Chapitre 1

La salmoniculture en eau douce

Rolland BILLARD
Laboratoire de Physiologie des Poissons
Institut National de la Recherche Agronomique
78350 JOUY-EN-JOSAS (France)

1.- INTRODUCTION

L'élevage des Salmonidés a débuté à la fin du siècle dernier aux Etats-Unis, en Europe et au Japon et s'est progressivement développé depuis. On distingue plusieurs modes d'exploitation : un mode zootechnique, intensif, représenté par la truite arc-en-ciel, le saumon atlantique (principalement en Norvège) et divers saumons du genre Onchorynchus sur la côte Pacifique des Etats-Unis ; la production mondiale annuelle dépasse actuellement 200 000 tonnes, surtout représentée par la truite arc-en-ciel. Un autre mode d'exploitation consiste à prégrossir des juvéniles et à les lâcher aux fins de repeuplement dans le milieu naturel où s'effectuera le grossissement, la capture étant faite soit par des pêcheurs amateurs (cas de très nombreuses espèces de Salmonidés), soit par des pêcheurs professionnels (cas des saumons pacifiques et, à un moindre degré, du saumon atlantique) ; c'est le pacage marin ou lacustre dont les productions approchent 2 milliards de juvéniles relâchés dans le monde (Thorpe, 1980).

Dans tous les cas, il y a maîtrise de la plupart des étapes du cycle vital, en particulier de la reproduction.

Après un siècle de tradition d'élevage, on peut considérer que des espèces comme la truite arc-en-ciel sont réellement domestiquées, avec modifications de leur biologie, comme, par exemple, l'époque de reproduction qui a été avancée du printemps, dans l'espèce originelle, à l'automne.

En France, la production principale représentée par la truite arc-en-ciel (Salmo gairdneri) a considérablement augmenté entre 1960 et 1980 *(figure 1)*. Avant 1960, l'alimentation était surtout à base de poissons frais et de déchets d'abattoirs et les pisciculture étaient localisées près des ports et à proximité des abattoirs. Avec l'apparition de l'aliment sous forme de granulés, les entreprises se sont multipliées. Elles ont rapidement colonisé les sites les plus favorables sur l'ensemble du territoire puis ont intensifié leur production avec l'emploi d'aérateurs ou d'oxygénateurs. La production reste cependant le fait de quelques régions : Bretagne 40 %, Nord-Normandie 30 %, le reste de la France 30 %. Il y a environ 700 pisciculture en France, 75 % produisant moins de 50 tonnes/an, 17 % de 20 à 50 tonnes/an, et 12 % plus de 100 tonnes. 400 d'entre elles (les plus importantes) écoulent leur production sur le marché de gros qui est contrôlé par dix à quinze grossistes français et européens, le reste trouvant un débouché local : collectivités, restaurants, particuliers. La production est essentiellement écoulée en France et une partie importante en restauration (45 %).

2.- MISE EN PLACE D'UNE EXPLOITATION SALMONICOLE

La décision d'implanter *de novo* une pisciculture de Salmonidés doit prendre en compte de nombreux facteurs comme le débit et la qualité de l'eau disponible, l'existence d'autres pisciculture en amont, la topographie du site (surface utilisable, dénivelé, pente), la perméabilité du sol, les caractéristiques du bassin versant et de l'environnement en amont de la rivière ou de la source d'eau (zone d'agriculture et d'élevage intensifs), la législation des eaux, etc. Les caractéristiques du

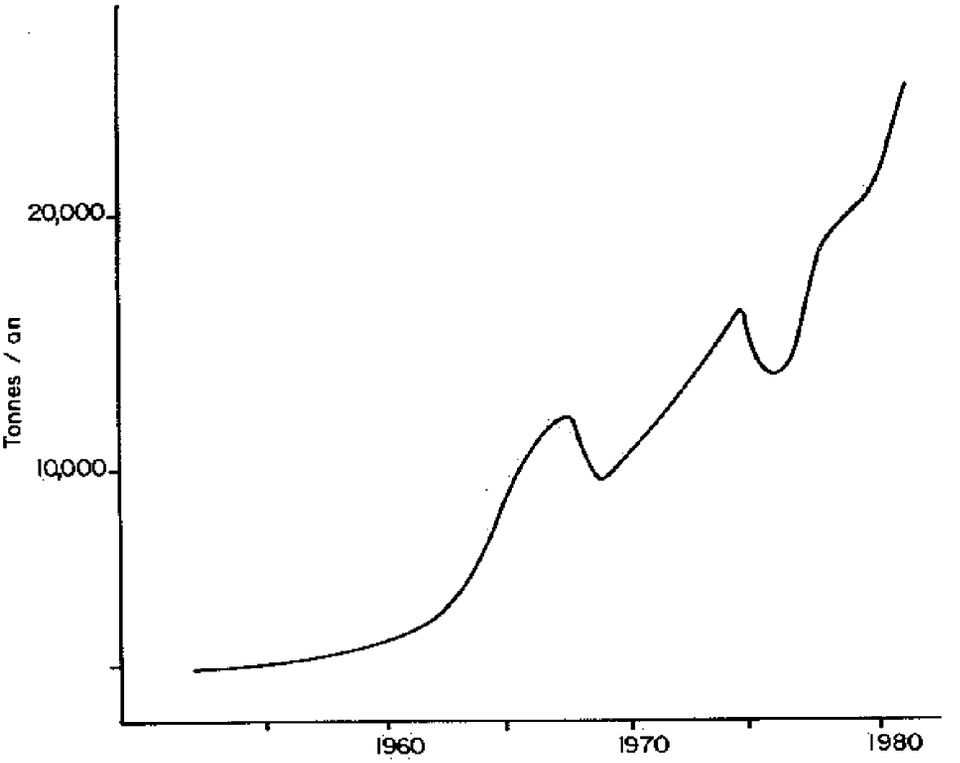


Figure 1.- *Evolution de la production française annuelle de truites arc-en-ciel*
La première dépression vers la fin des années 1960 correspond à une épidémie de Septicémie Hémorragique Virale (SHV) et la seconde est due à la sécheresse de 1976 qui a fortement réduit les quantités d'eau disponibles.

débit et de la qualité des eaux (température, oxygène dissous, pH, turbidité) doivent être suivies tout au long de l'année et, si possible, sur plusieurs années, avant d'implanter une salmoniculture. On peut se référer à des statistiques déjà établies par la Direction Départementale de l'Agriculture ou le Service Régional d'Aménagement des Eaux. Il est aussi conseillé de vérifier la survie et la croissance de truitelles en en plaçant, par exemple, en cage dans la rivière. L'eau peut provenir d'une rivière, d'une résurgence, d'un lac, auquel cas l'alimentation se fera par pompage.

L'agencement et l'importance donnée aux différentes composantes d'une exploitation salmonicole vont dépendre du type de production envisagé : oeufs embryonnés, truitelles, truites portion, grosses truites. Seront alors privilégiés les dispositifs d'incubation, d'alevinage et de grossissement. L'importance des bâtiments et des structures de stockage des aliments va aussi varier selon le type de production.

Les dispositifs d'incubation sont très diversifiés, allant d'une simple caisse remplie d'oeufs ou d'un empilement de claies portant une monocouche d'oeufs *(figure 2)* et parcourue d'un courant ascendant, à l'incubateur de type Heath *(figure 3)*, en passant par l'auge (en général, 3 m x 0,5 m et 0,25 m de profondeur) qui sert à la fois pour l'incubation (claie suspendue) et pour le premier alevinage.

Il existe une très grande diversité de bassins. Il s'agit, en général, de bassins rectangulaires allongés (raceways) dans lesquels l'ensemble de la masse d'eau progresse d'amont en aval. Les bassins en terre de type danois *(figure 4)* sont bon marché et bien qu'une minéralisation

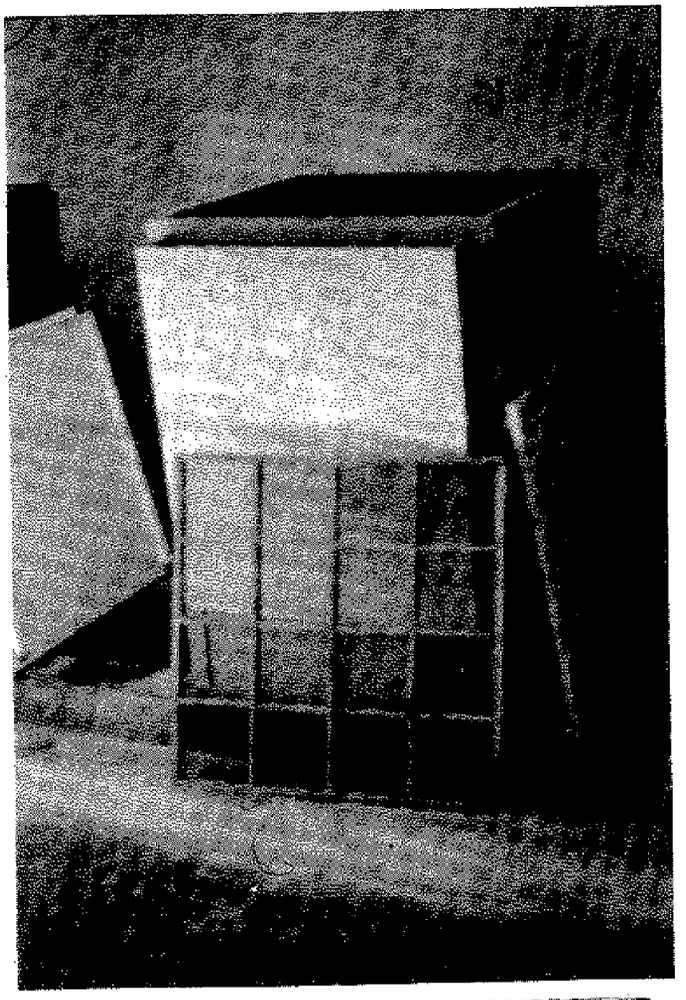


Figure 2.- *Armoire d'incubation d'oeufs de truites Les oeufs sont disposés en monocouche dans chaque compartiment du cadre (ce qui permet de séparer les pontes des différentes femelles). L'armoire mesure 60 x 60 cm sur une hauteur de 1 m, et contient entre 800 000 à 1 000 000 d'oeufs placés sur un empilement de 22 cadres.*
(Pisciculture de Vermenoux, Nièvre)



Figure 3.- *Batterie d'incubateurs "Heath"*
(Eclosier Capilano en Colombie Britannique, Canada)

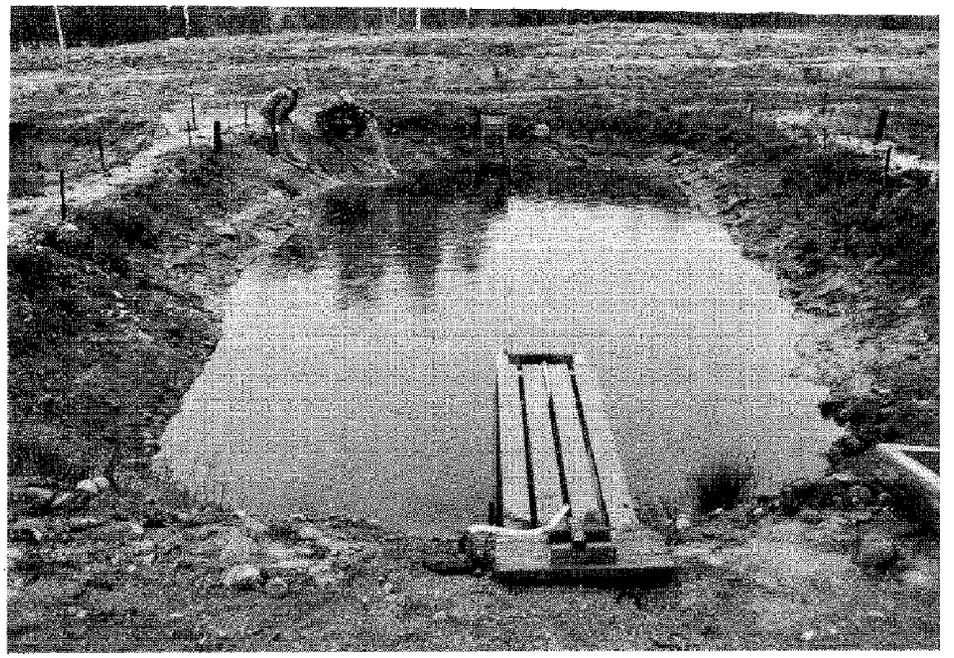


Figure 4.- *Bassins de grossissement en terre (Pisciculture Savon Taimen, OY, Finlande)*

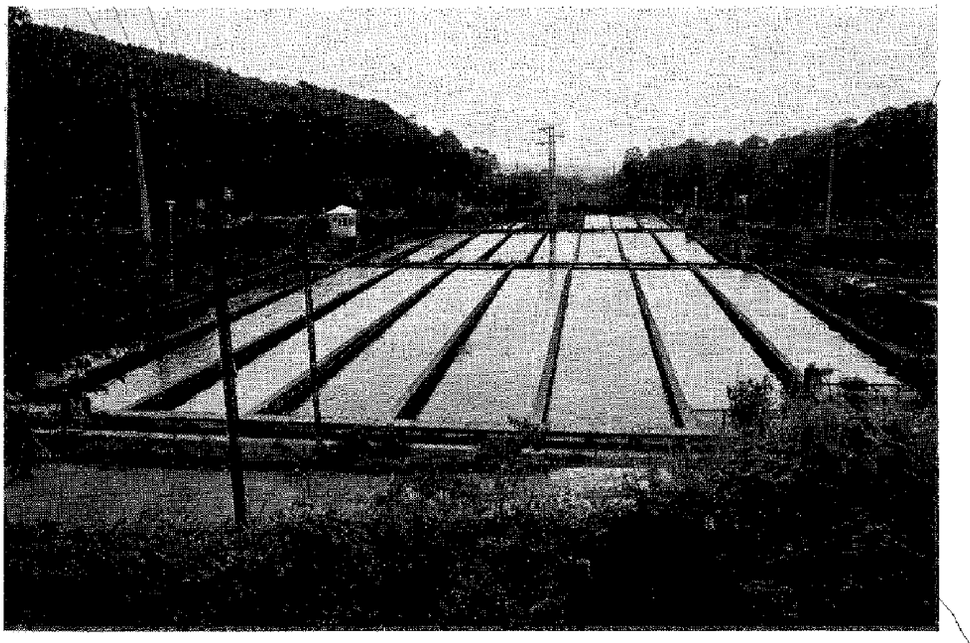


Figure 5.- *Bassins de salmoniculture en béton (région de Skopje, Yougoslavie)*

des produits azotés semble intervenir dans ces bassins, leur nettoyage est difficile, de même que leur désinfection en cas de maladies. Les bassins en béton *(figure 5)* sont d'un coût de construction plus élevé mais ils présentent une plus grande facilité de gestion. Ces bassins peuvent être disposés en série, c'est-à-dire que l'eau cascade d'un bassin à l'autre et se trouve réoxygénée par des chutes, ou en parallèle où l'eau n'est utilisée qu'une seule fois. Les bassins rectangulaires de type "raceway" présentent des inconvénients liés à la lenteur du courant qui ménage des zones mortes non renouvelées et laisse les déchets s'accumuler, d'où la nécessité de nettoyages mécaniques fréquents associés à un abaissement du niveau pour augmenter le débit, ce qui est

