prévient l'érosion des berges et la turbidité dans le plan d'eau aménagé
10. Le lac artificiel doit être muni d'un réservoir de sécurité aménagé de façon à éviter toute érosion dans le cours d'eau en aval (béton, pierres ou terre gazonnée)
- Évite les risques d'inondation en cas d'obstruction du système d'évacuation ou de fonte rapide des neiges
- Prévient les risques de rupture de l'ouvrage de retenue, le cas échéant
11. En aucun temps, l'appareil de vidange de devra abaisser le niveau d'eau à moins de trente (30) centimètres de la couche de sédiments au fond du lac immédiatement à l'aval de l'appareil de vidange
- Limite l'entraînement dans le cours d'eau en aval de sédiments et de matières organiques
12. Le substrat prélevé au fond du lac artificiel lors du nettoyage devra être déposé à une distance d'au moins dix (10) mètres de tout cours d'eau ou plan d'eau
- Prévient la contamination des eaux de surface par les matières organiques résiduelles provenant du nettoyage
13. Tous les terrains situés à moins de trente-cinq (35) mètres de la ligne d'eau du lac artificiel et destinés à la construction d'habitations permanentes ou saisonnières devront avoir une superficie d'au moins quatre mille (4 000) mètres carrés, une largeur minimale de cinquante (50) mètres et une profondeur minimale de cinquante (50) mètres
- Prévient la détérioration de la qualité de l'eau par une utilisation trop intense du plan d'eau
- Donne une disponibilité de terrain suffisante pour la mise en place d'installations septiques adéquates

Annexe 2: Limites de la qualité de l'eau de surface pour la vie aquatique
(Tiré de Environnement Canada, 1979)

Paramètres chimiques	Sources et objectifs ¹			
	Canada 1972	U.S. NAS/NAE 1973	Australie 1974	U.S. EPA 1976
<u>Inorganique</u>				
Ammoniac (NH ₃) mg/l	-	0,02	0,1 (96-h CL ₅₀) ²	0,02
Argent (Ag) mg/l	-	-	-	0,01 (96-h CL ₅₀)
Arsenic (As) mg/l	-	-	0,01 (96-h CL ₅₀)	-
Beryllium (Be) mg/l	-	-	-	0,11 (eau douce) 1,1 (eau dure)
Cadmium (Cd) mg/l	0,05 (10-j CL ₅₀) ³	0,0004 (eau douce pour salmonidés) 0,003 (eau dure pour salmonidés) 0,004 (eau douce pour d'autres) 0,03 (eau dure pour d'autres) 0,003	0,0004 (eau douce pour salmonidés) 0,003 (eau dure pour salmonidés) 0,004 (eau douce pour d'autres) 0,03 (eau dure pour d'autres) -	0,0004 (eau douce pour salmonidés) 0,0012 (eau dure pour salmonidés) 0,004 (eau douce pour d'autres) 0,012 (eau dure pour salmonidés) 0,002 (salmonidés)
Chlore (Cl) résiduel, total mg/l	-	-	-	-
Chrome (Cr) mg/l	0,13	0,05 (total)	0,01 (10-j CL ₅₀)	0,1
Cuivre (Cu) mg/l	0,03 (96-h CL ₅₀)	0,1 (96-h CL ₅₀)	0,05 (96-h CL ₅₀)	0,01 (96-h CL ₅₀)
Fer (Fe) mg/l	-	-	-	1,0
Gaz dissous % saturation	-	110 (% pression atmosphérique)	-	1,0
Mercure (Hg) mg/l	0,005 (96-h CL ₅₀)	0,0002 (non filtré, total)	0,0002 (non-filtré, total)	0,00005
Nickel (Ni) mg/l	-	0,02 (96-h CL ₅₀)	0,05 (96-h CL ₅₀)	0,01 (96-h CL ₅₀)
Sélénium (Se) mg/l	-	-	-	0,01 (96-h CL ₅₀)
Sulfure (H ₂ S) mg/l	-	0,002	-	0,002
Zinc (Zn) mg/l	0,01 (96-h CL ₅₀)	0,005 (96-h CL ₅₀)	0,005 (96-h CL ₅₀)	0,01 (96-h CL ₅₀)
<u>Organique</u>				
Pesticides organochlorés				
Aldrine µg/l	0,005 (96-h CL ₅₀)	0,01	0,01 (96-h CL ₅₀)	-
Chlordane µg/l	0,005 (96-h CL ₅₀)	0,04	0,01 (96-h CL ₅₀)	0,01
DDT et métabolites µg/l	0,005 (96-h CL ₅₀)	0,002	0,01 (96-h CL ₅₀)	-
Dieldrine µg/l	0,005 (96-h CL ₅₀)	0,005	0,01 (96-h CL ₅₀)	-
Endrine µg/l	0,005 (96-h CL ₅₀)	0,002	0,01 (96-h CL ₅₀)	0,004
Endosulfane µg/l	0,005 (96-h CL ₅₀)	0,003	0,01 (96-h CL ₅₀)	0,003
Heptachlore µg/l	0,005 (96-h CL ₅₀)	0,01	0,01 (96-h CL ₅₀)	0,001
Lindane µg/l	0,005 (96-h CL ₅₀)	0,02	0,01 (96-h CL ₅₀)	0,01
Méthoxychlore µg/l	0,005 (96-h CL ₅₀)	0,005	0,01 (96-h CL ₅₀)	0,03
Mirex et produit de dégradation µg/l	0,005 (96-h CL ₅₀)	-	0,01 (96-h CL ₅₀)	0,001
Toxaphène µg/l	0,005 (96-h CL ₅₀)	0,01	0,01 (96-h CL ₅₀)	0,005
Pesticides organophosphatés et carbonatés				
Ciodrine µg/l	-	0,1	0,1	-
Diazinon µg/l	-	0,009	0,009	-
Malathion µg/l	-	0,008	0,008	0,1
Parathion µg/l	-	0,4	0,4	-
Zectran µg/l	-	0,1	0,1	-
Autres				
Cyanure libre (Cn) µg/l	-	5,0	0,1 (96-h CL ₅₀)	5,0
Byphényles polychlorés (BPC) µg/l	-	0,002	0,002	0,001

- 1 Canada, 1972. Guideline for Water Objectives and Standards, Dept. of Environment, Inland Waters Directorate, Ottawa, Ontario, Technical Bulletin No 67.

U.S., NAS/NAE, 1973. Water Quality Criteria 1972, Environmental Protection Agency Washington, D.C. PUB. EPA-R3-73-33.

Australia, 1974. A compilation of Australian Water Quality Criteria, Australian Water Council, Canberra, Australia, Technical Bulletin No 7.

U.S., EPA, 1976. Quality Criteria for Water, Environmental Protection Agency, Washington, D.C. Pub. EPA-440/9-76-023.
- 2 96-h CL_{50} ou 96 heures concentration létale₅₀ : signifie qu'à un temps d'exposition de 96 heures, 50% des individus exposés à la concentration mentionnée meurent.
- 3 10-j CL_{50} : même signification, mais cette fois-ci le temps d'exposition est de 10 jours.