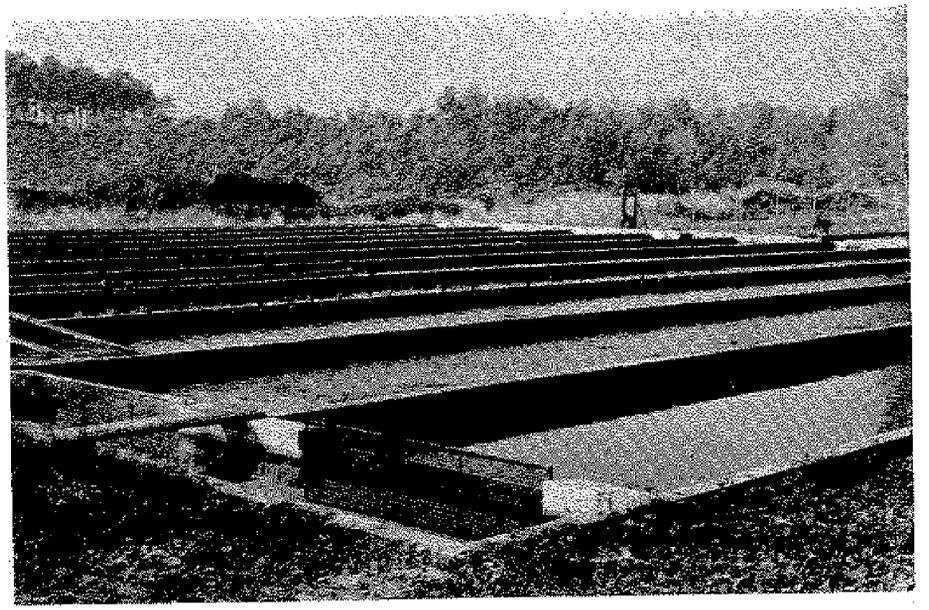


Figure 6.- *Circulation de l'eau assurée par une entrée et une sortie très large*
(Pisciculture Lamothe, Landes)

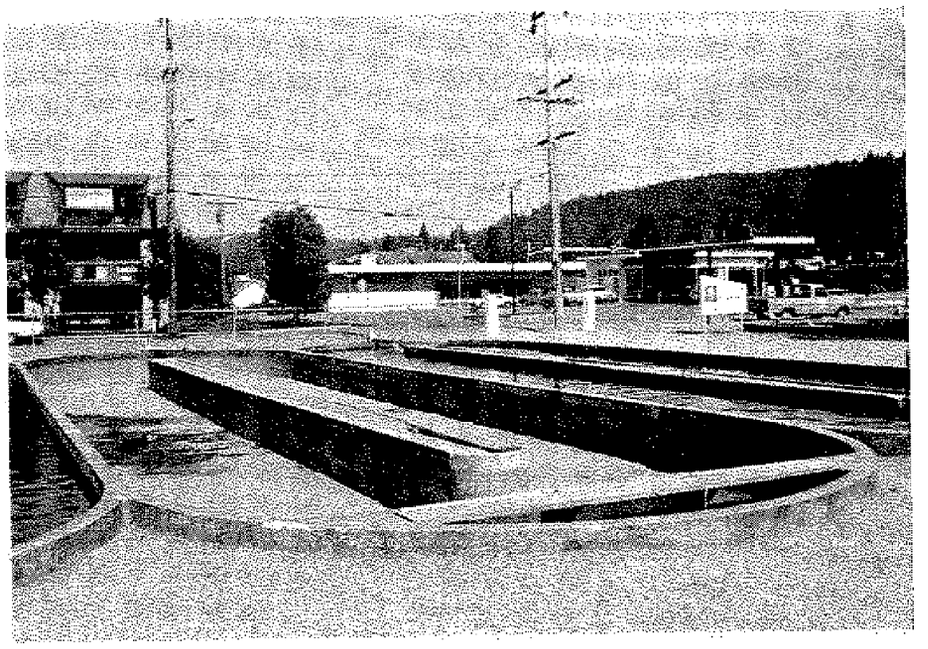


Figure 7.- *Bassin de béton muni d'une cloison centrale*
(Ecloserie Issaquah, état de Washington, U.S.A.)

préjudiciable au poisson. En outre, dans un courant faible, la nourriture distribuée automatiquement est moins bien répartie et n'est pas également accessible à l'ensemble des poissons. On a cherché à améliorer la circulation de l'eau dans les raceways en offrant à l'eau une entrée et une sortie très larges *(figure 6)*. Les deux extrémités sont alors fermées par une grille placée sur toute la largeur du raceway ; les barres de la grille peuvent être placées horizontalement, ce qui permet de les écarter davantage et de limiter la résistance offerte au courant. D'autres dispositifs sont aussi utilisés pour assurer une meilleure circulation de l'eau, comme, par exemple, des raceways munis d'une cloison

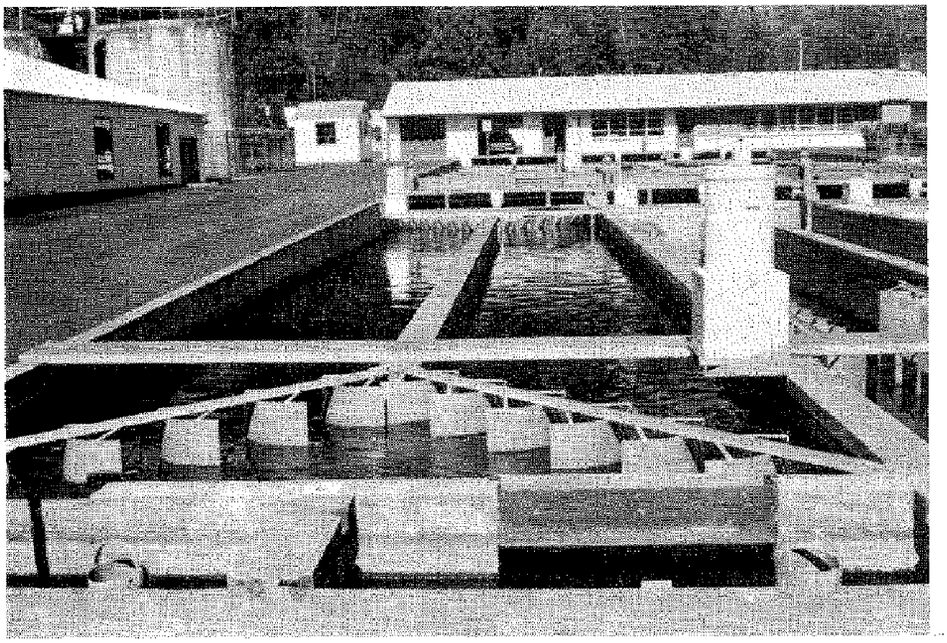


Figure 8.- *Bassin muni de déflecteurs*
(Station de Recherche d'Abernathy, état de Washington, U.S.A.)

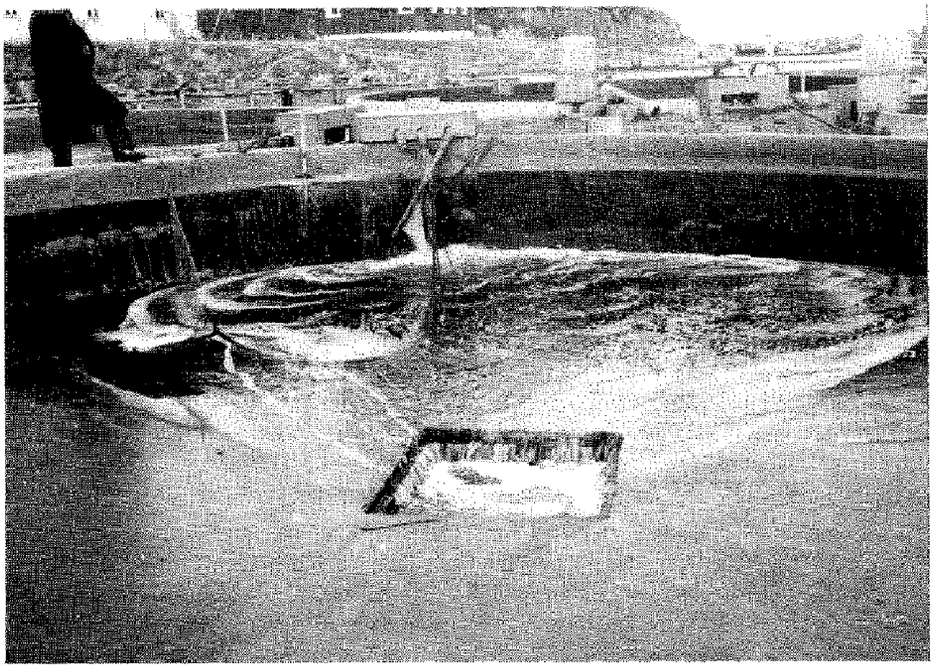


Figure 9.- *Bassin circulaire avec évacuation centrale*
(Station de Recherche de Sundalsore, Norvège)

centrale *(figure 7)*, avec déflecteur de type Burrows *(figure 8)*. Cependant, certains pisciculteurs estiment qu'en ajustant judicieusement la charge en poissons dans un raceway à larges ouvertures, les matières fécales sont mises en suspension par les poissons eux-mêmes et éliminées par le courant.

Il existe un autre type de bassin dont la conception est complètement différente (type suédois) *(figure 9)*. Il s'agit de bassins circulaires ou carrés à bords arrondis, à fond plat, avec arrivée d'eau tangentielle et évacuation centrale et trop plein extérieur réglables, le tout déterminant un mouvement hélicoïdal de l'eau, rapide et autonettoyant,



Figure 10.- *Cylindre grillagé placé au centre d'un bassin subrectangulaire (Pisciculture Savon Taimen, OY, Finlande)*

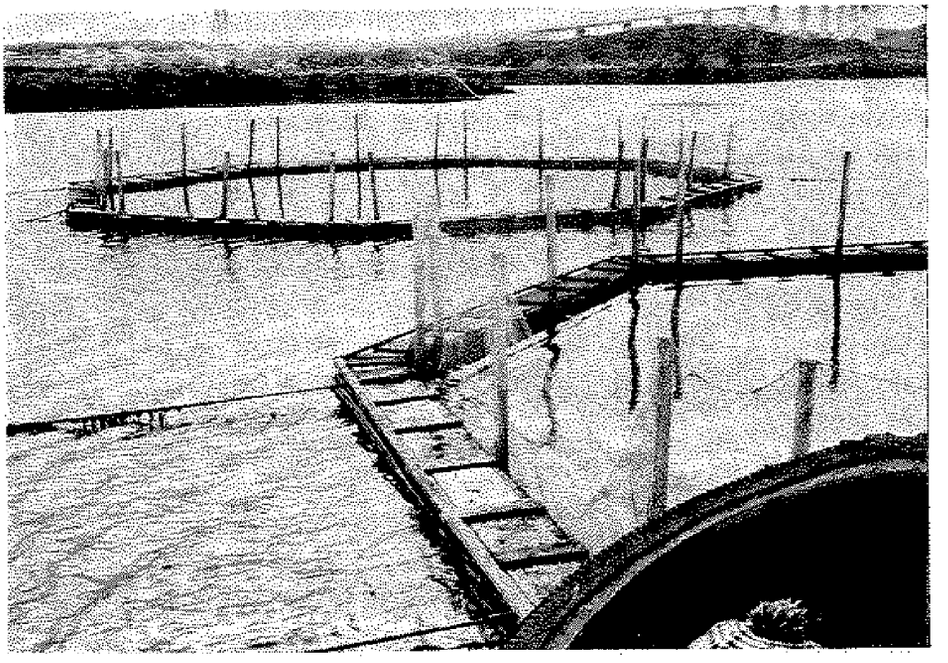


Figure 11.- *Cage de type hexagonal (Holberg-Grondvet, Norvège)*

lorsque le débit dépasse 30 m^3/h pour un bassin de 10 m de côté. Dans certains cas, un cylindre grillagé est placé au centre du bassin *(figure 10)*, ménageant une zone dans laquelle s'accumulent les matières fécales qu'il est facile d'éliminer par le trop plein central ou d'aspirer. Cela peut être fait directement dans une tonne à lisier, ce qui permet de recueillir une grande partie de la matière organique figurée et limite ainsi les rejets à l'aval de la pisciculture. La hauteur d'eau optimale dans les bassins varie selon les espèces. Pour certaines espèces comme les saumons qui restent localisés sur le fond du bassin, la hauteur d'eau a peu d'importance ; mais, dans le cas de la truite arc-en-ciel, qui se distribue dans toute la colonne d'eau, la hauteur

optimale peut atteindre 2 à 2,50 m. Une telle hauteur n'est cependant pas compatible avec un bon entretien des bassins : la pêche, l'observation des poissons et le ralentissement du courant qui en résulte, entraînant un dépôt de féces qu'il est alors difficile d'enlever. Pour toutes ces raisons, la lame d'eau n'excède pas, en général, 0,80 à 1 m.

L'élevage des Salmonidés se pratique aussi en cages flottantes *(figure 11)* (voire même immergées), implantées dans des lacs ou en mer.

3.- L'EAU ET SA GESTION EN SALMONICULTURE

L'eau est le principal facteur de production en pisciculture intensive et plus particulièrement en salmoniculture. L'eau apporte l'oxygène, élimine les déchets du métabolisme et va, par sa composition et sa variabilité physico-chimique, conditionner les performances de production. En ce qui concerne l'eau, les exigences des Salmonidés sont quantitatives (débit, vitesse) et qualitatives (composition, température - cette dernière ne doit pas excéder 20°C pour la truite arc-en-ciel par exemple -), ce qui limite les sites possibles d'implantation. Une autre limitation majeure réside dans le fait que la matière organique rejetée en aval des salmonicultures constitue une pollution qui fait l'objet de réglementations sévères.

3.1.- La qualité physico-chimique des eaux

Les qualités physico-chimiques des eaux d'élevage sont étudiées par ailleurs dans ce volume (Première Partie) et seront énumérées ici pour les Salmonidés *(tableau 1)*.

3.1.1.- L'oxygène

Les teneurs maximales de l'eau en oxygène dépendent de nombreux facteurs *(figure 12)*. La teneur en oxygène dissous diminue lorsque la température et la salinité s'élèvent et augmente avec la pression atmosphérique. Les valeurs exactes de la solubilité de l'oxygène dans l'eau douce sont données dans le tableau 2. A l'entrée des bassins d'élevage, les teneurs en oxygène effectivement présentes vont dépendre de la hauteur de la chute d'eau et de l'environnement biotique de la rivière ; par exemple, la présence de végétaux chlorophylliens qui augmentent les teneurs en oxygène le jour et les diminuent la nuit, et la quantité de matière organique en décomposition. A l'intérieur même des bassins, la dégradation des déchets et, le cas échéant, la respiration nocturne des végétaux sont demandeurs d'oxygène et entrent en compétition avec le poisson lui-même.

Les quantités d'oxygène nécessaires à la dégradation de la matière organique peuvent être évaluées par la DBO (Demande Biologique en Oxygène) et la DCO (Demande Chimique en Oxygène) (voir Première Partie et *tableau 1*).