Annexe 3

Description technique de bassins piscicoles

(Adapté de Paulhus 1972; Hansen et al., 1980)

Auges: Les auges sont des contenants rectangulaires d'une longueur de 2 à 5 m et d'une largeur de 25 à 50 cm. Habituellement faites de bois ou de fibre de verre, elles servent à l'incubation et à l'éclosion des oeufs de même qu'à l'élevage des alevins.

Bassins d'ale- Contenants rectangulaires dégagés du sol plus grands que les
vinage ou vi- auges mais plus petits que les caniveaux. Ces bassins ser-
viers d'ale- vent à de multiples fins.
vinage:

Caniveaux, Bassins rectangulaires dont les dimensions respectent environ
raceways, ou la proportion 30 sur 3 sur 1. Leur longueur est de 15 m ou
viviers rec- plus et l'eau doit être renouvelée en moins d'une heure. Ces
tangulaires: bassins sont utilisés pour l'élevage des alevins et des pois-
sons plus âgés.

Rigolets: Type de vivier rectangulaire avec un fond en terre, recouvert d'argile et de gravier concassé.

Viviers circulaires ou étangs circulaires: Types de bassins cylindriques, souvent à fond conique ou en forme de soucoupe, avec un drain central. Leurs dimensions vont de 3 à 20 m de diamètre et de 0,33 à 2 m de profondeur. Ces étangs sont creusés dans le sol, recouverts de gravier et leurs murs sont souvent de béton. Ils sont utilisés pour les fretins et alevins de quelques centimètres, étant donné qu'ils assurent la vitesse et l'espace nécessaire dans un minimum d'eau.

Étangs: Parfois naturels, les étangs sont par contre généralement des plans d'eau artificiels. Ils sont endigués et encavés avec des berges naturelles et engazonnées contrairement aux bassins où les berges sont bétonnées ou maçonnées. Souvent de moins de 50 m de largeur et de longueur, leur surface doit mesurer moins de 10 hectares selon la définition du Règlement de pêche du Québec.

Bassins d'incubation à débit vertical Ce sont des incubateurs d'oeufs de poissons. Ils sont présentement utilisés uniquement dans des installations gouvernementales.

Annexe 4

Nomenclature utilisée en pisciculture aux différents stades de production

(Tiré de Paulhus et Dufour, 1976)

- Oeuf vert:
- oeuf récemment fécondé;
 - transportable pendant une période n'excédant pas 48 heures après sa fécondation;
 - appellation anglaise correspondante: "Green Eggs".
- Oeuf embryonné:- oeuf dont les yeux de l'embryon sont visibles;
- transportable jusqu'à l'éclosion;
 - appellation anglaise correspondante: "Eyed Eggs".
- Alevin vésiculé:- utilisé pour toutes les espèces;
- période allant de l'éclosion à la résorption du sac vitellin;
 - appellation anglaise correspondante: "Sac Fry".
- Alevin:
- utilisé pour toutes les espèces de poissons;
 - période allant de la résorption totale du sac vitellin jusqu'au stade d'alevin avancé (environ 4 centimètres);
 - première phase de l'alimentation;
 - appellations anglaises correspondantes: "Free Swimming, Fry, Advanced Fry".

- Fretin:
- utilité pour toutes les espèces de poisson à l'exception des saumons et ouananiches;
 - toujours âgés de 0 + sans dépasser un an;
 - la longueur peut varier de 4 à 18 centimètres (1½ à 7 pouces) et même davantage;
 - appellations anglaises correspondantes: "Small, Medium, Large fingerling";
 - appellation française correspondante: "truitelle".
- 1 an+:
- utilisé pour toutes les espèces à l'exception des saumons et ouananiches;
 - l'âge ne dépasse pas 2 ans;
 - le terme adulte n'est jamais utilisé pour désigner des poissons de cette catégorie quand il s'agit de production en vue d'un ensemencement;
 - appellation anglaise correspondante: "Yearling".
- 2 ans+:
- utilisé pour toutes les espèces à l'exception des saumons et ouananiches;
 - l'âge ne dépasse pas 3 ans;
 - la production de poissons de cette classe, en vue d'ensemencement n'est pas encore développée mais il faut prévoir des demandes en ce sens;
 - appellation anglaise correspondante: "2 Years Old".

- Tacon 0+:
- utilisé exclusivement pour les saumons et ouananiches;
 - l'âge ne dépasse pas 1 an;
 - caractéristiques: taches latérales présentes (parr marks);
 - appellation anglaise correspondante: "Parr".
- Tacon 1+:
- utilisé exclusivement pour les saumons et ouananiches;
 - l'âge ne dépasse pas 2 ans en pisciculture;
 - caractéristiques: taches latérales présentes (parr marks);
 - généralement âgé de 2 à 3 ans en nature, exceptionnellement jusqu'à 6 ou 7 ans;
 - appellation anglaise correspondante: "Parr".
- Saumoneau:
- utilisé exclusivement pour les saumons et ouananiches;
 - caractéristiques: taches latérales absentes et livrée argentée du jeune saumon;
 - généralement âgé de 2 ans en pisciculture (exceptionnellement 1+);
 - généralement âgé en nature de 2 à 3 ans (exceptionnellement jusqu'à 6 ou 7 ans);
 - appellation anglaise correspondante: "Smolt".
- Adulte:
- désigne généralement les individus de n'importe quelle espèce qui ont été utilisés comme reproducteurs avant d'être ensemencés;
 - désigne également les poissons transférés d'un lac à l'autre (ex.: perchaude, éperlan, ouananiche, etc...).

Cette nomenclature est utilisée dans tous les rapports du Service de Pisciculture du Ministère du Loisir de la Chasse et de la Pêche (rapports d'ensemencement, de production, etc...).

Il faut rappeler également que l'année piscicole correspond à l'année du calendrier et que tous les poissons changent d'âge le 1er janvier.

* Juvénile peut aussi correspondre au terme anglais fingerling.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ACKEFORS, H. et C.G. ROSEN. 1979.
"Farming the world's water". Environment, 21(9): 16-42.
- ALLEN, G.H. et B. HEPHER. 1979.
"Recycling of wastes through aquaculture and constraints to wider application". Dans: "Advances in Aquaculture", T.V.R. Pillay and Wm. A. Dill (eds), FAO Technical Conference on Aquaculture, Kyoto, Japan, 26 May - 2 June 1976, Fishing News Books Ltd., England: 478-487.
- AMEND, D.F. 1976.
"Prevention and control of viral diseases of salmonids". J. Fish. Res. Board Can., 33: 1059-1066.
- AMERICAN FISHERIES SOCIETY. 1979.
"A Review of the EPA Red Book: Quality Criteria for Water", R.V. Thurston et al. (eds.), Bethesda, MD.: 313 p.
- AMLACHER, E. 1970.
"Textbook of Fish Disease". D.A. Conroy et R.L. Herman (eds.), T.F. H. Publications, Inc., Neptune City, N.J.: 302 p.
- ANONYME. 1978.
"Protocole d'entente entre les Ministères de l'Agriculture du Québec et du Tourisme, de la Chasse et de la Pêche sur la pisciculture". Québec: 3 p.
- AQUAFARMS CANADA LTD. 1977.
"Modular Trout Farming". Data Reports: Feversham Experimental Development, Presented to The Government of Canada, Fisheries Research Branch, Resource Services Directorate, Fisheries and Environmental Canada, Ottawa: 265 p.
- ARRIGNON, J. 1976.
"Aménagement écologique et piscicole des eaux douces". Gauthier-Villars, Paris: 320 p.
- AYLES, G.B. 1973.
"Comparative growth and survival of matched plantings of wild and domestic rainbow trout in prairie potholes". Fish Res. Board Can. Tech. Rep., no. 382: 13 p.
- AYLES, G.B. 1977.
"Trout farming". Dans: "Principles and Practices of Commercial Farming", Faculty of Agriculture, University of Manitoba, Winnipeg, 5th éd., F.W.I. reprint no. 492: 448-451.