Les besoins en oxygène et leur couverture sont détaillés dans la Première Partie, chapitre 2. Dans une salmoniculture, on estime que les poissons en grossissement doivent avoir en permanence des taux minimaux

Tableau 1.- *Composition des eaux pour l'élevage de Salmonidés (valeurs en mg/l)*

Oxygène dissous	> 70 % de saturation*
CO_2	0 - 10
Alcalinité totale ($CaCO_3$)	10 - 400
pH	6,6 - 8
Calcium (Ca)	4 - 150
Manganèse	0 -0,01
Fer total	0 -0,15
. ions ferreux	0
. ions ferriques	0,5
Phosphore	0,01- 3,0
Nitrates	0 - 3,0
Nitrites	
. Ca > 50	< 0,2
. Ca < 50	< 0,1
Ammoniac (NH_3)	< 0,020
Azote (% de la saturation)	< 102 - 105
Matières en suspension	< 25
DBO	< 10
DCO	< 30

* *Un taux de saturation plus faible peut être compensé par un débit plus élevé.*

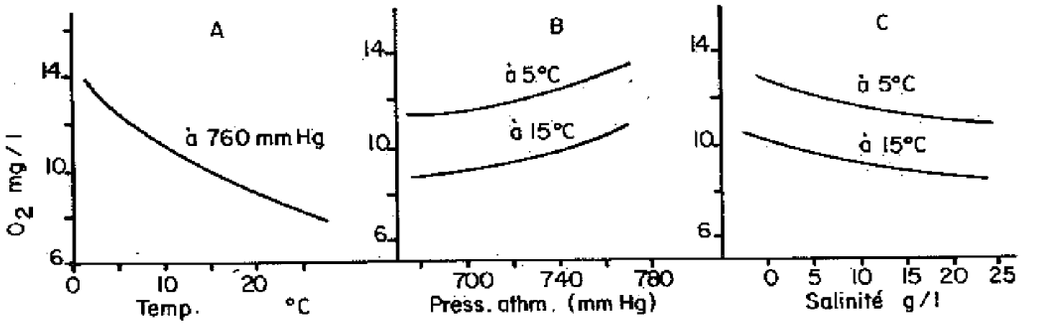


Figure 12.- *Teneur en O_2 de l'eau en mg/l en relation avec la température - eau douce et à la pression atmosphérique de 760 mm de mercure (A) -, avec la pression atmosphérique - eau douce aux températures de 5 et 15°C (B) -, et la salinité - sous pression atmosphérique de 760 mm de mercure et aux températures de 5 et 15°C (C) -*
(D'après Rigaud, 1981)

d'oxygène de 5 à 5,5 mg/l. Les oeufs et les alevins sont plus exigeants et demandent un minimum de 6-7 mg/l. La quantité d'oxygène utilisable par les truites sera en fait la différence entre ces valeurs minimales et les valeurs observées.

Tableau 2.- *Solubilité de l'oxygène dans l'eau (en mg/l) pour des températures comprises entre 1 et 22°C et des pressions atmosphériques allant de 680 à 770 mm de mercure. L'altitude correspondante est donnée à titre indicatif*

Temp. °C	Pression atmosphérique (mmHg)																	
	680	685	690	695	700	705	710	715	720	725	730	735	740	745	750	755	760	765	770
	Altitude (m)																		
	900		800		700		600		500		400		300		200		100		0
1	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	13	13	13	13	13	13	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	14	14	14
2	12	12	12	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	13	13	13	13	13	13	13,5	13,5	13,5	13,5
3	11,5	12	12	12	12	12	12	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	13	13	13	13	13	13
4	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	12	12	12	12	12	12	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	13	13
5	11	11	11	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	12	12	12	12	12	12	12,5	12,5	12,5	12,5
6	11	11	11	11	11	11	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	12	12	12	12	12	12
7	10,5	10,5	10,5	10,5	11	11	11	11	11	11	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	12	12	12
8	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	11	11	11	11	11	11	11	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5
9	10	10	10	10	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	11	11	11	11	11	11	11,5	11,5
10	9,9	9,9	9,9	10	10	10	10	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	11	11	11	11	11
11	9,6	9,6	9,7	9,8	9,8	9,9	10	10	10	10	10	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	11
12	9,4	9,4	9,5	9,6	9,6	9,7	9,8	9,8	9,9	10	10	10	10	10	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
13	9,1	9,2	9,3	9,3	9,4	9,5	9,5	9,6	9,7	9,7	9,8	9,9	9,9	10	10	10	10	10,5	10,5
14	8,9	9,0	9,1	9,1	9,2	9,3	9,3	9,4	9,5	9,5	9,6	9,7	9,7	9,8	9,9	9,9	10	10	10
15	8,7	8,8	8,9	8,9	9,0	9,1	9,1	9,2	9,2	9,3	9,4	9,4	9,5	9,6	9,6	9,7	9,8	9,9	9,9
16	8,6	8,6	8,7	8,7	8,8	8,9	8,9	9,0	9,1	9,1	9,2	9,2	9,3	9,4	9,4	9,5	9,6	9,6	9,7
17	8,4	8,4	8,5	8,6	8,6	8,7	8,8	8,8	8,9	8,9	9,0	9,1	9,1	9,2	9,2	9,3	9,4	9,4	9,5
18	8,2	8,3	8,3	8,4	8,5	8,5	8,6	8,6	8,7	8,8	8,8	8,9	8,9	9,0	9,1	9,1	9,2	9,2	9,3
19	8,1	8,1	8,2	8,2	8,3	8,4	8,4	8,5	8,5	8,6	8,7	8,7	8,8	8,8	8,9	8,9	9,0	9,1	9,1
20	7,9	8,0	8,0	8,1	8,1	8,2	8,2	8,3	8,4	8,4	8,5	8,6	8,6	8,7	8,7	8,8	8,8	8,9	9,0
21	7,8	7,9	7,9	7,9	8,0	8,1	8,1	8,2	8,2	8,3	8,3	8,4	8,5	8,5	8,5	8,6	8,7	8,7	8,8
22	7,6	7,7	7,7	7,8	7,9	7,9	8,0	8,0	8,1	8,1	8,2	8,3	8,3	8,4	8,4	8,5	8,5	8,6	8,6

3.1.2.- *Les matières en suspension totales*

L'ensemble des matières organiques et minérales (MES) contenues dans l'eau se mesure après passage sur filtre en fibre organique et séchage à 105°C. Le passage de l'ensemble filtre + MES à 600°C détruit la matière organique et permet de connaître les matières minérales (MM), puis, par différence (MES-MM), les matières organiques. Les résultats s'expriment en général en mg de matière/l. Les effets néfastes des matières en suspension se manifestent surtout durant l'incubation et l'alevinage, mais les effets sur le grossissement sont surtout indirects comme, par exemple, la demande en oxygène et les risques pathologiques (les particules peuvent offrir un support aux agents pathogènes).

La mesure des matières décantables en 2 h (mesurée par le volume de matières déposées en 2 h au fond d'un cône de décantation - en cm^3/l) apporte des informations utiles pour le traitement des eaux en sortie de pisciculture.

3.1.3.- *L'ammoniaque et les composés azotés*

Certains produits de dégradation de la matière organique et du métabolisme des poissons peuvent revêtir un caractère de toxicité élevé. Il s'agit en particulier de l'ammoniaque dont les effets sur l'organisme et la toxicité varient avec le pH et la température *(tableau 3)*. Ces effets toxiques sont essentiellement dus à la forme non ionisée NH_3 de l'ammoniaque. En fait, l'équilibre entre les deux formes d'ammoniaque présentes dans l'eau :

$$NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$$

est déplacé dans le sens NH_3 par l'augmentation de pH et de température. On voit ainsi que la toxicité de l'ammoniaque est plus forte dans les eaux alcalines ou chaudes que dans les eaux acides ou froides. Seul l'ammoniaque total peut être dosé aisément dans les eaux, mais connaissant l'ammoniaque total, il est possible de connaître, à partir d'abaques, les concentrations en NH_3.

Parmi les autres composés de la chaîne de dégradation des produits azotés, il faut souligner la toxicité des nitrites qui varie selon la teneur en calcium des eaux *(tableau 1)* ; les nitrates sont, par contre, peu toxiques.

3.1.4.- *Autres paramètres physico-chimiques*

Outre les effets indirects déjà mentionnés, la température influence directement toutes les grandes fonctions de l'organisme. Les exigences thermiques des Salmonidés varient selon les espèces, les souches, et les stades de développement. Pour la truite arc-en-ciel, les températures extrêmes auxquelles les animaux peuvent survivre vont de 1 à 25°C ; la température optimale se situe entre 10-12°C pour la fraye et 6-12°C pour l'incubation ; la croissance a lieu dans une gamme de 6 à 20°C, mais l'optimum se situe vers 18°C. Des variations brutales de température sont néfastes et peuvent, par exemple, provoquer l'hémolyse du sang. Dans une gamme de pH allant de 6 à 8,5, les poissons vivent normalement mais des effets indirects, via l'ionisation de l'ammoniaque, sont à prendre en compte (voir ci-dessus).

Tableau 3.- *Toxicité de l'ammoniaque sur les poissons en fonction de la température et du pH*

pH		Température (°C)			
		3	9	13	19
6	SP	50	36	27	16
	ST	220	180	130	80
7	SP	6	3,6	2,6	1,7
	ST	28	17	13	8
8	SP	0,58	0,35	0,26	
	ST	2,7	1,7	1,2	

SP : Taux d'ammoniaque total correspondant au seuil de perturbation (apparition des premiers troubles) (mg/l)

ST : Taux d'ammoniaque total correspondant à la 24 LC 50 (50 % des poissons morts en 24 h d'exposition) (mg/l)

Tableau 4.- *Concentrations maximales admissibles en micropolluants dans les eaux d'élevage pour une exposition continue des poissons (µg/l)*

Chlore	2
Cuivre	9,5
Zinc	4
Plomb	30
Mercure	0,05-2
Phénols	1
Biphényls chlorés	0,001
Cyanures	5
Hydrogène sulfuré	2
Insecticides	
Organophosphorés	
. Diazinon	0,002
. Malathion	0,1
. Parathion	0,04
Organochlorés	
. Aldrin	0,003
. DDT-Lindane	0,001
. Endrin	0,004
. Chlorolane	0,01
. Toxaphène	0,005
Herbicides	
Diquat-2,4-D	0,5
Silvex	2

Ces valeurs sont susceptibles de varier selon la dureté de l'eau, en particulier pour les métaux lourds, de la concentration en oxygène, du stade et de l'état physiologique des truites, etc.

Des sursaturations en gaz dissous, même faibles, peuvent entraîner des mortalités importantes par embolie gazeuse ; par exemple, des taux de saturation de 102-105 % en azote se sont révélés toxiques chez les Salmonidés.

La toxicité du CO_2 apparaît entre 9 et 10 mg/l pour la truite ; elle est à redouter en cas de transport où les animaux sont confinés et où se produit une forte accumulation de CO_2.

Les mortalités survenant en cours de transport sont davantage dues à un excès de CO_2 qu'à un manque d'oxygène. Une possibilité de diagnostic réside dans le fait que les poissons morts par manque d'oxygène ont les opercules ouverts alors que ceux morts par excès de CO_2 les ont, au contraire, fermés.

D'autres gaz dissous comme H_2S et HCN, qui résultent respectivement de fermentation anaérobie et de pollution industrielle, sont toxiques à faibles concentrations. Les teneurs admissibles ne doivent pas excéder 0,1 µg/l pour H_2S et 5 µg/l pour HCN.

L'alcalinité (capacité de neutraliser le pH par CO_3^- et HCO_3^-) et la dureté (concentration en Ca^{++} et Mg^{++}) limitent les fluctuations de pH dans les eaux et la sensibilité des poissons à certains composés toxiques. Des teneurs allant jusqu'à 400 mg/l d'équivalent CO_3Ca sont bien tolérées par les Salmonidés.

Les micropolluants, métaux lourds et pesticides sont toxiques à des doses extrêmement faibles *(tableau 4)*, ce qui rend les pisciculture très vulnérables aux pollutions industrielles et agricoles. Dans les écloseries, l'usage de canalisations ou de dispositifs à base de cuivre, plomb ou zinc doit être limité, surtout si l'eau est pauvre en réserve alcaline.

3.2.- La réalisation d'un planning de production

Le pisciculteur doit être en mesure de commercialiser sa production à une taille individuelle et une époque bien définies. En général, un approvisionnement en continu du marché est nécessaire. La reproduction de la truite étant saisonnière, et bien que des importations d'oeufs ou des reproductions à contre saison commencent à être pratiquées, le pisciculteur doit intervenir en ajustant la croissance aux impératifs commerciaux. La vitesse de la croissance est très dépendante de la température de l'eau et du taux d'alimentation. Sauf cas particulier (incubation, premier alevinage), l'éleveur n'a guère la possibilité d'intervenir par la température. Par contre, la gestion de l'aliment autorise un pilotage des stocks permettant d'amener le poisson à la taille souhaitée au moment voulu. Cela suppose cependant que soient résolus les autres facteurs limitants (oxygène, débit, charge, pathologie, tris, etc.). Cette approche est d'autre part limitée par les capacités d'ingestion du poisson en alimentation ad libitum et par l'indice de consommation *(figure 13)* qui, s'il s'écarte trop de l'optimum, conduira à de mauvaises performances économiques.

Si le pisciculteur doit avoir recours à un arrêt de croissance, il est plus économique de le programmer à l'avance en le faisant porter sur des individus de taille plus faible : les pertes dues au faible taux d'alimentation entraînant un indice défavorable seront moindres au stade alevin ou truitelle du fait d'une biomasse plus réduite.

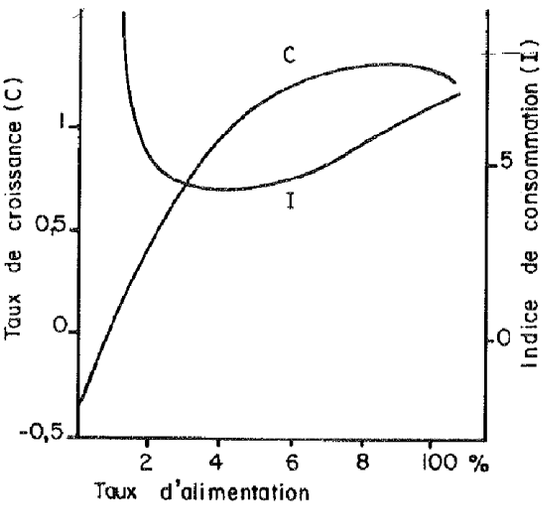


Figure 13.- *Evolution de la croissance (C) et du taux d'ingestion (I) en relation avec le taux d'alimentation (D'après Brett et Groves, 1979)*

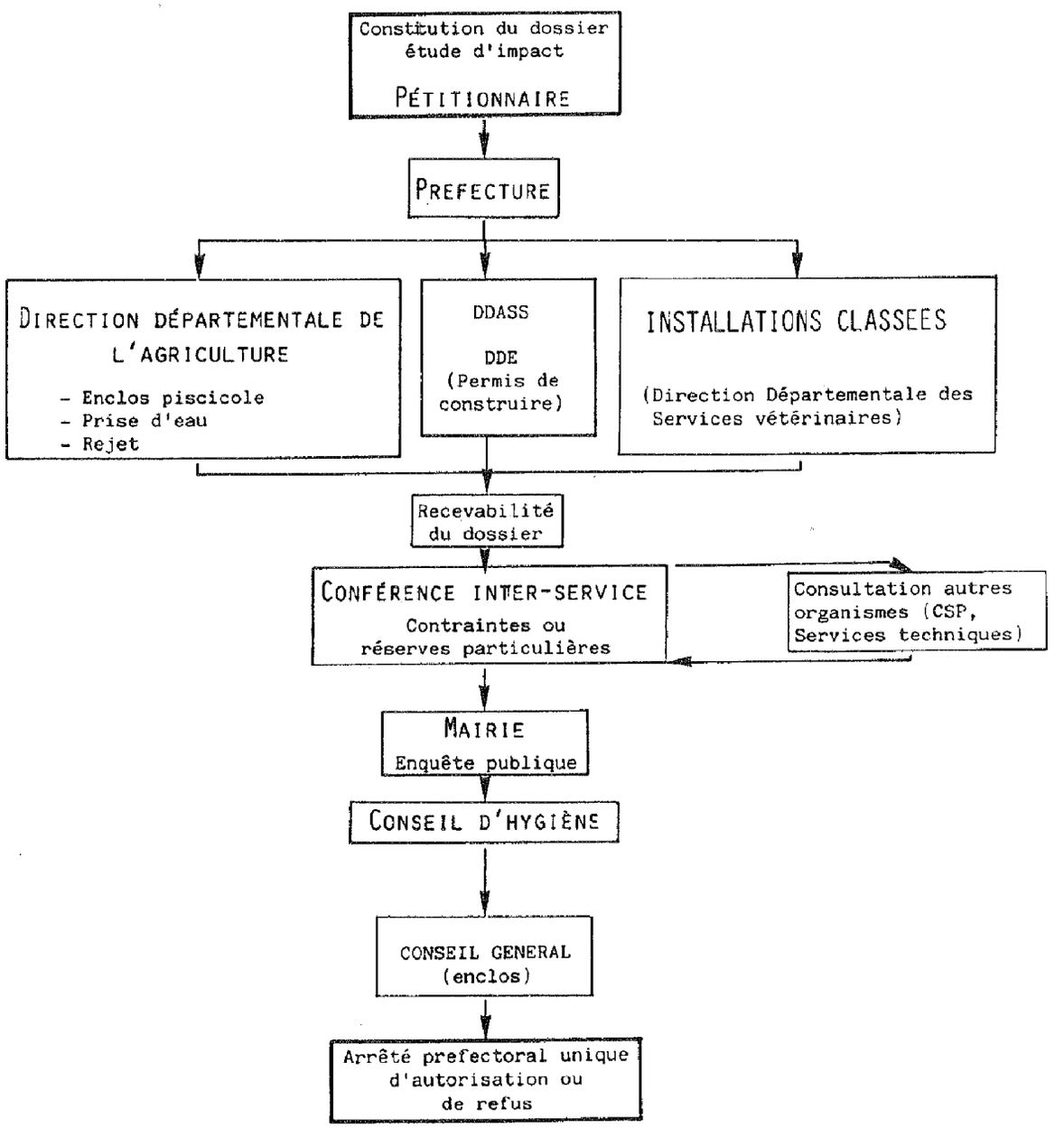


Figure 14.- *Procédure de traitement d'un dossier de demande d'autorisation de création de pisciculture (D'après Fauré, 1983)*

3.3.- La réglementation

Deux types de réglementation sont à prendre en compte ; l'une a trait à l'implantation proprement dite d'une pisciculture, l'autre concerne les normes de rejets de matières organiques en aval des salmonicultures. Un document de Fauré (1983) fait le point sur cette question.

L'ouverture d'un établissement salmonicole est soumise à différentes règles législatives qui conduisent à demander trois autorisations : l'une de créer un enclos piscicole (police de la pêche), l'autre de prélèvement et rejet d'eau (police des eaux), et la troisième portant sur l'ouverture "d'une installation classée pour la protection de l'environnement". En outre, un permis de construire est exigé si les bassins dépassent de 50 cm le niveau du sol. Un prélèvement d'eau souterraine, supérieure à 8 m^3/h, doit faire l'objet d'une déclaration à la Préfecture.

Le cheminement d'un dossier de demande de création de salmoniculture est schématisé dans la figure 14.

Les rejets de matière organique dans les rivières en aval des pisciculture font l'objet d'une réglementation actuellement basée sur la quantité d'ammoniaque présente à l'aval immédiat de la salmoniculture et qui ne doit pas excéder 1 mg/l. Dans certaines régions, ce paramètre se double de restriction concernant les quantités de matières en suspension et la DBO_5. Le traitement des eaux pour ces différents paramètres n'est pas toujours applicable soit techniquement (cas de l'ammoniaque), soit économiquement (matière en suspension et DBO_5). On considère actuellement que la réduction de la pollution doit être recherchée au niveau même de la gestion de la pisciculture en réduisant les rejets par amélioration de l'indice de consommation et en faisant appel à des aliments dits à faible pollution, car la digestibilité en a été améliorée.

4.- L'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE EN SALMONICULTURE

Les recherches sur la génétique des Salmonidés, susceptibles d'applications aux élevages, n'ont été développées que très récemment. Cependant, un certain nombre de perspectives a été ouvert, principalement sur trois plans : la maîtrise génétique du sexe, le croisement et la sélection.

4.1.- Le contrôle du sexe

La maîtrise du sexe chez les Salmonidés présente un intérêt pratique majeur qui est de produire des individus encore immatures à la taille portion dans le cas des populations monosexes femelles, et des individus de plusieurs kilogrammes dans le cas d'animaux stériles.

4.1.1.- L'obtention de populations monosexes femelles

Chez les Salmonidés, comme dans le cas de nombreux poissons, le mâle est mature un an plus tôt que la femelle. Dans les élevages de truites arc-en-ciel, une partie des mâles est déjà en reproduction lors de la vente, mais les femelles sont encore immatures. Il est dès lors

intéressant de disposer de lignées entièrement femelles. La technique mise au point par Chevassus et Chourrout consiste d'abord à pratiquer une gynogenèse diploïde qui produit des lignées femelles (l'hétérogamétie étant mâle chez la truite). Il n'est pas possible d'élever directement ces femelles très consanguines, mais on peut les transformer en mâles par traitement hormonal : méthyl-testostérone incorporé dans l'aliment à la dose de 3 mg/kg distribué dès la première prise de nourriture et pendant une centaine de jours. Ces néo-mâles, qui sont génétiquement femelles (XX), recroisés avec des femelles normales, donneront des descendants entièrement femelles. Ce sont ces animaux qui seront livrés aux pisciculteurs et qui pourront éventuellement produire de nouveaux néo-mâles par traitement masculinisant d'une fraction de la population.

4.1.2.- L'obtention de triploïdes stériles

Chez les Salmonidés, la triploïdie entraîne la stérilité complète chez la femelle (où il n'y a pas de développement de gonades = stérilité gonadique), mais seulement partielle chez le mâle où il y a un développement de gonades, mais production insignifiante de spermatozoïdes (stérilité gamétique).

Cependant, la triploïdisation n'est intéressante que si elle porte sur des femelles et doit être combinée avec l'obtention de lignées monosexes femelles. Une technique de triploïdisation simple, applicable en pisciculture, a été proposée par Chevassus et al. (1983). Sommairement, les oeufs après fécondation (après addition d'eau dans le cas de la technique d'insémination avec dilueur) sont placés dans des incubateurs, clayettes par exemple, sur deux ou trois couches seulement et laissés ainsi 25 min (extrêmes, 15-35) dans l'eau d'incubation. Ces incubateurs sont ensuite immergés pendant 20 min (extrêmes, 15-35) dans un bac thermorégulé, préalablement amené à la température de 26,5°C (extrêmes, 25,5-27°C, après immersion des oeufs). Il faut placer environ 20 000 oeufs dans un bac de 100 l équipé d'une résistance d'au moins 1 000 W. Moyennant un certain nombre de précautions, en particulier le respect des normes ci-dessus, et le choix d'ovules de bonne qualité au départ, le taux d'anomalies ou de mortalités des embryons au stade oeillé ne devrait pas dépasser 20 %. Les premiers résultats montrent que la survie ultérieure (entre trois mois et un an) est légèrement plus faible (-5 %) chez les triploïdes par rapport aux témoins diploïdes. De même, la croissance est plus lente chez les triploïdes (-20 à 25 % en fin de première année) par rapport aux diploïdes, mais cet écart se réduit par la suite. Après les premières reproductions des témoins diploïdes, la croissance des triploïdes femelles est plus rapide. Il reste quelques points à éclaircir comme celui de la composition corporelle, en particulier au niveau des réserves lipidiques.

4.2.- Le croisement

Il y a tout d'abord le croisement interspécifique ou hybridation qui, en général, produit des descendants dont la viabilité est souvent faible et dont les performances de croissance sont intermédiaires entre celles des parents. Certains caractères intéressants peuvent cependant apparaître chez les hybrides comme la stérilité ou une résistance aux maladies.

Les croisements interspécifiques visent à obtenir un effet d'hétérosis, ce qui implique la mise en oeuvre d'entités génétiques distinctes et éloignées.

Chez les Salmonidés, les croisements inter-souches semblent conduire à des produits dont la croissance ne diffère pas sensiblement de la moyenne des parents. Par contre, l'obtention de lignées consanguines et leur croisement constituent à priori un moyen d'obtenir des groupes plus homogènes et d'avoir, par croisement, un effet d'hétérosis plus important. Chez les Salmonidés, les lignées consanguines voient leurs performances réduites, mais les recroisements apparaissent prometteurs. Des techniques récentes permettent d'obtenir plus rapidement et plus complètement la consanguinité ; il s'agit de :

- *l'auto-fécondation* après obtention d'individus hermaphrodites par traitement hormonal ;
- *la gynogenèse diploïde* qui consiste à induire le développement d'un embryon uniquement à partir du génome de l'oeuf (activation à l'aide d'un spermatozoïde génétiquement neutralisé) et à rétablir la diploïdie par choc thermique ou hyperbare (rétention du deuxième globule polaire).

Ces techniques ne sont pas à la portée du pisciculteur moyen de par les équipements nécessaires, mais peuvent être aisément mises en oeuvre avec l'aide des laboratoires spécialisés.

4.3.- La sélection

La sélection consiste à choisir, en vue de la reproduction, les individus considérés comme les plus performants. Seuls les caractères de croissance et de précocité sexuelle ont fait l'objet de travaux susceptibles d'intérêt en salmoniculture. Deux possibilités sont offertes :

4.3.1.- La sélection individuelle

Le choix étant basé sur les performances propres d'un individu, cette méthode est particulièrement bien indiquée chez les poissons où il est difficile de marquer les individus, surtout aux jeunes stades, et d'obtenir des informations généalogiques. Cependant, dans le cas de la croissance, les fortes variabilités interindividuelles observées semblent surtout résulter de phénomènes d'interaction sociale, de sorte qu'il n'y aurait pas de relation nette entre les performances individuelles et la valeur génétique de l'individu. Par contre, en ce qui concerne les caractères de reproduction comme la fécondité ou l'âge de la puberté, les valeurs d'héritabilité mesurées sont sensiblement plus élevées que dans le cas de la croissance. Cela ouvre des perspectives intéressantes de retarder l'âge de la puberté.

4.3.2.- La sélection de groupe

Lorsque la sélection est basée sur le test comparatif de groupes élevés en conditions homogènes, le progrès génétique est plus rapide que par sélection individuelle. Deux catégories de groupe sont distinguées chez les poissons.

La souche.- Il s'agit de populations, naturelles ou de pisciculture, différenciées à l'intérieur d'une même espèce, et qui révèlent, lorsqu'elles sont regroupées dans un même milieu, des performances très différentes pour des caractères comme la croissance, la fertilité, la résistance aux maladies et aux polluants, la précocité sexuelle, etc. Il est cependant rare qu'une souche regroupe un ensemble de caractères favorables, mais ce travail d'identification est un point de départ pour une sélection intra-souche et des croisements.

La famille.- Si aucune souche ne peut être identifiée, il est possible de créer des unités différenciées par la création de familles (ensemble des descendants d'un mâle et d'une femelle). On crée ainsi une variabilité inter-famille. Lorsque la sélection porte sur les familles les plus performantes, des améliorations de croissance importantes ont été obtenues chez la truite arc-en-ciel. Ces résultats sont prometteurs mais les équipements nécessaires pour réaliser une sélection familiale sont relativement lourds (bassins nombreux).

5.- ALIMENTATION DE LA TRUITE ARC-EN-CIEL

5.1.- Introduction

Dans le milieu naturel, les invertébrés constituent la base de l'alimentation des truites ; ils renferment entre 37 et 66 % de protéines, 9 et 33 % de matières grasses, 3 et 28 % de minéraux, le reste étant constitué de glucides. Cette composition rend bien compte des besoins alimentaires des truites, de leur aptitude à utiliser les différentes classes de nutriments, et de la composition des aliments composés utilisés pour leur élevage intensif.

L'alimentation des poissons doit tenir compte de deux originalités :

- le milieu aquatique ;
- la gamme très large de poids (100 mg à quelques kilogrammes) des poissons à alimenter.

Il en résulte des problèmes spécifiques de présentation des aliments et de modalités de distribution dont la maîtrise revêt une importance toute particulière, en raison de leur interférence avec la maîtrise de la qualité de l'eau. A ces facteurs se rajoutent ceux liés à la poécilothermie car, si l'influence de la température sur la nature des besoins alimentaires n'est pas bien cernée, en revanche, il est clair que ce paramètre modifie les capacités de croissance et l'ingestion d'aliments.

5.2.- Besoins alimentaires et recommandations

Il faut tout d'abord distinguer besoins alimentaires et couverture de ces besoins. Les données recueillies jusqu'à présent indiquent que les truites, à l'instar de tous les autres poissons, ont, dans les grandes lignes, les mêmes besoins en protéines, acides aminés, acides gras, minéraux, vitamines, que les autres espèces animales. Dans les systèmes d'élevage semi-intensif, du type étang, où le poisson prélève dans la production naturelle certains éléments nutritifs, on a coutume de n'apporter qu'une alimentation complémentaire incluant les éléments

quantitativement majeurs (protéines et énergie). A l'inverse, dans les systèmes d'élevage intensif - comme la salmoniculture - il est nécessaire d'incorporer dans l'aliment composé l'ensemble des nutriments indispensables.

Malheureusement, ceux-ci ne sont, dans la plupart des cas, connus qu'approximativement ; en conséquence, les fourchettes de recommandations sont assez larges et de nombreuses inconnues demeurent. Par exemple, il est convenu que la farine de poisson constitue une matière première de choix (il a, jusqu'à l'heure, été pratiquement impossible de lui trouver un produit de substitution économique réellement satisfaisant) et on peut s'interroger si le principe que lui confère sa supériorité est l'équilibre en acides aminés, celui en acides gras, ou sa teneur en oligoéléments.

5.3.- Les glucides

Dans la nature, le régime alimentaire de la truite est pratiquement dépourvu de glucides, excepté la chitine, peu ou pas digestible. De fait, ce poisson est peu adapté à l'utilisation métabolique des sucres simples (glucose, saccharose), et il est maintenant établi que des phénomènes d'intolérance se manifestent dès que l'on incorpore plus de 20 % de tels sucres dans l'aliment.

Les seuls glucides susceptibles de rentrer économiquement dans la formulation d'aliments composés sont de structure complexe, à savoir l'amidon des céréales, racines et tubercules, mais leur disponibilité est faible.

Cependant, l'efficacité de la digestion augmente lorsque le poids moléculaire (c'est-à-dire la complexité moléculaire) diminue. Le coefficient d'utilisation digestive (CUD) est de 99 % pour le glucose, 92 pour le maltose, 77 à 99 pour le saccharose, 60 à 97 % pour le lactose, 50 pour les dextrines et 38 pour l'amidon cru.

Il faut d'abord noter que la truite est capable d'absorber le lactose, ce qui laisse entrevoir une possibilité de valoriser ce sous-produit par le poisson. La faiblesse de digestion de l'amidon serait due à un déficit amylasique, ce qui expliquerait la diminution de l'efficacité de la digestion de l'amidon lorsque son taux d'ingestion par le poisson augmente *(tableau 6)*.

Tableau 5.- *Coefficient d'utilisation digestive des glucides en fonction de leur poids moléculaire*

Glucose	99 %
Maltose	92 %
Saccharose	77-99 %
Lactose	60-97 %
Dextrines	50 %
Amidon cru	38 %

Cette diminution de l'efficacité de la digestion de l'aliment lorsque le niveau d'ingestion augmente ressort dans le tableau 6 qui met, en outre, en évidence l'effet bénéfique de la cuisson sur sa digestibilité.

Tableau 6.- *Effet du taux de rationnement et de la nature de l'amidon sur l'utilisation digestive d'un aliment renfermant 30 % d'amidon de maïs*

Nature de l'amidon ..	Cru		Gélatinisé	
Rationnement	Haut	Bas	Haut	Bas
CUD de la matière sèche	63,4	70,0	78,8	81,3
CUD de l'amidon	38,1	54,5	86,5	90,0
CUD des protéines ...	87,9	89,8	87,9	89,0

On voit clairement qu'une excellente utilisation digestive de l'amidon peut être obtenue par cuisson, et divers travaux ont montré qu'à taux protéique équivalent, les performances de croissance des truites et les indices de consommation étaient améliorés.