- AYLES, G.B. et J.R. BRETT. 1978.
"Workshop on aquaculture research and development in Canada". Fish. Mar. Serv. Misc. Tech., Rep. no. 750: 14 p.
- AYLES, G.B., K.R. SCOTT, J. BARICA et J.G.I. LORK. 1980.
"Combination of a solar collector with water recirculation units in a fish culture operation". "EIFAC, Symposium on New Developments in The Utilization of Heated Effluents and of Recirculation Systems for Intensive Aquaculture". Stavanger, Norway, 28-30 may 1980: 26 p.
- BARDACH, J.E. 1978.
"The growing science of aquaculture". Dans: "Ecology of Freshwater Fish Production". S.D. Gerking (eds.), John Wiley & Sons, New York: 424-446.
- BECK, H., J. GROPP, H. KOOPS et K. TIEWS. 1979.
"Single cell proteins in trout diets". Dans: "Proc. World Symp. on Finfish Nutrition and Fishfeed Technology", Hamburg, 20-23 June 1978, vol. 11, Berlin: 269-280.
- BERGE, L. 1979.
"A proposal for economic investigations of fish farms with special reference to book - Keeping and Financial Analysis". Dans: "Advances in Aquaculture", T.V.R. Pillay et Wm. A. Dill (eds.), FAO Technical Conference on Aquaculture, Kyoto, Japan, 26 May - 2 June 1976, Fishing News Books Ltd., England: 239-246.
- BERGER, F. 1981.
"Austérité pour éviter la faillite des Pêcheurs Unis". La Presse, Montréal, 16 septembre: 9 p.
- BIDGOOD, B.F. et A.H. BERST. 1969.
"Lethal temperature for Great Lakes rainbow trout". J. Fish. Res. Bd. Can., 26: 456-459.
- BILLARD, R. 1979.
"L'aquiculture dans le monde: généralités, problèmes et perspectives". Pisc. Fr., 55: 41-59.
- BILLARD, R. 1980.
"Aquaculture et agriculture". Pisc. Fr., 61: 15-22.
- BLUM, H. 1979.
"Trout farming in Ontario - An industry study". Economics Branch, Ontario Ministry of Agriculture and Food, Toronto: 27 p.
- BOHL, M. 1977.
"Some initial aquaculture experiments in recirculating water systems". Aquaculture, 11: 323-328.

- BORGSTROM, G. 1978.
"The contribution of freshwater fish to human food". Dans: "Ecology of Freshwater Production", Shelby D. Gerking (ed.), John Wiley & Sons, New York: 469-491.
- BOUCK, G.R. 1980.
"Etiology of gas bubble diseases". Aquaculture, 109: 703-708.
- BOULANGER, J., Y. LÉGER, J.L. LOUBIER et Y. BOULANGER. 1977.
"Rapport du comité de zonage de l'APQ" Association des Pisciculteurs du Québec, Coaticook: 49 p.
- BRAUHN, J.L., R.C. SIMON et W.R. BRIDGES. 1976.
"Rainbow trout growth in circular tanks: consequences of different loading densities". Technical Papers of the U.S. Fish and Wildlife Service: 12 p.
- BRETT, J.R., J.E. SHELBURN et C.T. SHOOP. 1969.
"Growth rate and body composition of fingerling sockeye salmon". Oncorhynchus nerka, in relation to temperature and ration size. J. Fish Res. Board Can., 26: 2363-2394.
- BRETT, J.R. 1979.
"Environmental factors and growth". Dans: "Fish Physiology". W.S. Hoar, D.J. Randall et J.R. Brett (eds), vol. 8: 599-676.
- BRETT, J.R. et T.D.D. GROVES. 1979.
"Physiological energetics". Dans: "Fish Physiology", W.S. Hoar, D.J. Randall et J.R. Brett (eds), 8: 279-352.
- BRETT, J.R. et J.M. BLACKBURN. 1981.
"Oxygen requirements for growth of young coho (Oncorhynchus kisutch) and sockeye (O. nerka) salmon at 15°C". Can. J. Fish. Aquat. Sci., 38: 399-404.
- BRIGGS, P. 1979.
"The status of vertically - integrated aquaculture industry in the United States". Dans: "Advances in Aquaculture". T.V.R. Pillay et Wm. A. Dill (eds), FAO Technical Conference on Aquaculture, Kyoto, Japan, 26 May -2 June 1976, Fishing News Books Ltd, England: 40-44.
- BROMLEY, P.J. et G. SMART. 1981.
"The effects of the major food categories on growth, composition and food conversion in rainbow trout (Salmo gairdneri Richardson)". Aquaculture, 23: 325-336.
- BROWN, E. E. et J.B. GRATZEK. 1980.
"Fish Farming Handbook". The Avi Publishing Company Inc., Connecticut: 1-350.

- BUCKLEY, J.T. et T.D.D. GROVES. 1979.
"Influence of feed on the body composition of finfish". Dans: "Proc. World Symp., on Finfish nutrition and Fishfeed Technology", Hamburg, 20-23 June 1978, vol. 11, Berlin: 335-343.
- BURROWS, R.E. et B.D. COMBS. 1968.
"Controlled environments for salmon propagation". Prog. Fish. Cultu-
rist, 30(3): 13-36.
- CHAPMAN, D.W. 1978.
"Production in fish populations". Dans: "Ecology of Freshwater Fish
Production", S.D. Gerking (ed.), John Wiley & Sons, New York: 5-75.
- CHEVALIER, R. 1976.
"Problématique de l'aquaculture au Québec". Thèse de maîtrise, INRS-
Eau, Québec: 28 p.
- CHO, C.Y. et S.J. SLINGER. 1979.
"Apparent digestibility measurement in feed stuffs for rainbow Trout".
Dans: "Proc. World Symp. on Finfish Nutrition and Fishfeed Technology".
Hamburg, 20-23 June 1978, vol. 11, Berlin: 239-247.
- CHRISTENSEN, N.O. 1968.
"Maladies des poissons". Cours à l'usage des étudiants de l'école supé-
rieure royale vétérinaire et agronomique de Copenhague, Adaptation
française de P. Besse, Syndicat de Pisciculteurs Salmoniculteurs de
France, Paris: 98 p.
- COLLINS, R.A. et M.N. DELMENDO. 1979.
"Comparative economics of aquaculture in cages, raceways and enclosu-
res". Dans: "Advances in Aquaculture", T.V.R. Pillay et Wm. A. Dill
(eds.), FAO Technical Conference on Aquaculture, Kyoto, Japan, 26 May -
2 June 1976, Fishing News Books Ltd, England: 472-477.
- COOPÉRATIVE QUÉBÉCOISE DES PISCICULTEURS. 1980.
"Projet de construction d'usine de transformation de la truite": 28 p.
- COWEY, C.B. et J.R. SARGENT. 1979.
"Nutrition". Dans: "Fish Physiology". W.S. Hoar et D.J. Randall (eds.),
Academic Press, New York, vol. 8: 1-58.
- COCHE, A.G. 1978.
"Revue des pratiques d'élevage de poissons en cages dans les eaux con-
tinentales". Aquaculture, 13: 157-189.
- CRACKWELL, T.J. 1979.
"Development of vertically-integrated fish farming in Europe". Dans:
"Advances in Aquaculture", T.V.R. Pillay et Wm. A. Dill (eds.), FAO
Technical Conference on Aquaculture, Kyoto, Japan, 26 May - 2 June
1976, Fishing News Books Ltd, England: 34-39.