Dans la pratique, cependant, de tels amidons ne sont pas utilisés ; seule l'incorporation de céréales ayant subi des traitements hydrothermiques (eau + température), peut être économiquement viable. Les essais du Laboratoire de Nutrition des Poissons de l'INRA ont montré que l'extrusion et l'expansion de maïs entier amélioraient la croissance des truites de 14 % avec des régimes renfermant 40 % de protéines. Nous verrons que l'incorporation de tels amidons est susceptible de permettre la réduction du taux de protéines des rations.

5.4.- Les matières grasses

Les lipides constituent pour les truites une source d'énergie d'autant plus intéressante que les glucides complexes sont mal digérés. De plus, les matières grasses constituent généralement des vecteurs d'acides gras essentiels, de vitamines liposolubles et de pigments caroténoïdes. L'apport de matières grasses est indispensable. En cas d'utilisation de régimes lipidoprives, il est noté, outre un retard de croissance, des lésions dermiques pouvant aller jusqu'à une érosion complète de la nageoire caudale. A l'inverse, les truites supportent dans leurs rations, des taux très élevés de lipides - jusqu'à 25 % - sans dommage apparent. L'utilisation digestive des huiles est bonne, même à des taux d'incorporation aussi élevés que 22,6 % *(tableau 7)*, lesquels n'ont aucun effet négatif sur la digestibilité des protéines et améliorent par ailleurs les performances zootechniques des truites même dans le cas de restriction protéique. La digestibilité des matières grasses d'origine animale et végétale à degré d'insaturation élevé (donc à température de fusion faible) est comparable. Par contre, l'hydrogénation des graisses diminue notablement leur digestibilité *(tableau 8)*. La température de l'eau a peu d'effet sur la digestibilité des matières grasses ; quelques effets positifs ont cependant été notés à partir de 18°C.

Chez la truite, comme chez l'ensemble des poissons étudiés jusqu'à présent, ces acides gras essentiels sont de la série n-3, le plus simple d'entre eux étant l'acide linolénique (18 atomes de carbone et 3 doubles liaisons). Le besoin en cet acide gras est considéré comme étant égal à 1 % du régime. Les acides gras de cette série (n-3), mais à plus longue

Tableau 7.- *Influence du taux de matières grasses sur le coefficient d'utilisation digestive et la croissance de la truite arc-en-ciel*

% lipides	12	15,2	18,4	22,6
% protéines	48	46	44,4	42
Gain de poids, % par jour ..	1,23	1,37	1,46	1,55
Indice de consommation	1,32	1,16	1,11	1,04
CUD des lipides	83,4	84,9	88,7	85,1
CUD des protéines	79,1	79,7	83,3	82,9

Tableau 8.- *Influence de l'origine de l'huile et du taux d'hydrogénation sur la digestibilité des lipides à deux températures*

	Point de fusion (°C)	3°C	11°C
Huile de soja	- 8	87,9	89,2
Huile de foie de morue ..	- 3	90,6	87,2
Huile de capelan	10	85,8	84,8
Huile de capelan hydrogénée	21	74,6	75,2
	33	68,8	69,5
	41	46,4	49,0

chaîne et à plus grand degré d'insaturation, tels que l'acide eicosopentaénoique (20 carbones et 5 doubles liaisons) et l'acide docosahexaénoique (22 carbones et 6 doubles liaisons) sont deux fois plus efficaces : il n'est nécessaire d'en incorporer que de 0,3 à 0,5 %. Par ailleurs, il est également connu qu'un excès d'acide linoléique (acide gras de la série n-6), à savoir plus de 2 % du régime, entraîne des effets dépressifs sur la croissance. Bien que cela n'ait pas été démontré chez la truite arc-en-ciel élevée en mer, il est connu que les poissons de mer ont un besoin en acides gras à longue chaîne (20 ou 22 carbones) et que l'apport du seul acide linoléique est inefficace. Les apports en acides gras dans la ration sont résumés dans le tableau 9.

Le choix des matières grasses devra donc prendre en compte leur teneur en acides gras essentiels qui varient considérablement d'une huile à l'autre *(tableau 10)*. Des matières grasses telles que le saindoux, le suif, les huiles de maïs et d'arachide ne sont pas données, car ces lipides sont totalement déficients en acides gras essentiels. On voit *(tableau 10)* que les besoins en acides gras des truites peuvent être couverts par l'huile de soja incorporée à 10 % dans le régime et mieux encore par 4 % d'huile de poisson. Lorsque ces apports minimaux sont réalisés, le complément de matières grasses destiné à fournir de l'énergie peut être réalisé avec d'autres types de matières grasses tels que le suif.

Tableau 9.- *Besoins en acides gras essentiels de la ration*

Dénomination de l'acide gras	Formule chimique abrégée	Besoin	Remarques
Acide linolénique	C18:3 n-3	1 %	En eau douce, inefficace en eau de mer
Acide eicosopentaénoique	C20:5 n-3	0,3 -0,5 %	Indispensable en eau de mer En eau douce, deux fois plus efficace que l'acide linolénique
Acide docosahexaénoique	C22:6 n-3	0,3 -0,5 %	Idem

En eau douce, il faut soit 1 % d'acide linolénique ou 0,5 % d'acide eicosopentaénoique ou d'acide docosahexaénoique ou de la somme des deux.

En eau de mer, il faut 0,5 % d'acide eicosopentaénoique ou d'acide docosahexaénoique ou de la somme des deux.

Tableau 10.- *Teneur en acides gras de quelques huiles (en %)*

	Huile de soja	Huile de capelan	Huile de foie de morue
Acide linolénique C18:3 n-3	9,9	0,6	
Acide eicosopentaénoique C20:5 n-3	0	9,9	9,8
Acide docosohexaénoique C22:6 n-3	0	3,3	13,6

5.5.- Les protéines

5.5.1.- Les aspects quantitatifs

Les aliments pour truites se caractérisent par une forte teneur en protéines, la farine de poisson étant généralement reconnue comme la matière première de choix pour couvrir ces besoins. Du point de vue quantitatif, les recherches effectuées en laboratoire aboutissent à des valeurs

Tableau 11.- *Besoins en acides aminés du saumon quinnat*

Acides aminés	Besoin en % de l'aliment sec*	Besoin en % des protéines
Arginine	2,4	6
Histidine	0,7	1,8
Isoleucine	0,9	2,2
Leucine	1,6	3,9
Lysine	2	5
Méthionine + cystéine	1,6	4
Phénylalanine + tyrosine	2,1	5,1
Thréonine	0,9	2,2
Tryptophane	0,2	0,5
Valine	1,3	3,2

* *Régime renfermant 40 % de protéines.*

Tableau 12.- *Influence de la cuisson de l'amidon sur l'indice de consommation*

% de protéines	% d'amidon	Type d'amidon	
		Cru	Précuit
42	27	1,73	1,62
32	39	2,30	1,67

Tableau 13.- *Influence de la supplémentation en huile sur l'indice de consommation*

Taux protéique	Taux de matières grasses dans les rations	
	8 %	14 %
40	1,53	1,34
44	1,39	1,32
48	1,34	1,19

s'inscrivant dans la fourchette 30-60 % de protéines dans la ration, mais les recommandations les plus fréquemment formulées indiquent la nécessité d'un apport variant de 40 à 45 %. Les variations ainsi relevées sont dues à de nombreux facteurs tels que l'âge, la température de l'eau, la nature des protéines utilisées, la nature des matières premières d'accompagnement. Cette variabilité se révèle également dans les formulations commerciales puisque les régimes destinés à la truite

arc-en-ciel renferment de 38 à 55 % de protéines pour le démarrage et de 37 à 47 % au-delà de 5 g. Ces besoins élevés sont expliqués, du moins partiellement, du fait qu'une partie des protéines est utilisée à des fins énergétiques. Si, en effet, l'on considère les besoins quantitatifs en acides aminés *(tableau 11)* du saumon quinnat, valeurs proches de celles retenues pour la truite arc-en-ciel, on observe que la somme des besoins représente environ 14 % de la ration, soit le tiers de l'apport protéique.

L'approche expérimentale de ce problème a effectivement montré qu'il est possible d'abaisser notablement le taux protéique de la ration sans altérer la croissance et l'indice de consommation, ainsi que cela ressort des tableaux 12 et 13 qui corroborent ce qui a déjà été évoqué dans les paragraphes relatifs aux glucides et aux lipides. En considérant l'épargne de protéine comme prioritaire, on arrive à la conclusion que l'apport optimal en protéines est de 35 % à condition que l'on incorpore 18 % de matières grasses au lieu de 7-10 %, comme c'est le cas actuellement.

5.5.2.- *La nature des protéines*

La nature des protéines à incorporer dépend surtout de leur équilibre en acides aminés ; leur composition est à confronter avec les recommandations du tableau 11 et de leur utilisation digestive. On commence à disposer maintenant de tableaux de digestibilité pour quelques matières premières *(tableau 14)*.

Les farines de poisson présentent en général une excellente digestibilité (85-95 %), bien que parfois des baisses de digestibilité aient été notées, par suite de la combinaison des protéines avec les produits d'oxydation des huiles lors de l'opération de séchage. Notons que l'adjonction de fortes proportions de matières grasses, qui ont été évoquées antérieurement, n'altère pas la digestibilité des protéines. La digestibilité des autres protéines d'origine animale (déchets d'abattoirs) apparaît en général inférieure (70 à 88 %) ; là, également, les conditions de séchage sont importantes. Ainsi, la digestibilité de la farine de sang est bonne (86 %) lors du séchage en "tour spray", et fortement altérée (32 %) lors du séchage sur tambour. Si la digestibilité des protéines de levure apparaît généralement bonne (85 %), celle des autres protéines végétales varie de 60 à 80 %. Les travaux réalisés, en particulier sur le soja graine entière (non délipidé), indiquent que les poissons sont très sensibles aux facteurs antinutritionnels contenus dans cette graine, et, en conséquence, il faut apporter une attention particulière à sa cuisson (200°C pendant 8 à 10 min). Dans le cas d'une cuisson par extrusion, il s'avère qu'une double extrusion est nécessaire. En revanche, un passage supplémentaire à l'extrudeur entraîne des effets dépressifs *(tableau 15)*. Il a été montré, mais cela reste toutefois à confirmer, qu'un tel type de soja peut s'incorporer à raison de 80 % dans les aliments pour truite arc-en-ciel. Dans un tel cas, il y a substitution quasi-totale de la farine de poisson par une protéine végétale. Il s'agit d'un des rares cas positifs de substitution de la farine de poisson par un autre type de matière première, les autres succès signalés l'ayant été avec des déchets d'abattoirs de volailles et avec des protéines microbiennes.

Tableau 14.- *Valeur des coefficients d'utilisation digestive de quelques matières premières pour la truite arc-en-ciel*

Matière première	% de protéines	CUD des protéines (%)
Farine de poisson		
Hareng	75,8	86,7
Anchois	70,1	85,2
Solubles de poisson	37,9	69,0
Farine de sang		
Séchée sur tambour	92,6	32,4
Spray	95,8	86,0
Résidus de carcasses animales	52,8	68,8
	53,4	75,3
Lactosérum	18,3	79,8
	12,5	53,0
	16,7	63,0
Farine de glandes	79,8	91,3
Viscères de poulets	84,2	70,1
Farine de luzerne	15,9	61,0
Gluten de maïs	68,9	86,8
	68,9	82,4
	50,6	79,8
	69,3	86,3
Solubles de distilleries	25,4	71,9
Tourteau de lin extraction	38,9	76,7
Tourteau de colza	37,5	76,4
Tourteau de soja depelliculé extraction	46,3	74,7
	52,6	83,2
	54,8	84,9
	50,7	77,0
Sous-produit du blé		
Rémoulages	18,9	65,0
	18,9	75,9
Rémoulages finement broyés	16,2	67,7
Germes de blé	31,6	76,8
Levure de bière	47,9	85,0
Levure Torula	51,0	82,3

5.6.- La pratique de l'alimentation

5.6.1.- *La formulation*

Le tableau 16 présente la composition et les matières premières d'une formule ouverte américaine (PR9-27) destinée à des truitelles.

Tableau 15.- *Effet du nombre d'extrusion sur l'utilisation digestive de la graine de soja*

	Dénomination du produit		
	Soja cru	Incarsoy	LTI
Nombre de passage à l'extrudeur	0	1	2 3
CUD des protéines (%) ..	0	69	75 70
CUD de la matière sèche (%)	20	58	61 61

5.6.2.- *Taille des aliments*

La taille des poissons varie considérablement au cours de leur élevage. En conséquence, il faut disposer d'une gamme de taille d'aliments très large. Dans le tableau 17 sont données les caractéristiques le plus souvent rencontrées.

5.6.3.- *Rationnement*

Le tableau 17 nous indique, en outre, le nombre de repas journaliers qu'il est préférable de distribuer. Ce nombre varie de dix-douze pour les alevins à un pour les reproducteurs. Dans le cas où la distribution d'aliments n'est pas basée sur des tables de rationnement, le nombre de repas distribués journellement permet de moduler la quantité d'aliments ingérés. Ainsi, à partir du poids de 20 g, la distribution de deux repas par jour entraîne un léger rationnement lié à la capacité de l'estomac et procure les indices de consommation les plus favorables compatibles avec une bonne croissance comme on peut le constater sur le tableau 18. Il indique, par ailleurs, - et c'est plus surprenant - que le fait de ne pas nourrir le dimanche, voire même le samedi et le dimanche, ne modifie pas l'indice de consommation.

Une présentation graphique de la table des quantités à distribuer quotidiennement aux truites et de la température de l'eau optimale est présentée *(figure 15)*. Ces valeurs ne doivent être considérées que comme indicatives car, dans les faits, c'est au pisciculteur à régler lui-même la quantité à distribuer en fonction du comportement du poisson et des variations prévisibles de la qualité de l'eau, des variations de la température, etc.

6.- LA REPRODUCTION

On commence à disposer d'informations substantielles sur la reproduction des Salmonidés (aspects morphologiques, physiologiques et endocriniens). Dans certains cas, les connaissances sont devenues suffisantes

Tableau 16.- *Formule d'aliment destiné à des truitelles*

Contraintes

Protéines brutes, au moins 40 % (au moins 25 % de protéines devant provenir de la farine de poissons)
Matières grasses, au moins 9 %
Cellulose, au plus 5 %
Humidité inférieure à 10,5 %

Matières premières	Pourcentage
1/ Farine de poisson : matière grasse maximum 12 %, humidité inférieure à 10 %, stockage en usine d'une durée inférieure à six mois, digestibilité pepsique au moins égale à 92,5 %. Si possible stabilisée *a/* Farine de hareng teneur minimale en protéines, 67,5 % *b/* Farine d'anchois teneur minimale en protéines, 65,0 % *c/* Farine de menhaden teneur minimale en protéines, 60,0 %	Au moins 35 %
2/ Rémoulages de blé, teneur minimale en protéines 1 %, teneur maximale en cellulose 9,5 %	0 -11 %
3/ Les ingrédients suivants peuvent être utilisés soit seuls, soit en mélange, de façon à arriver à une teneur en protéine de l'aliment d'au moins 40 %. Le taux de chaque matière première ne doit pas excéder le maximum indiqué *a/* Tourteau de soja, extraction, dépelliculé teneur minimale en protéines, 47,5 % taux maximal, 20 % du régime *b/* Gluten de maïs, teneur minimale en protéines 60 %, teneur maximale en cellulose, 3 % taux maximal, 10 % du régime *c/* Tourteau de coton, extraction, dépelliculé teneur minimale en protéines, 48 % taux maximal, pas plus de 10 % du régime	17 -21 %
4/ Solubles de distillerie	8 %
5/ Poudre de lait, teneur minimale en protéines 12 %, teneur maximale en eau 6 %, teneur maximale en cendres 10 %	10 %
6/ Levure Torula, teneur minimale en protéines 35 %, teneur maximale en cellulose 3 %	5 %
7/ Farine de luzerne, teneur minimale en protéines 17 %, teneur maximale en cellulose 27 %	3 %
8/ Prémélange minéral renfermant du fer, du cuivre, du cobalt, de l'iode, au maximum 0,005 % de zinc et 0,2 % de manganèse	2 %
9/ Prémélange vitaminique	4 %
10/ Huile de poisson, stabilisé au BHA ou BHT ou à l'éthoxyquine, teneur inférieure à 3 % en acides gras libres, non alcalinisée*	5 %

* *La quantité d'huile ajoutée peut être augmentée pour atteindre un taux minimal de 9 % dans le régime. Les rémoulages de blé sont ajoutés de façon à ajuster la ration à 100.*

Tableau 17.- *Taille des particules alimentaires pour les truites arc-en-ciel en fonction de leur stade de croissance - Fréquence de distribution des repas*

Type d'aliment	Taille des particules (mm)	Nombre de poissons par kg	Longueur des poissons (cm)	Nombre de repas par jour
Démarrage	0,420 -0,595	6500 -4400	2,5	10
Miette	0,595 -0,841	4400 -1800	2,5 - 4,4	8
Miette	0,841 -1,19	1800 - 660	4,4 - 5,0	6
Miette	1,19 -1,68	660 - 330	5,0 - 6,0	6
Miette ou granulé	1,68 -2,38	330 - 165	6,0 - 7,5	4
Granulé	2,38	165 - 66	7,5 -10,0	4
Granulé	3,17	60 - 22	10,0 -16,0	2
Granulé	4,76	22 - 7	16,0 -24,0	2
Granulé	6,35	Reproducteurs	25 et +	1

Tableau 18.- *Influence du nombre de repas journaliers et du nombre de jours de nourrissage par semaine sur l'indice de consommation*

Nombre de repas par jour / Nombre de jours de nourrissage	4	3	2	1	Moyenne
7	1,53	1,50	1,44	1,29	1,44
6	1,52	1,50	1,46	1,31	1,45
5	1,53	1,51	1,46	1,31	1,45
Moyenne	1,53	1,50	1,46	1,30	1,45

pour que soient envisagées des applications pratiques visant à maîtriser et optimiser certaines phases du cycle reproducteur.

6.1.- Le cycle reproducteur

Tous les Salmonidés présentent un cycle reproducteur annuel très tranché, avec une phase de repos sexuel (qualifiée ainsi parce que les gonades sont peu développées), une phase de croissance importante des gonades correspondant à la spermatogenèse chez le mâle et la vitellogenèse chez la femelle, et finalement la maturation et la libération des gamètes (spermiation et ovulation) qui interviennent spontanément chez les Salmonidés, même en captivité. Les époques auxquelles apparaissent ces différentes phases varient selon les espèces et sont même susceptibles de varier à l'intérieur d'une même espèce ; c'est le cas de la truite arc-en-ciel où l'action de l'homme a conduit à la constitution

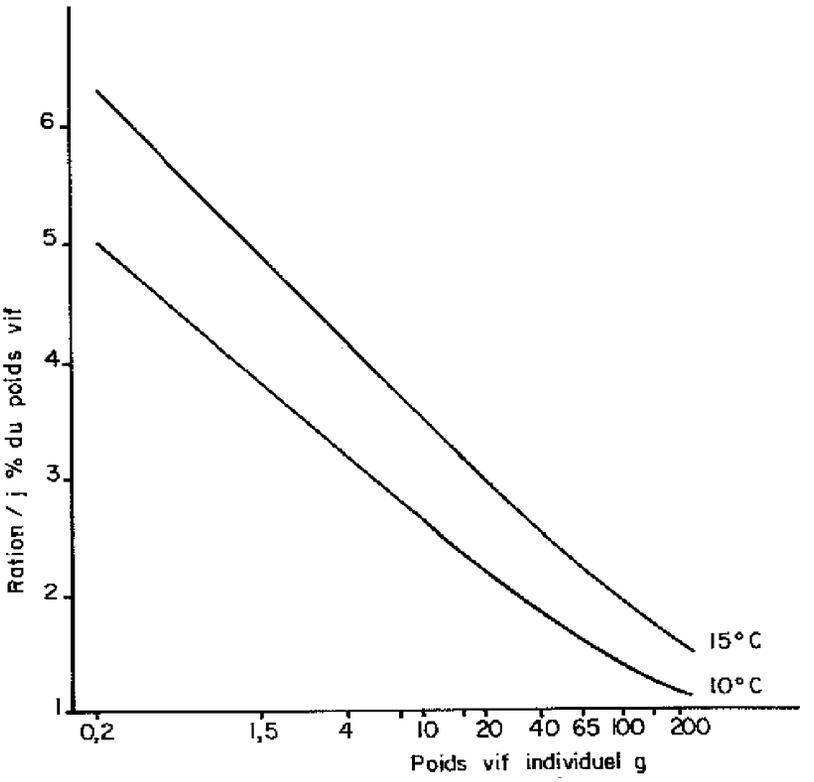


Figure 15.- *Quantité d'aliment à distribuer journellement à des truites en croissance, en fonction du poids individuel et pour deux températures, 15 et 10°C*

de souches se reproduisant à diverses époques de l'année (voir ci-après). Cependant, dans la majorité des cas, la gamétogenèse se produit en été en quelques mois ; la libération des gamètes a lieu en automne et en hiver et pour une même souche, peut s'étaler sur deux mois ; la "phase de repos", qui lui fait suite, dure environ deux à trois mois *(figure 16)*. Les teneurs en hormone gonadotrope (GTH) dans l'hypophyse et dans le plasma sanguin subissent des changements plus ou moins marqués au cours du cycle. Chez le mâle, les teneurs en GTH sont faibles dans le plasma et l'hypophyse durant la phase de repos sexuel et présentent un pic lors de l'initiation de la gamétogenèse. Elles s'élèvent à nouveau dans le plasma en fin de spermatogenèse lors de l'initiation de la spermiation *(figure 17)*. Chez la femelle, on retrouve un peu le même profil que chez le mâle avec des valeurs faibles durant la phase de repos, un pic lors de l'initiation de la vitellogenèse et une montée progressive durant la vitellogenèse qui se poursuit pendant la phase de maturation ovocytaire et d'ovulation, et pendant les trois semaines qui suivent. Les stéroïdes sexuels identifiés dans le plasma apparaissent extrêmement diversifiés lors de la phase finale du cycle. Chez le mâle, on observe une élévation de la 11 ketotestostérone et de 17α-20β-progestérone pendant la durée de spermiation. Chez la femelle, on observe successivement une montée d'estradiol 17β pendant la vitellogenèse, puis une diminution juste avant l'ovulation suivie d'une montée de testostérone puis de 17α-20β-progestérone.

6.2.- La maîtrise du cycle reproducteur et de l'émission des gamètes

Les possibilités de contrôler le cycle reproducteur et l'émission des gamètes varient fortement selon les espèces, mais les interventions que le pisciculteur peut pratiquer sont encore limitées. Il faut considérer le contrôle du cycle reproducteur et la libération des gamètes. Dans le premier cas, le contrôle porte sur la gamétogenèse pour l'avancer ou la retarder avec, comme objectif, la disponibilité des gamètes au moment voulu. Dans le second cas, on intervient une fois la gamétogenèse achevée, dans le but d'obtenir les gamètes. Trois approches sont possibles :

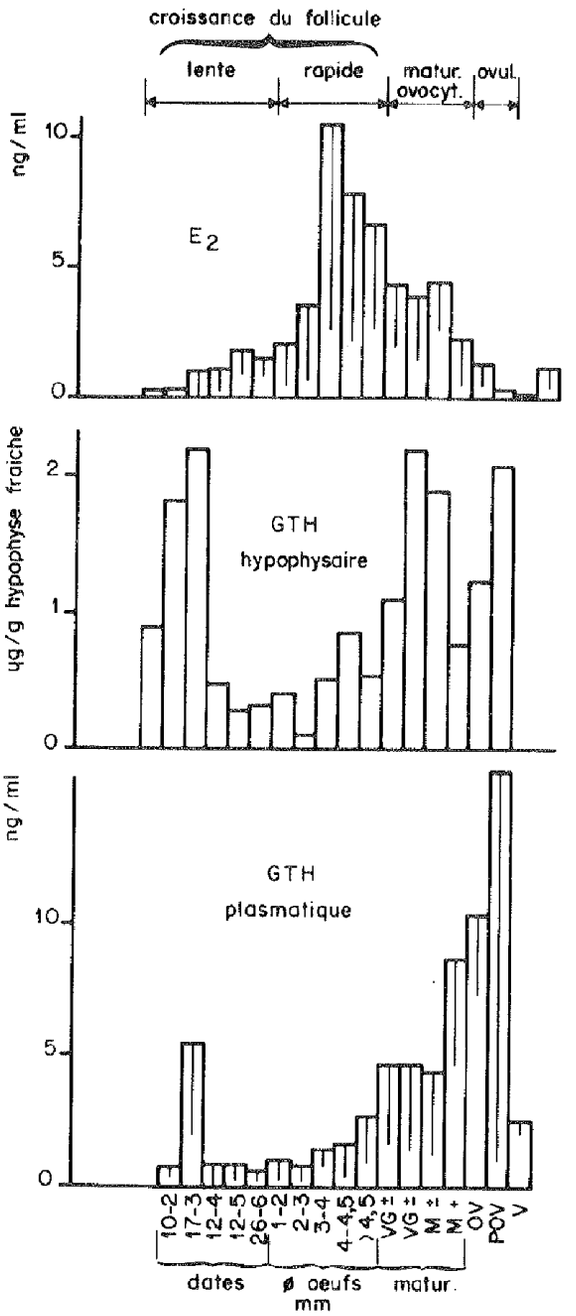


Figure 16.- *Evolution de paramètres endocriniens au cours de la vitellogenèse (croissance lente et rapide du follicule), de la maturation ovocytaire et de l'ovulation chez la truite arc-en-ciel*

E_2 : Estradiol circulant
GTH : Gonadotropine

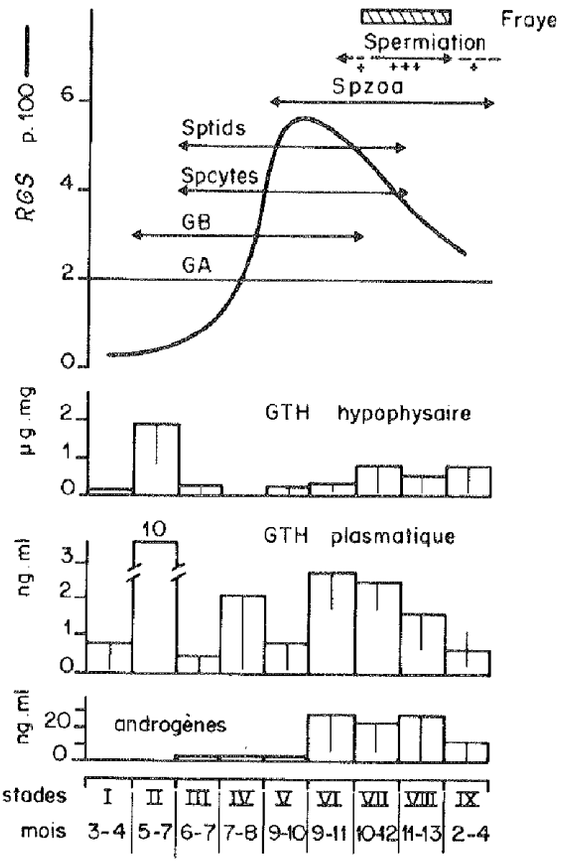


Figure 17.- *Evolution du rapport gonadosomatique (RGS), de la gonadotropine (GTH) circulante et plasmatique et des androgènes totaux circulants dans le sang de la truite fario mâle durant le cycle reproducteur annuel*

Les types cellulaires présents dans le testicule sont figurés sur la courbe du RGS

GA-GB : Spermatogonies A et B
Spcytes : Spermatocytes
Sptides : Spermatides
Spzoa : Spermatozoïdes
+ - +++ : Intensité de la spermiation

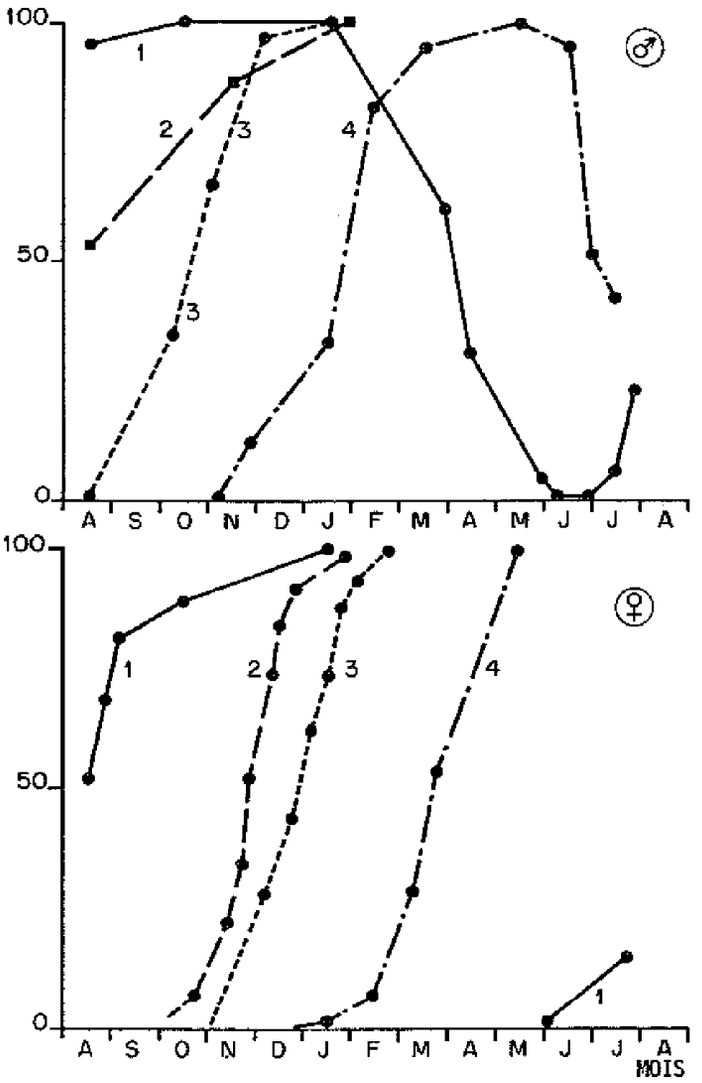


Figure 18.- *Evolution du pourcentage cumulé de mâles spermiants (haut) et de femelles ovulées (bas) au cours de la saison de reproduction pour quatre souches différentes de truites arc-en-ciel (n°1 à 4) (D'après Chevassus, In Billard, 1984)*

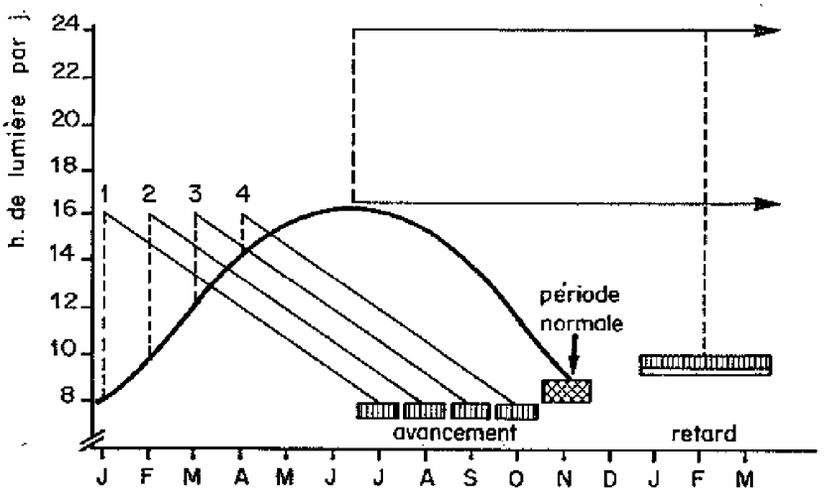


Figure 19.- *Avancement et retard de la reproduction chez la truite par manipulation de la durée du jour*

Le trait plein épais correspond à la variation naturelle de photopériode.