- CRONIN, E. 1978.
"Why big business is going fishing", Forbes, 18 September, 122(6): 121-124.
- DAVIS, J.C. 1975.
"Minimal dissolved oxygen requirements of aquatic life with emphasis on canadian species: a review". J. Fish. Res. Board Can., 32: 2295-2332.
- DE KINKELIN, P. et J.P. GÉRARD. 1972.
"Connaissances de base sur la pathologie des poissons". Bull. Fr. Pisc., 247: 47-85.
- DORSON, M. 1972.
"La vaccination en salmoniculture: essais réalisés et perspectives". Bull. Fr. Pisc., 244: 95-102.
- DOYLE, R., Y. LÉGER, J.L. LOUBIER, L. FORTIN, R. LAPOINTE, A. ARSENAULT et G. RIOUX. 1977.
"Pour un programme de promotion de la truite de table du Québec". Mémoire présenté au Ministre du Tourisme de la Chasse et de la Pêche, Montréal: 20 p.
- DUBOIS-DARNAUDPEYS, A. 1977.
"Épidémiologie de la furonculose des Salmonidés. 1. Étude expérimentale de divers facteurs abiotiques de l'environnement", Bull. Fr. Pisc., 264: 121-127.
- EDDY, F.B. 1977.
"Oxygen uptake by rainbow trout blood, Salmo gairdneri". J. Fish. Biol., 10: 87-90.
- ELLIOTT, J.M. 1975a.
"The growth rate of brown trout (Salmo trutta L.) fed on maximum rations". J. Anim. Ecol., 44: 805-821.
- ELLIOTT, J.M. 1975b.
"The growth rate of brown trout (Salmo trutta L.) fed on reduced rations". J. Anim. Ecol., 44: 823-842.
- ELLIOTT, J.M. 1976a.
"Body composition of brown trout (Salmo trutta L.) in relation to temperature and ration size". J. Anim. Ecol., 45: 273-289.
- ELLIOTT, J.M. 1976b.
"The energetics of feeding, metabolism and growth of brown trout (Salmo trutta L.) in relation to body weight, water temperature and ration size". J. Anim. Ecol., 45: 923-948.
- ELLIOTT, J.M. 1979.
"Energetics of freshwater teleosts". Dans: "Phenology: Anabolic Adaptiveness in Teleosts", Symp. Zool. Soc. Lond., no. 44: 29-61.

- ELLIS, J.N. 1979.
 "The use of natural and synthetic caratenoïds in the diet to color the flish of salmonids". Dans: "Proc. World Symp. on Finfish Nutrition and Fishfeed Technology", Hamburg, 20-23 june 1978, vol. 11, Berlin: 353-364.
- ENVIRONNEMENT CANADA. 1979.
 "Guidelines for Surface Water Quality Inorganic Chemical Substances". Inland Waters Directorate, Water Quality Branch, vol. 1, Ottawa: 21 p.
- EUROPEAN INLAND FISHERIES ADVISORY COMMISSION. 1969.
 "Water quality criteria for European freshwater fish-extreme pH values and inland fisheries". Water Res., 3: 593-611.
- FAURÉ, A. 1980.
 "Salmoniculture et environnement au Danemark". Pisc. Fr., 61: 31-41.
- FISCHER, Z. 1979.
 "Selected problems of fish bioenergetics". Dans: "Proc. World Symp. on Finfish Nutrition and Fishfeed Technology", Hamburg, 20-23 june 1978, vol. 1, Berlin: 17-44.
- FROMM, P.O. 1980.
 "A review of some physiological and toxicological responses of freshwater fish to acid stress". Env. Biol. Fish., 5(1): 79-93.
- GÉRARD, J.P. 1974.
 "Sur la désinfection en pisciculture". Note technique no. 6, Bull. Fr. Pisc., 254: 20-22.
- GÉRARD, J.P. et L. TIRET. 1974.
 "Dispositif de filtration des eaux pour les laboratoires d'alevinage en pisciculture". Note technique no. 7, Bull. Fr. Pisc., 254: 23-25.
- GHITTINO, P. 1973.
 "Septicémie hémorragique virale (SHV)". Dans: "Symposium sur les principales maladies transmissibles des poissons en Europe". EIFAC Technical Paper no. 17, Rome: 12-25.
- GILLET, CH., R. SALMON et G. DEMONTALEMBERT. 1977.
 "Quelques aspects de la pisciculture en République Fédérale Allemande". Pisc., Fr., 52: 15-19.
- GOVERNEMENT DU QUÉBEC. 1972.
 "Loi sur la qualité de l'environnement". Chapitre 49, article 22.
- GRAYTON, B.D. et F.W.H. BEAMISH. 1977.
 "Effects of feeding frequency on food intake, growth and body composition of rainbow trout (Salmo gairdneri)". Aquaculture, 11: 159-172.

- GROBERG, W.J. Jr., R.H. McCOY, K.S. PILCHER et J.L. FRYER. 1978.
"Relation of water temperature to infections of coho salmon (Oncorhynchus kisutch), chinook salmon (O. tahawytscha) and steelhead trout (Salmo gairdneri) with Aeromonas salmonicida and A. hydrophila". J. Fish. Res. Board Can., 35: 1-17.
- HANSEN, L. et J.M. LACASSE. 1980.
"Coût de production des salmonidés au Québec". Ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Division de l'Aquaculture, Québec: 22 p.
- HANSEN, L., P.L. MONTREUIL et J.D. DUTIL. 1980.
"Etude sur les établissements de pisciculture du Québec en 1978". Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci., no. 967F: 98 p.
- HARVEY, B.J. et W.F. HOAR. 1980.
"La reproduction provoquée chez les poissons: théorie et pratique", CRDI, no. TS21f, Ottawa: 48 p.
- HEMING, T.A. 1979.
"Optimal timing of initial exogenous feeding, as affected by temperature, in chinook salmon (Oncorhynchus tshawytscha Walbaum)". M.Sc. Thesis of University of Victoria, Victoria: 124 p.
- HICKMAN, C.P. Sr., C.P. Jr. HICKMAN et F.M. HICKMAN. 1974.
"Integrated Principles of Zoology". The C.V. Mosby Company, 5e edition, St-Louis: 1025 p.
- HILTON, J.W. et S.J. SLINGER. 1981.
"Nutrition and feeding of rainbow trout". Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci., 55: 15 p.
- HOAR, W.S. 1975.
"General and Comparative Physiology". Practice-Hall, Inc., 2e edition, New Jersey: 848 p.
- HOFFMAN, G.L. 1970.
"Parasites of North American Freshwater Fishes". University of California Press, 2e edition, Los Angeles: 486 p.
- HOKANSON, K.E.F., C.F. KLEINER et T.W. THORSLAND. 1977.
"Effects of constant temperature and diel fluctuation on growth, mortality, and yield of juvenile rainbow trout, Salmo gairdneri (Richardson)". J. Fish. Res. Board Can., 34: 639-648.
- HUET, M. 1970.
"Traité de pisciculture". Éditions Ch. de Wingaert, 4e edition, Bruxelles: XXXIII + 718 p.

- IWANA, G.K. et A.F. TAUTZ. 1981.
"A simple growth model for salmonids in hatcheries". Can. J. Fish. Aquat. Sci., 38(6): 649-656.
- JAMIESON, A. 1980.
"The cage rearing of rainbow trout in a brackish water pond in Newfoundland, 1978". Can. Ind. Rep. Fish. Aquat. Sci., no. 15: IV + 18 p.
- JOHNSON, E.A., D.E. CONKLIN et M.J. LEWIS. 1977.
"The yeast Phaffia rhodozyma as a dietary pigment source for salmonids and crustaceans". J. Fish. Res. Board Can., 34: 2417-2421.
- KEPSHIRE, B.M., Jr. 1971.
"Growth of pink, chum, and fall chinook salmon in seawater". Proc. Annu. N.W. Fish. Cult. Conf., 22nd: 25-26.
- KINCAID, H.L., W.R. BRIDGES, A.E. THOMAS et M.J. DONAHOO. 1976.
"Rearing capacity of circular containers of different sizes for fry and fingerling rainbow trout". Prog. Fish. Cult., 38(1): 11-17.
- KOOPS, H., K. TIEWS, J. GROPP et H. BECK. 1979.
"Krill in trout diets". Dans: "Proc. World Symp. on Finfish Nutrition and Fishfeed Technology". Hamburg, 20-23 June 1978, vol. II, Berlin: 281-282.
- LAGLER, K.F. 1956.
"Freshwater Fishery Biology". W.C. Brown Co., 2e edition, Des Moines, Iowa: 421 p.
- LAMOUREUX, A. 1980.
"Des poissons à la chaîne". Québec Science, 18(12): 30-35.
- LARMOYEUX, J.D., R.G. PIPER et H.H. CHENOWETH. 1973.
"Evaluation of circular tanks for salmonid production". Prog. Fish. Cult., 35(3): 122-131.
- LAWLER, G.H., L.A. SUNDE et J. WHITAKER. 1974.
"Trout production in prairie ponds". J. Fish. Res. Board Can., 31: 929-936.
- LE BITOUX, J.F. 1974.
"Action de l'environnement sur le déroulement, le traitement et la prophylaxie des maladies en aquaculture intensive". Colloque sur l'aquaculture, 22-24 octobre 1973, publication du centre national pour l'exploitation des océans (CNEXO), Brest: 373-385.
- LECOMPTE, J. 1980.
"Les carpes dans la basse cour". Science et vie, 79:79-81 et 174.

- LEGENDE, V., J.R. MONGEAU, J. LECLERC et J. BRISEBOIS. 1980.
"Les salmonidés des eaux de la plaine de Montréal". 1- Historique, 1534-1977. Ministère du Loisir de la Chasse et de la Pêche, rapport no. 06-27: 280 p.
- LEITRITZ, E. et R.C. LEWIS. 1976.
"Trout and salmon culture (Hatchery methods)". California Fish Bulletin, no. 164: 197 p.
- LEIVESTAD, H., G. HENDREY, I.P. MUNIZ et E. SNEKVIK. 1976.
"Effects of acid precipitation on freshwater organisms". Dans: "Impact of Acid Precipitation of Forest and Freshwater Ecosystems in Norway", F.H. Braekke (ed.), SNSF-project FR 6/76: 87-111.
- LÉONARD, S. 1979.
"L'aquaculture marine". Pisc. Fr., 57: 47-52.
- LESEL, R. et C. IFERGAN. 1975.
"Essai de productions aquicoles intégrées: utilisation des eaux de rejets d'un circuit fermé expérimental de pisciculture pour la culture de cresson". Bull. Fr. Pisc., 259: 41-52.
- LESEL, R., C. JUSTE et J. KOENIG. 1976.
"Essai de productions aquicoles intégrées: possibilités d'utilisation des boues de pisciculture comme amendement organique agricole". Bull. Fr. Pisc., 262: 12-19.
- LI, H.W., et R.W. BROCKSEN. 1977.
"Approaches to the analysis of energetic costs of intraspecific competition for space by rainbow trout (Salmo gairdneri)". J. Fish Biol., 11: 329-341.
- LIAO, P.B. 1971.
"Water requirements of salmonids". Prog. Fish. Cult., 33(4): 210-215.
- LOUBIER, J.L. 1979.
"Les activités de l'Association des Pisciculteurs en 1979". La Pisciculture Québécoise, 3(1): 12 p.
- LOVELL, R.T. 1980.
"Nutrition and feeding". Dans: "Fish Farming Handbook". E.E. Brown et J.B. Gratzed (eds.), Avi Publishing Company Inc., Connecticut: 207-236.
- LUQUET, P. et G.L. RUMSLEY. 1979.
"Formulation et technologie des aliments secs pour poissons". Dans: "Proc. World Symp. on Finfish Nutrition and Fishfeed Technology", Hamburg, 20-23 June 1978, vol. II, Berlin: 21-30.

- MACCRIMMON, H.R. et C.J. SCOTT. 1969.
"World distribution of brook trout, Salvelinus fontinalis". J. Fish. Res. Board Can., 26(7): 1689-1795.
- MACCRIMMON, H.R. 1971.
"World distribution of rainbow trout (Salmo gairdneri)". J. Fish. Res. Board Can., 28(5): 663-704.
- MACCRIMMON, H.R. 1972.
"World distribution of rainbow trout (Salmo gairdneri): further observation". J. Fish. Res. Board Can., 29(12): 1788-1791.
- MACCRIMMON, H.R. 1977.
"Canada". Dans: "World Fish Farming: Cultivation and Economics", E.E. Brown (ed.), Connecticut: 73-86.
- MACCRIMMON, H.R. et T.K. TWONGO. 1980.
"Ontogeny of feeding behaviour in hatchery-reared rainbow trout. Salmo gairdneri Richardson". Can. J. Zool., 58: 70-76.
- MAISSE, G., M. DORSON et C. TORCHY. 1980.
"Inactivation de deux virus pathogènes pour les salmonidés (virus de la nécrose pancréatique infectieuse et de la septicémie hémorragique virale) par les rayons ultraviolets". Bull. Fr. Pisc., no. 278, 3e trimestre: 34-40.
- MARGOLIS, L. et J.R. ARTHUR. 1979.
"Synopsis of the Parasites of Fishes of Canada". Bull. Fish. Res. Board Can., no. 199, Ottawa: 270 p.
- MAYO, R.D. 1979.
"A technical and economic review of the use of reconditioned water in aquaculture". Dans: "Advances in Aquaculture", T.V.R. Pillay et Wm. A. Dill (eds.), FAO Technical Conference on Aquaculture, Kyoto, Japan, 26 May - 2 June 1976, Fishing News Books Ltd, England: 508-520.
- MAWDESLEY-THOMAS, L.E. 1972.
"Diseases of fish". Academic Press, London: 380 p.
- MCCORMICK, J.H., K.E.F. HOKANSON et B.R. JONES. 1972.
"Effects of temperature on growth and survival of young brook trout, Salvelinus fontinalis". J. Fish. Res. Board Can., 29: 1107-1112.
- MCLEAN, M.P., R.E. MCNICOL et E. SHERER. 1980.
"Bibliographie of toxicity test methods for the aquatic environment". Fish. Mar. Serv. Misc. Spec. Publ., no. 50: 29 p.
- MENENDEZ, R. 1976.
"Chronic effects of reduced pH on brook trout (Salvelinus fontinalis)". J. Fish. Res. Board Can., 33: 118-123.