Le retard par application de longue photopériode étant susceptible d'altérer le cycle reproducteur suivant, cette technique n'est conseillée que pour les géniteurs de réforme.

6.2.1.- *L'approche génétique*

L'utilisation de souches précoces ou tardives ou même à double reproduction annuelle constitue un moyen pour étaler la production de gamètes au cours de l'année. En France, Chevassus a rassemblé plusieurs souches de truites arc-en-ciel d'origines diverses dont les périodes de reproduction vont d'août à avril *(figure 18)*. La gestion de ces souches est relativement lourde : elles doivent rester isolées et un certain nombre de précautions doivent être prises pour bien stabiliser les périodes de reproduction ; il faut, en particulier, ne retenir comme géniteurs que ceux maturant les premiers dans les souches estivales et les derniers dans les souches printanières.

6.2.2.- *L'approche environnementale : les modulations de photopériode*

On sait qu'en général, la gamétogenèse des Salmonidés a lieu en été et que le facteur de l'environnement responsable est le changement de photopériode et plus précisément le rythme décroissant qui passe de 16 h de lumière par jour en juin à 8 h en décembre. Si ce régime photopériodique décroissant est appliqué expérimentalement (en installant des tubes fluorescents commandés par une horloge électrique sur des bassins couverts) et débute entre janvier et juin, les géniteurs sont matures six mois plus tard. Il est ainsi possible d'avancer l'époque de reproduction *(figure 19)*. Cependant, obtenir la reproduction des Salmonidés en période estivale suppose des disponibilités d'eau froide $\leqslant$ 12°C pour l'incubation. Si les géniteurs doivent être soumis à des températures estivales élevées, il est déconseillé de tenter d'obtenir la reproduction à contre-saison.

Des retards de la reproduction par modulation de la photopériode ont été obtenus en maintenant les géniteurs sous longues photopériodes (16 ou 24 h de lumière) au-delà de juin (ce qui revient à supprimer le régime décroissant). Cependant, des ovulations incomplètes ont été déplorées de sorte que cette technique est de portée plus limitée.

6.2.3.- *L'approche hormonale : avancement et synchronisation des pontes*

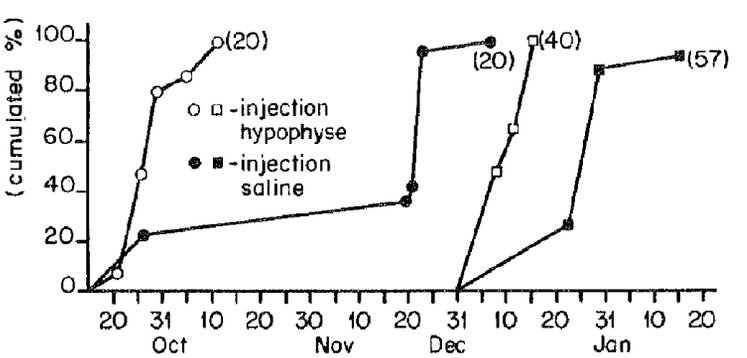


Figure 20.- *Avancement et synchronisation de l'ovulation chez la truite fario par injection de préparation hypophysaire spécifique. En ordonnée, le pourcentage cumulé de femelles ovulées (D'après Billard et Breton, 1984)*

Chez l'adulte, il existe généralement un temps de latence entre la fin de la gamétogenèse et la libération des gamètes. Il s'est révélé possible d'avancer cette libération par une administration unique d'hormone. La figure 20 montre qu'une injection de préparation hypophysaire de

saumon (5 mg/kg), pratiquée en octobre, induit l'ovulation des truites fario qui, normalement, frayent vers la mi-novembre. En outre, vers la fin de la période de reproduction, le même traitement permet de synchroniser les ovulations.

6.3.- La gestion des gamètes et des géniteurs

Chez les Salmonidés, les ovules prélevés après ovulation spontanée ou provoquée, sont inséminés artificiellement puis mis en incubation.

L'insémination artificielle traditionnelle consiste simplement à mettre en présence les gamètes (généralement un mâle est employé pour une ou quelques femelles), auxquels on ajoute de l'eau douce. Le concept de l'insémination artificielle n'a donc pas recouvert jusqu'à présent le sens qu'il a chez les vertébrés supérieurs où préside l'économie des spermatozoïdes. Les performances de la technique restent donc à optimiser.

6.3.1.- La gestion des reproducteurs de truites arc-en-ciel

Le mode d'élevage, la qualité de l'eau (saturation d'oxygène, absence de polluants), la quantité et la qualité d'aliments distribués vont influencer la qualité des gamètes dont dépendra la survie embryonnaire et post-embryonnaire, voire même la qualité de l'alevin (survie et aptitude à la croissance). Les géniteurs doivent être stockés à densité modérée (quelques kg/m^2) ; l'eau doit être saturée en O_2 et dépourvue de polluants ; les aliments reproducteurs (7 mm), distribués au taux de 1-1,5 % à 10-15°C, doivent être stockés dans de bonnes conditions, en atmosphère sèche, et pendant des temps courts afin d'éviter la dénaturation de certains composants comme les lipides et les vitamines.

Il existe, en général, dans les élevages, presque autant de mâles que de femelles. Ce rapport peut être en réalité réduit ; pour assurer une production annuelle de 100 tonnes, soit 400 000 sujets de 250 g, il faut 1 000 000 ovules si le taux de survie final est de 40 %. Sachant que la fécondité (nombre d'ovules produit par kilogramme de femelles) est de l'ordre de 2 000, il faut environ 500 kilogrammes de femelles. Sachant qu'un mâle peut féconder plus de 100 femelles grâce à une technique d'insémination avec dilueur, on voit que le nombre de mâles peut être considérablement réduit. Cependant, le nombre minimal de mâles dans une écloserie doit être de l'ordre de 50 à 100 pour permettre un brassage génétique suffisant. On voit que dans les grosses écloseries produisant plus de 10 millions d'oeufs, ce nombre minimal de mâles reste suffisant. Un petit pisciculteur, qui tient lui-même à produire ses oeufs et qui ne dispose que d'un effectif de géniteurs limité, a la possibilité de s'approvisionner en laitance auprès d'une grosse écloserie voisine. La pratique actuelle, qui consiste quelquefois, en pisciculture, à prendre les mâles parmi la population de truites portions, est à déconseiller car cela revient à privilégier les mâles précoces et à avancer l'âge à la première reproduction (ce caractère est en effet hautement héritable). Il est, au contraire, préférable de ne retenir comme géniteurs mâles que ceux qui maturent pour la première fois l'année qui suit l'arrivée à la taille portion moyenne. Une opération similaire est aussi possible pour les femelles : il est déconseillé de retenir celles se reproduisant à deux ans ; cela reviendrait aussi à avancer l'âge de la puberté et, d'autre part, les ovules des pontes de femelles agées de deux ans sont de mauvaise qualité.

La période pendant laquelle les femelles ovulent s'étale sur plusieurs mois. Comme les ovules ne survivent pas plus d'une semaine dans la cavité générale des femelles après ovulation, il y a donc lieu de manipuler l'ensemble des femelles non ovulées au moins une fois par semaine. Pour éviter d'avoir à manipuler dès le début de saison des femelles qui n'ovuleront qu'en fin de période de reproduction, il est conseillé d'identifier (par marque colorée implantée au dermo-jet, par exemple) les femelles précoces et tardives dès leur première reproduction et, comme la date de ponte est à peu près stable, d'une année sur l'autre, les femelles pourraient n'être manipulées qu'à l'époque présumée de l'ovulation *(figure 21)*.

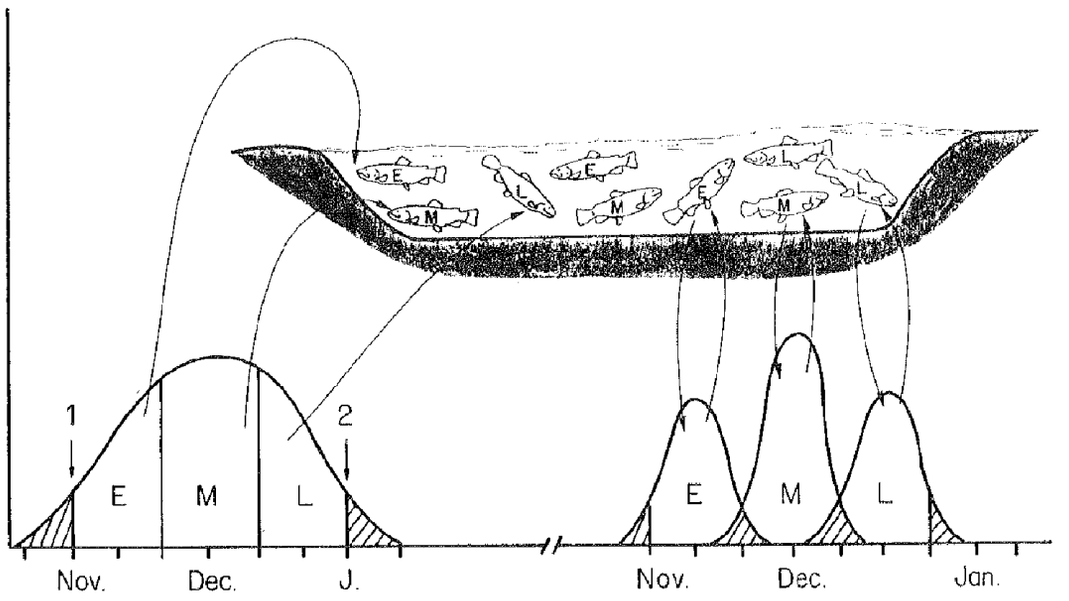


Figure 21.- *Tri et identification des reproducteurs d'après la date d'entrée en reproduction*
Globalement, l'entrée en spermiation et en ovulation est la même d'une année à l'autre. Afin de limiter le nombre de manipulations des reproducteurs tardifs (femelles surtout), on peut, lors du premier cycle, les marquer ou les séparer en trois catégories : début (E), milieu (M) et fin (L) de période de reproduction, et les exploiter séparément et successivement lors des cycles suivants.

1 et 2 : Premières et dernières ovulations
▨ : Animaux ne se reproduisant pas (en ordonnée, fréquence d'ovulations)

6.3.2.- *L'appréciation de la qualité*

Chez la truite, le nombre de spermatozoïdes nécessaires à la fécondation d'un ovule varie entre 10 000 et 300 000 et dépend de la qualité des gamètes qui dépend de nombreux facteurs : les uns sont liés aux géniteurs, leur histoire, leur alimentation, leur environnement physico-chimique, leur état physiologique, leur origine génétique, leur âge ; les autres sont liés à la physiologie propre des gamètes, en particulier aux phénomènes de vieillissement qui se manifestent dès que le spermatozoïde est libéré des gonades. C'est ainsi que le sperme de truite présente une moindre motilité et une réduction de l'aptitude à la congélation vers la fin de la saison de reproduction. Il n'existe pas de critères décisifs pour apprécier la qualité des gamètes. Chez le mâle, la motilité des spermatozoïdes (durée et intensité) constitue un bon test global,

mais il est difficile à quantifier et n'est pas toujours étroitement corrélé avec le pouvoir fécondant. En conclusion, le critère de motilité peut être utile en pisciculture mais seulement dans un sens négatif, c'est-à-dire détecter les spermes non motiles car jamais fécondants et les éliminer. Pour apprécier la qualité des ovules, on a surtout recours à des critères morphologiques. Toute polarisation du vitellus ou toute hétérogénéité de répartition dans l'ovule est suspecte et traduit des phénomènes de surmaturité ou d'atrésie. On peut aussi s'assurer de la qualité d'une ponte en plaçant quelques ovules dans l'eau : tout blanchiment traduira une déficience dans la perméabilité du chorion et la présence d'ovules non viables. Ces phénomènes indiquent, le plus souvent, un état de surmaturation, lié à un séjour trop prolongé des ovules dans la cavité abdominale.

6.3.3.- La conservation des gamètes

Les durées de conservation des ovules in vitro sont extrêmement variables, en particulier chez les Salmonidés. La survie est brève : entre 2 et 8 h, 24 h à 10°C et la conservation est de quelques jours à 4 ou 0°C. Les durées de conservation du sperme in vitro sont très variables selon les espèces, les individus et les conditions de stockage (O_2, température) ; les durées de conservation au réfrigérateur à 4°C varient de quelques heures à quelques jours. Dans certains cas, la conservation a pu être prolongée légèrement en plaçant le sperme sous oxygène ; la conservation a été tentée aux températures légèrement inférieures à 0°C en ajoutant un cryoprotecteur (DMSO ou éthylène-glycol à 5-10 %) au dilueur et des survies de plusieurs semaines ont été observées à -5°C. La congélation du sperme de Salmonidés a été réalisée en procédant à une dilution au 1/3 dans un milieu à base de sucrose 125 mM et bicarbonate de potassium 100 mM + 10 % d'un mélange d'amino acides (ménézo B_2) + 10 % de jaune d'oeuf au tellurite + 10 % de DMSO. Le mélange, placé en paillettes, est mis à congeler à la vitesse de 20°C/min. Dans l'état actuel de la technique, il faut dix fois plus de sperme congelé que de sperme frais pour la fécondation.

6.4.- L'insémination artificielle

La méthode d'insémination traditionnelle, dite méthode sèche, consiste à prélever les ovules par pression manuelle sur l'abdomen des femelles. En général, le liquide coelomique qui accompagne les ovules est éliminé. La laitance est prélevée de la même façon et épandue au-dessus des ovules ; le tout est mélangé avec une plume et de l'eau y est ajoutée. En général, la laitance de un à deux mâles est ajoutée aux ovules de quelques femelles, ce qui représente un apport largement excédentaire en spermatozoïdes. Une technique, qui permet de mesurer et de réduire la quantité de laitance utilisée, a été mise au point. Elle est basée sur l'utilisation d'un dilueur (solution saline tamponnée ; en g/l : NaCl 5,54, tris 2,42, glycocolle 3,75). Les gamètes sont prélevés comme dans la technique traditionnelle mais la laitance est d'abord prélevée et stockée au réfrigérateur ou à température ambiante lorsqu'elle n'excède pas 8-10°C. Les géniteurs de grande taille sont anesthésiés de façon à rendre leur manipulation plus facile. Le liquide coelomique est éliminé et le dilueur est ajouté de façon à juste recouvrir les ovules (environ 1 l de dilueur pour 3 l d'ovules). La laitance est ajoutée à l'aide d'une seringue par dessus le mélange ovules/dilueur, à raison de 3 ml/l,à la fin. L'ensemble est immédiatement transvasé à deux reprises. Le tout est laissé à reposer pendant 15 min environ, avant passage en incubateurs *(figure 22)*.