- MICHEL, C. 1978.
"Sur l'utilisation des antibiotiques en pisciculture". Note technique no. 11, Bull. Fr. Pisc., 269: 207-209.
- MICHEL, C., J.P. GÉRARD, B. FOURBET, R. COLLAS et R. CHEVALIER. 1980.
"Emploi de la flumequine contre la furunculose des salmonidés: essais thérapeutiques et perspectives pratiques". Bull. Fr. Pisc., no. 277: 154-161.
- MILLER, P.J. 1979.
"A concept of fish phenology". Dans: "Fish Phenology Adaptiveness in Teleosts". Symp. Zool. Soc. Lond., 44: 1-28.
- MILNE, P.H. 1979.
"Selection of sites and design of cages, fishpens and net enclosures for aquaculture". Dans: "Advances in Aquaculture". T.V.R. Pillay and Wm. A. Dill (eds.), FAO Technical Conference on Aquaculture, Kyoto, Japan, 26 mai - 2 juin 1976, Fishing News Books Ltd., England: 416-422.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC. 1980.
"Proposition de transfert aux régions des activités concernant: 1. l'évaluation environnementale des projets de lacs artificiels; 2. le contrôle de la stabilité des barrages privés". Direction Générale de la Protection Générale de l'Environnement et de la Nature, Québec: 12 p.
- MINISTÈRE DU LOISIR, DE LA CHASSE ET DE LA PÊCHE. 1979.
"Estimé de la production de l'industrie piscicole en 1978". Service de Pisciculture, Québec: 1 p.
- MINISTÈRE DU LOISIR, DE LA CHASSE ET DE LA PÊCHE. 1980.
"Estimé de la production de l'industrie piscicole en 1979". Service de Pisciculture, Québec: 1 p.
- MINISTÈRE DU LOISIR, DE LA CHASSE ET DE LA PÊCHE. 1981.
"Établissement de pisciculture de catégorie 1". Service de Pisciculture, Québec: 22 p.
- MINISTÈRE DES PÊCHES ET ENVIRONNEMENT CANADA. 1977.
"Règlement sur la protection de la santé des poissons". Fish. Mar. Serv. Misc. Spec. Publ., no. 31: 36 p.
- MINISTÈRE DU TOURISME, DE LA CHASSE ET DE LA PÊCHE. 1978.
"Informations destinées aux pisciculteurs privés du Québec". Service de Pisciculture, Québec: 3 p.
- MITCHUM, D.L. et L.E. SHERMAN. 1981.
"Transmission of bacterial kidney disease from wild to stocked hatchery trout". Can. J. Fish. Aquat. Sci., 38: 547-551.

- MOAV, R. 1979.
 "Genetic improvement in aquaculture industry". Dans: "Advances in Aquaculture", T.V.R. Pillay et Wm. A. Dill (eds.), FAO Technical Conference of Aquaculture, Kyoto, Japan, 26 May - 2 June 1976, Fishing News Books Ltd., England: 610-622.
- MOLLER, D. 1979.
 "Recent developments in cage and enclosure aquaculture in Norway". Dans: "Advances in Aquaculture". T.V.R. Pillay et Wm. A. Dill (eds.). FAO Technical Conference on Aquaculture, Kyoto, Japan, 26 May - 2 June 1976, Fishing News Books Ltd., England: 447-452.
- MOLLER, D., G. NAEVDAL, M. HOLM et R. LEROY. 1979.
 "Variations in growth and age at sexual maturity in rainbow trout". Dans: "Advances in Aquaculture", T.V.R. Pillay et Wm. A. Dill (eds.), FAO Technical Conference on Aquaculture, Kyoto, Japan 26 May - 2 June 1976, Fishing News Books Ltd., England: 622-626.
- MONTPLAISIR, R. 1979.
 "Document de base concernant le projet de régionalisation du service de pisciculture, les normes régissant les pisciculteurs privées, l'orientation des piscicultures, lesensemencements et l'élevage et les maladies des salmonidés en pisciculture". Édition CREM, Montréal: 184 p.
- MOODY, T.M. et R.N. MCCLESKY. 1978.
 "Vertical raceways for production of rainbow trout". New Mexico Dept. of Game and Fish, rep. no. 17: 37 p.
- MORALES, H.L., O. GODARD, S. PASSARIS et C. ROMANINI. 1977.
 "Révolution bleue? aquiculture et éco-développement". Dans: "Nourrir en harmonie avec l'environnement" Mouton La Haye, Paris: 215-276.
- MUNRO, A.L.S. 1978.
 "The Aquatic Environment". Dans: "Fish Pathology", R.J. Roberts (ed.), Baillière Tindall, London: 1-12.
- NEBEKER, A.V., J.D. ANDROS, J.K. MCCRADY et D.G. STEVENS. 1978.
 "Survival of steelhead trout (*Salmo gairdneri*) eggs, embryos and fry in air supersaturated water". J. Fish. Res. Board Can., 35: 261-264.
- NOAKES, D.L.G. 1978.
 "Social behaviour as it influence fish production". Dans: "Ecology of Freshwater Fish Production", S.D. Gerking (ed.), John Wiley & Sons, New York: 361-382.
- PARKER, R.G.B. 1979.
 "Fish farming in Europe, commercial and political dimension". Food Policy, august 1979: 194-203.

- PAULHUS, J.P. 1972.
"Les bassins de pisciculture". Ministère du Tourisme, de la Chasse et de la Pêche, Qué. Serv. Faune Bull., no. 15: 37 p.
- PAULHUS, J.P. et M. DUFOUR. 1976.
"Nomenclature à utiliser en pisciculture aux différents stades de production". Ministère du Tourisme, de la Chasse et de la Pêche, Service de Pisciculture, Québec: 2 p.
- PAYNE, A.I. 1979.
"Physiological and ecological factors in the development of fish culture". Symp. Zool. Soc. Lond., no. 44: 383-415.
- PÉLOQUIN, R. 1978.
"Prévention des maladies en pisciculture". La Pisciculture Québécoise, 2(4): 3-4.
- PÉLOQUIN, R. 1979.
"La maladie bactérienne du rein diagnostiquée pour la première fois au Québec". La Pisciculture Québécoise, 3(1): 3.
- PETERS, M.D. et R.J. BOSE. 1975.
"Clinoptilotite. A physico-chemical approach to ammonia removal in hatchery and aquaculture water reuse systems". Fish. Mar. Serv. Tech., rep. no. 535: 12 p.
- PETERSON, R.H., A.M. SUTTERLIN et J.L. METCALFE. 1979.
"Temperature preference of several species of Salmo and Salvelinus and some of their hybrids". J. Fish. Res. Board Can., 36: 1137-1140.
- PETIT, J. 1981.
"Considérations biotechniques régissant la culture en étang, en cages ou en bassins des principaux organismes aquatiques". Dans: "Proc. World. Symp. on Aquaculture in Heated Effluents and Recircular Systems", Stavanger 28-30 may 1980, vol. II, Berlin: 53-76.
- PETTIGREW, T., E.B. HANDERSON, R.L. SAUNDERS et J.B. SOCHASKY. 1978.
"A review of water reconditioning re-use technology for fish culture with a selected bibliography". Fish. Mar. Serv. Tech. Rep., no. 801: IV + 19 p.
- PHILIPPS, A.M. Jr. 1969.
"Nutrition, digestion, and energy utilization". Dans: "Fish Physiology", W.S. Hoar et D.J. Randall (eds.), Academic Press, New York, vol. I: 351-432.
- PHILLIPS, A.M., Jr. et D.R. BROCKWAY. 1959.
"Dietary calories and the production of trout in hatcheries". Prog. Fish. Cult., 21: 3-16.

- PIEPER, A. et P. PFEFFER. 1979.
 "Carbohydrates as possible sources of dietary energy for rainbow trout (Salmo gairdneri Richardson)". Dans: "Proc. Symp. on Finfish Nutrition and Fishfeed Technology", Hamburg 20-23 june 1978, vol. I, Berlin: 209-215.
- PIPER, R.G., J.L. BLUMBERG et J.E. HOLWAY. 1975.
 "Length-weight relationships in some salmonid fishes". Prog. Fish. Cult., 37(4): 181-184.
- POSTON, H.A. 1978.
 "Neuroendocrine mediation of photoperiod and other environmental influences of physiological responses in salmonids: a review". U.S. Fish and Wildlife Service, Washington: 14 p.
- PRÉVOST, G. 1952.
 "Contribution à l'étude du comportement de Salvelinus fontinalis fontinalis", Montréal: 622 p.
- PRITCHARD, G.I. 1978.
 "Aquiculture. L'élevage du poisson". Dans: "L'eau source de nourriture- pêches et aquiculture". Publ. no. 39, Ottawa: 21-27.
- REAY, P.J. 1979.
 "Aquaculture". Studies in Biology no. 106, London: 56 p.
- REICHENBACH-KLINKE, H. 1971.
 "Température et développement de parasites et de maladies de poissons d'eau douce". Bull. Aqu. FAO, 3(3): 12-13.
- REINERT, R. 1980.
 "Environmental factors". Dans: "Fish Farming Handbook". E.E. Brown et J.B. Gratzed (eds.), The AVI Publishing Company Inc., Connecticut: 13-70.
- RENO, P.W., S. DARLEY et M. SAVAN. 1978.
 "Infectious pancreatic necrosis: experimental induction of a carrier state in trout". J. Fish. Res. Board Can., 35: 1451-1456.
- RICKER, W.E. 1979.
 "Growth rates and models". Dans: Fish physiology - Bioenergetics and Growth". W.S. Hoar, D.J. Randall et J.R. Brett (eds), vol. 8: 677-743.
- RICKER, W.E. 1980.
 "Calcul et interprétation des statistiques biologiques des populations de poissons", Ministère des Pêches et des Océans, Bulletin no. 191F, Ottawa: 408 p.
- ROBERTS, R.J. 1978.
 "The Aquatic Environment". Dans: "Fish Pathology", R.J. Roberts (ed.), Bailliere Tindall, London: I-12.

- ROSSE, J. 1979.
"Trout waste problem solved". Industrial Wastes, November - December 1979: 23.
- ROSSION, P. 1981.
"Clonage: c'est le tour des poissons". Science et Vie, 767: 38-39.
- RUSSO, R.C., R.V. THURSTON et K. EMERSON. 1981.
"Acute toxicity of nitrite to rainbow trout (Salmo gairdneri): effects of pH, nitrite species, and anions species". Can. J. Fish. Aquat. Sci., 38: 387-393.
- RYCHLY, J. et B.A. MARINA. 1977.
"The ammonia excretion of trout during a 24 hour period". Aquaculture, 11: 173-178.
- RYDER, R.A. s.d.
"Farm ponds for trout in Ontario". Department of Lands and Forests, Sport Fisheries Branch, Ontario: 21 p.
- SAMSON, L., P.J. PAULHUS et B. DION. 1976.
"Politique de zonage concernant l'introduction de salmonidés exotiques au Québec et des autres espèces dont l'élevage est permis". Ministère du Tourisme, de la Chasse et de la Pêche, Direction générale de la Chasse et de la Pêche, Québec: 29 p.
- SAMSON, P. 1977.
"La pisciculture fermière". Forêt Conserv., 43(1): 5-14.
- SARIG, S. 1979.
"Fish diseases and their control in aquaculture". Dans: "Advances in Aquaculture", T.V.R. Pillay et Wm. A. Dill (eds.), FAO Technical Conference on Aquaculture, Kyoto, Japan, 26 May - 2 June 1976, Fishing News Books Ltd., England: 190-197.
- SCHOEDER, G. et B. HEPHER. 1979.
"Use of agricultural and urban wastes in fish culture". Dans: "Advances in Aquaculture", T.V.R. Pillay et Wm. A. Dill (eds.), FAO Technical Conference on Aquaculture, Kyoto, Japan, 26 May - 2 June 1976, Fishing News Books Ltd., England: 487-489.
- SCOTT, W.B. et E.J. CROSSMAN. 1978.
"Poissons d'eau douce du Canada". Ministère de l'Environnement, Service des Pêches et des Sciences de la Mer, Ottawa: 1026 p.
- SEDGWICK, S.D. 1973.
"Trout Farming". Seely, Service & Co., London: 157 p.
- SÉGUIN, L.R. 1972.
"Étangs de pêche: construction et entretien". Ministère du Tourisme, de la Chasse et de la Pêche, Qué. Serv. Faune Bull. no. 14: 28 p.

- SÉGUIN, L.R., B. DION et R. CHARBONNEAU. 1978.
"Élevage de truites avec le minimum d'eau fraîche de compensation possible et revue de travaux antérieurs sur la régénération des eaux piscicoles". Centre de Recherches en Sciences appliquées à l'alimentation, CRESALA, UQAM, Montréal: 48 p.
- SHIRAHATA, S. 1964.
"Problems of water quality in food trout production". Bull. Fac. Fish, Nagasaki University, 17: 68-82.
- SLINGER, S.J. et C.Y. CHO. 1978.
"Fish Farming-research needs and prospects". Highlights of agricultural research in Ontario, 1(3): 13-16.
- SMITH, R.R. 1976.
"Nutrient utilization by fish". Dans: "Proceedings of the First International Symposium of Feed Composition Animal Nutrient Requirements, and Computerization of Diets", Logan, Utah, 11-16 July, 1976, paper 45.
- SMITH, E.C., D.O. MELVIN, R.G. PIPER et W.P. DWYERS. 1979.
"Effect of diet composition on performance of rainbow trout brook stock during a three year period". Prog. Fish. Cult., 41(4): 185-188.
- SNIESZKO, S.F. 1973.
"Furonculose des salmonidés". Dans: "Symposium sur les principales maladies transmissibles des poissons en Europe". EIFAC Technical Paper no. 17, Rome: 163-169.
- SPINELLI, J. 1979.
"Influence of feed on finfish quality". Dans: "Proc. World Symp. on Finfish Nutrition and Fishfeed Technology", Hamburg, 20-23 June 1978, vol. II, Berlin: 345-352.
- SPINELLI, J.C., MAHNKEN et M. STEINBERG. 1979.
"Alternative sources of proteins for fish meal in salmonid diets". Dans: "Proc. World Symp. on Finfish Nutrition and Fishfeed Technology". Hamburg, 20-23 June 1978, vol. II, Berlin: 131-142.
- SPOTTE, S.H. 1970.
"Fish and Invertebrate Culture". Wiley-Interscience, John Wiley and Sons, Inc., New York: 145 p.
- SPRY, D.J., C.M. WOOD et P.V. HODSON. 1981.
"The effects of environmental acid on freshwater fish with particular reference to the softwater lac in Ontario and the modifying effects of heavy metals: a literature review". Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci., no. 999: 145 p.
- STABELL, O.B. et T. ROFSTIE. 1980.
"A notion the significance of the olfactory sense upon sexual maturation in Atlantic Salmon (Salmo salar L.)". Aquaculture, 21: 165-170.

- STEFFENS, W. 1981.
"Protein utilization by rainbow trout (Salmo gairdneri) and carp (Cyprinus carpio): a brief review". *Aquaculture*, 23: 337-345.
- STEVENS, D.G., A.V. NEBEKER et R.J. BAKER. 1980.
"Avoidance responses of salmon and trout to air-supersaturated water". *Transactions of the American Fisheries Society*, 109: 751-754.
- SUTTERLIN, A.M., P. HARMON et H. BARCHARD. 1976.
"The culture of brook trout in salt water". *Fish. Mar. Serv. Res. Dev. Tech. Rep.*, no. 636: 21 p.
- SYLVESTER, J.R. 1975.
"Biological considerations on the use of thermal effluents for finfish aquaculture". *Aquaculture*, 6: 1-10.
- SYNDICAT DES PISCICULTEURS DU QUÉBEC. 1981.
"Mémoire du syndicat au soutien de sa requête pour approbation d'un plan conjoint des pisciculteurs du Québec". Montréal: 19 p.
- TANAKA, J. 1979.
"Utilization of heated discharge water from electric power plants in aquaculture". Dans: "Advances in aquaculture", T.V.R. Pillay et Wm. A. Dill (eds.), *FAO Conference on Aquaculture*, Kyoto, Japan, 26 May - 2 June 1976, Fishing News Books Ltd., England: 499-502.
- TERVER, D. 1980.
"Une éclosérie piscicole intégrée". *Pisc. Fr.*, 59: 31-37.
- TESSIER, A. 1979.
"Chimie des eaux naturelles: aspects physiques et inorganiques". Note de cours. INRS-Eau, Ste-Foy, chap. 2-3: 1-26.
- TRUSSELL, R.P. 1972.
"The percent un-ionized ammonia in aqueous ammonia solutions at different pH levels and temperatures". *J. Fish. Res. Board Can.*, 29: 1505-1507.
- TRZEBIATOWSKI, R., J. FILIPIAK et R. JAKUBOWSKI. 1981.
"Effects of stock density on growth and survival of rainbow trout (Salmo gairdneri Rich.)". *Aquaculture*, 22: 289-295.
- TURGEON, Y., B. DION, P.L. LANDRY et L. HANSEN. 1980.
"Propositions pour un plan de santé piscicole au Québec". Rapport présenté aux autorités du MLCP et du MAPAQ, Québec: 12 p.
- TWONGO, T.K. et H.R. MACCRIMMON. 1976.
"Significance of the timing of initial feeding in hatchery rainbow trout Salmo gairdneri". *J. Fish. Res. Board Can.*, 33: 1914-1921.

- URSIN, E. 1979.
"Principles of growth in fishes". Dans: "Fish Phenology, Anabolic Adaptiveness in Teleosts". Symp. Zool. Soc. Lond, no. 44: 63-87.
- WATANABE, T., T. TAKEUCHI, Ch. OGINO. 1979.
"Studies on the sparing effect of lipids on dietary protein in rainbow trout (Salmo gairdneri)". Dans: "Proc. Symp. on Finfish Nutrition and Fishfeed Technology", Hamburg, 20-23 June 1978, vol. 1, Berlin: 113-125.
- WAYNAVORICH, E. 1979.
"The feasibility of combining animal husbandry with fish farming, with special reference to duck and pig production". Dans: "Advances in Aquaculture", T.V.R. Pillay et Wm. A. Dill (eds.), FAO Conference on Aquaculture, Kyoto, Japan, 26 May - 2 June 1976, Fishing News Books Ltd., England: 203-204.
- WESTERS, H. 1970.
"Carrying capacity of salmonid hatcheries". Prog. Fish-Cult., 32(1): 43-46.
- WESTERS, H. et K.M. PRATT. 1977.
"Rational design of hatcheries for intensive salmonid culture, based on metabolic characteristics". Prog. Fish Cult., 39(4): 157-165.
- WILKINS, N.P. 1981.
"The rationale and relevance of genetics in aquaculture: an overview". Aquaculture, 22: 209-225.
- WIRTZ, P. 1974.
"The influence of the sight of a conspecific on the growth of Blennius pholis (Pices teleostei)". J. Comp. Physiol., 91: 161-165.
- WHITAKER, J. et J. MARTIN. 1974.
"The cage rearing of rainbow trout in precambrien lakes". Fish. Res. Board Can. Tech. Rep., no. 466: 13 p.
- WRAY, T. 1981.
"Manitoba testing hatchery helped by the sun's heat", Fish Farming International, March 1981: 28-33.
- WURTSBAUGH, W.A. et G.E. DAVIS. 1977.
"Effects of temperature and ration level on the growth and food conversion efficiency of Salmo gairdneri, Richardson". J. Fish. Biol., 11: 87-98.
- YAMAMOTO, T. 1974.
"Infections pancreatic necrosis virus occurrence at a hatchery in Alberta". J. Fish. Res. Board Can., 31: 397-402.

YU, M.L. et A. PERLMETTER. 1970.

"Growth inhibiting factors in the Zebra fish, Brachydanio rerio and the blue gourami, Trichogaster trichopterus". Growth, 34: 153-175.