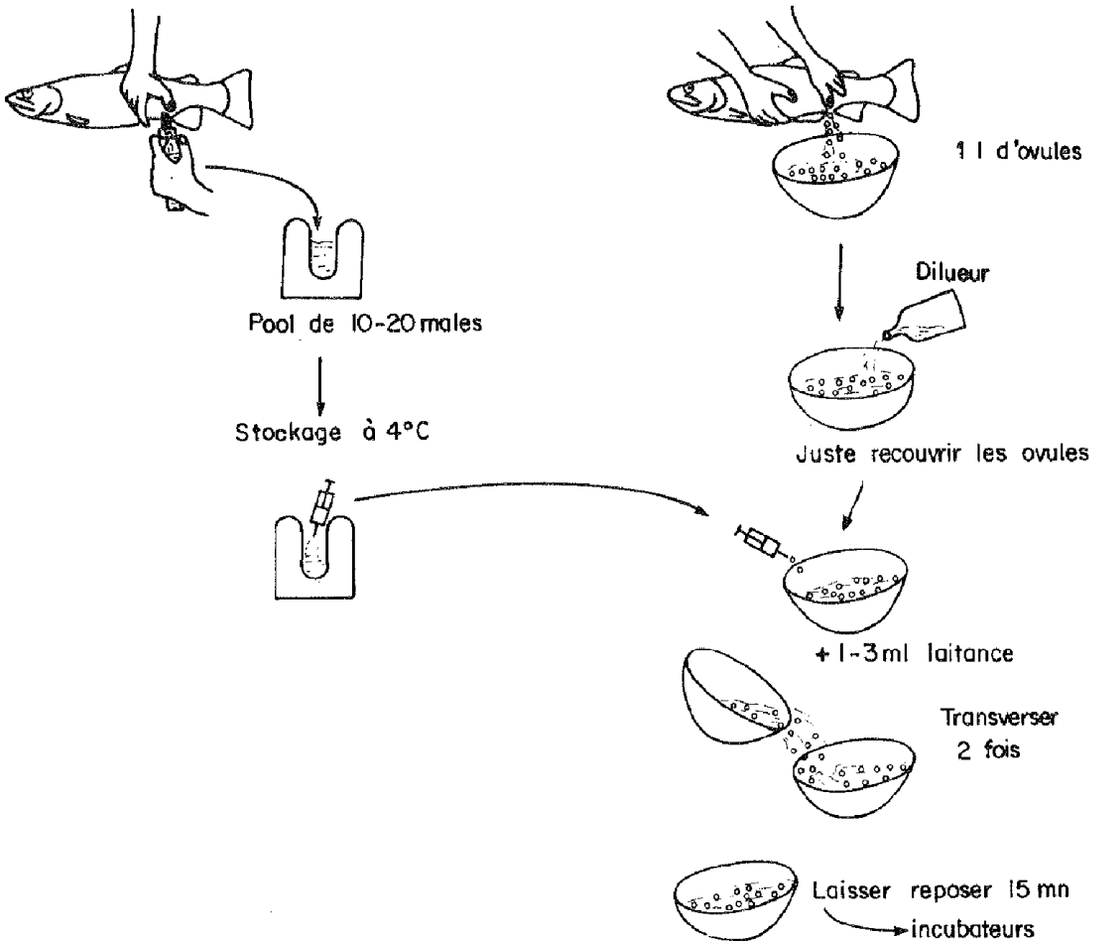


Figure 22.- *Schéma des opérations d'insémination artificielle des Salmonidés faisant appel à un dilueur et au contrôle du volume de sperme utilisé*

6.5.- L'incubation

Les exigences environnementales au cours de l'embryogenèse varient suivant les stades du développement. Pour les Salmonidés, la température ne doit pas excéder 12-14°C et même 10°C pour le saumon atlantique. Chez la truite arc-en-ciel, des températures voisines de 0°C, appliquées pendant les premiers jours de l'embryogenèse, réduisent le pourcentage d'oeufs embryonnés. Les besoins en O_2 dépendent du stade de développement, de l'illumination et même de la teneur du milieu en O_2 ; la consommation totale d'O_2 pendant l'incubation est de 28 g dans une eau saturée en oxygène pour le saumon atlantique. Il est essentiel de maintenir l'eau à saturation d'oxygène pendant l'incubation. Si nécessaire, l'eau sera aérée avant admission aux incubateurs. Le débit sera de l'ordre de 5 m^3/j pour 10 000 oeufs placés sur claie et sera augmenté en fin d'incubation. Parmi les autres facteurs susceptibles d'affecter le développement embryonnaire, il faut mentionner la luminosité (les Salmonidés exigent une relative obscurité), les chocs thermiques, dont les effets varient selon le stade du développement, et les chocs mécaniques. Ces derniers sont généralement considérés comme nocifs ; cependant, les embryons de truites arc-en-ciel semblent pouvoir supporter quelques manipulations ménagées pendant toute la durée de l'embryogenèse, ce qui autorise des transferts et des transports. Il apparaît que le siphonnage constitue la manipulation la plus traumatisante et qu'il faut l'éviter pendant la période comprise entre le deuxième jour suivant la fécondation et le stade oeillé. Durant leur période d'incubation,

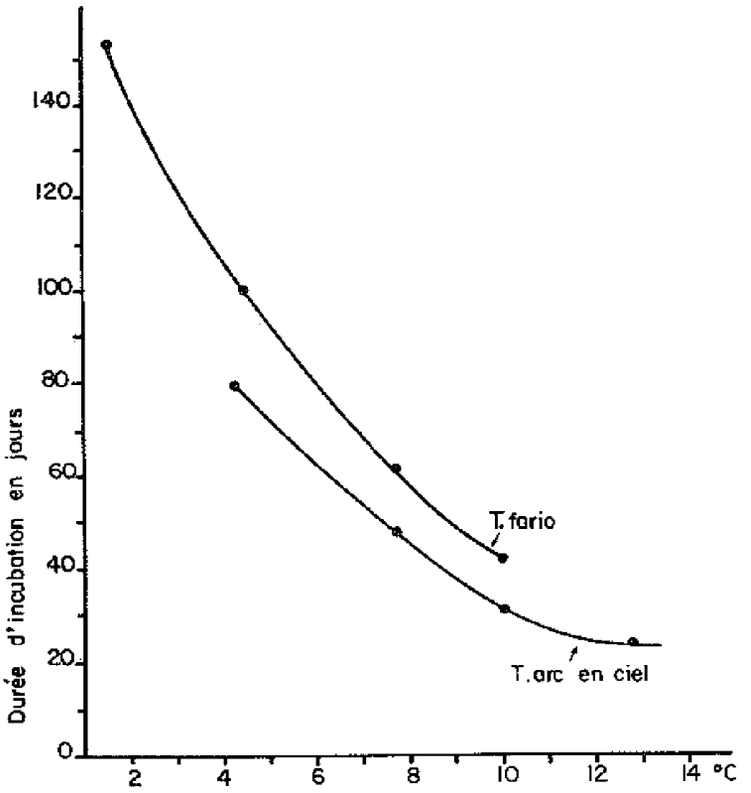


Figure 23.- *Durée d'incubation en fonction de la température de l'eau chez la truite arc-en-ciel et fario*

les oeufs reçoivent divers traitements antifungiques, antibiotiques, dont les effets ne sont pas toujours bien connus. Par exemple, la simple immersion d'oeufs de truite dans une solution d'aflatoxine induit un hépatome chez l'embryon. L'environnement physique, la qualité de l'eau et la nature des traitements administrés aux oeufs doivent donc retenir toute l'attention du pisciculteur pendant la période d'incubation. Il y a bien lieu d'éliminer les oeufs morts (blancs) manuellement avec des outils divers ou avec des machines trieuses appropriées.

La durée de l'embryogenèse dépend de la température et l'époque de l'éclosion peut être estimée si l'on connaît la température de l'eau : à 10°C, elle est de l'ordre de trente jours pour la truite arc-en-ciel et de quarante pour la truite fario *(figure 23)*.

6.6.- Le comptage des oeufs

Plusieurs méthodes sont utilisées pour dénombrer les oeufs. La méthode de Von Bayer consiste à compter le nombre d'oeufs placés côte à côte sur une longueur de 20 cm dans une gouttière en forme de V, le nombre d'oeufs par litre étant lu directement sur la gouttière ou à l'aide d'un abaque *(figure 24)*.

La méthode de déplacement consiste à échantillonner cinquante oeufs à l'aide, par exemple, d'une palette de cinquante trous de 3 mm et à mesurer le volume déplacé. Un abaque *(figure 25)*, ou des tables, donnent le nombre d'oeufs au litre.

La méthode des poids consiste à estimer le poids d'un oeuf à partir d'un échantillon de cent oeufs prélevés comme ci-dessus et de le diviser par le poids total des oeufs égouttés.

6.7.- Le transport des gamètes et des embryons

Les possibilités de transport dépendent naturellement de la durée de survie des gamètes et de la résistance aux manipulations et aux chocs (thermiques ou mécaniques) des embryons. S'ajoutent à cela les exigences en O_2 et en température. Le sperme de truite peut aisément être

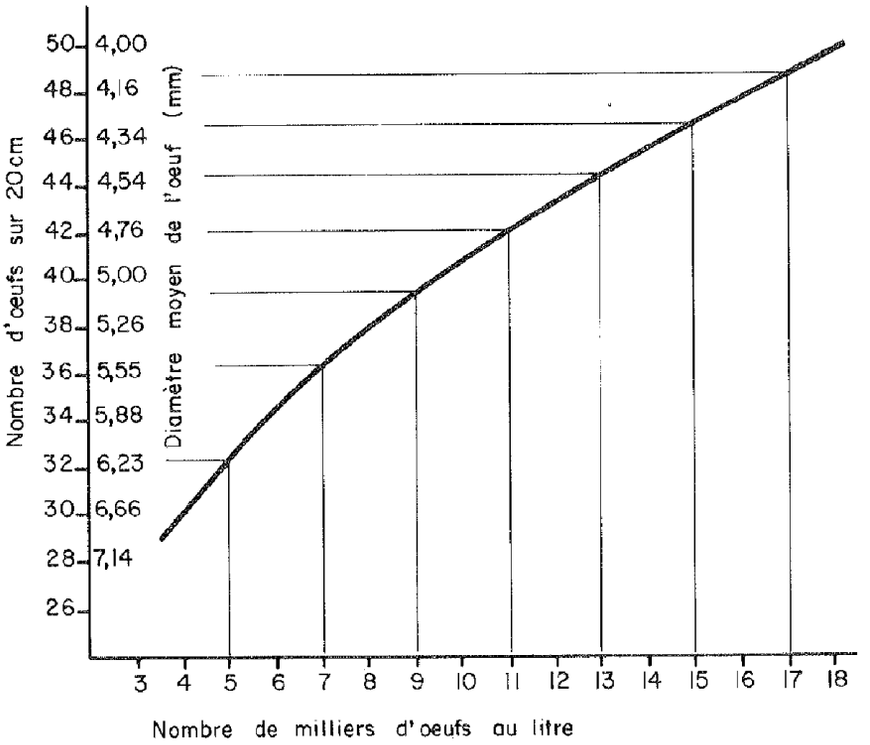


Figure 24.- *Abaque donnant par lecture directe le nombre d'oeufs par litre d'après le nombre compté au fond d'une gouttière sur une distance de 20 cm*

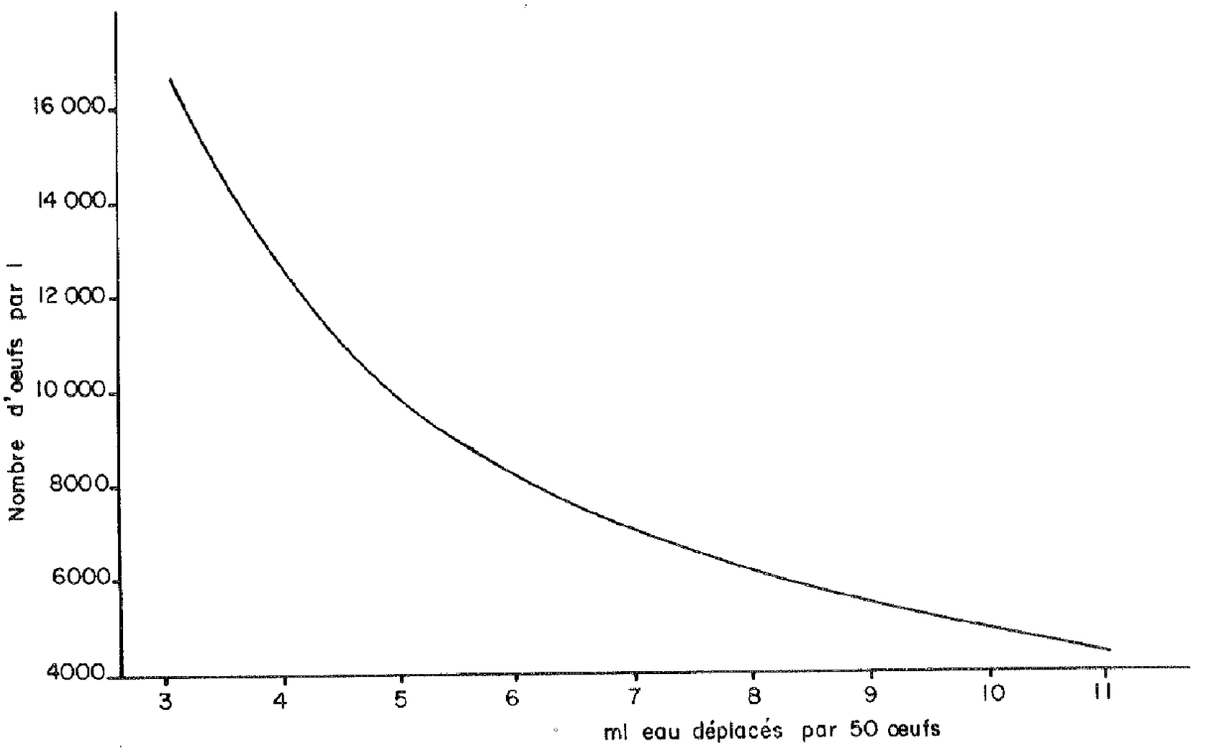


Figure 25.- *Abaque permettant la lecture directe du nombre d'oeufs par litre d'après le volume d'eau déplacé*

transporté dans des sacs de polyéthylène gonflés à l'oxygène mais du fait de la variabilité individuelle dans l'aptitude des ovules à être fécondés, les durées de transport ne peuvent guère excéder 12-24 h. Chez la truite arc-en-ciel, l'agitation des ovules dans le liquide coelomique étant moins traumatisante que dans le dilueur d'insémination ou

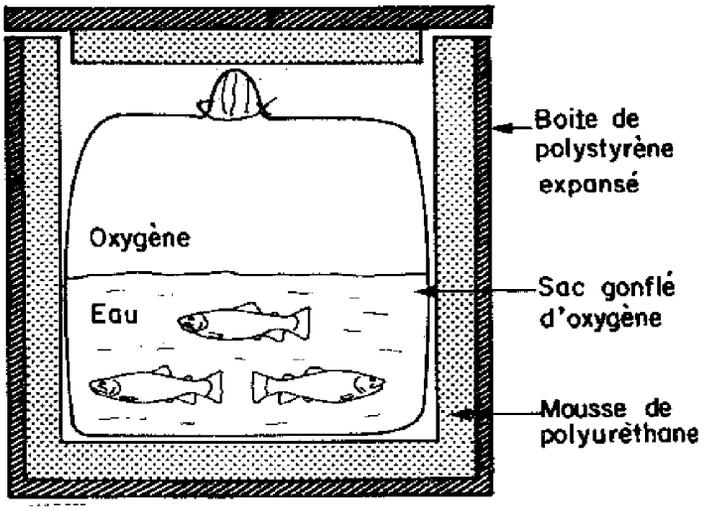


Figure 26.- *Schéma d'une caisse isotherme pour le transport des poissons*

qu'à sec, il est préférable de transporter les ovules en conservant le liquide coelomique. D'une façon générale, les oeufs fécondés et durcis (hydratés) sont plus résistants et peuvent subir des durées de transport plus longues. Le durcissement des oeufs de truite semble cependant une phase sensible et il est déconseillé de manipuler trop fortement les oeufs pendant l'heure qui suit le passage en eau douce, de même qu'il faut éviter de placer les ovules sur glace fondante dans les heures qui suivent la fécondation. Le transport des embryons, maintenant largement pratiqué, porte surtout sur des oeufs ayant atteint le stade oeillé, c'est-à-dire un développement avancé. A un stade plus précoce, les transports et les manipulations des embryons restent souvent possibles mais demandent plus de précautions, car la sensibilité aux chocs mécaniques est plus grande. D'une façon générale, tout transport, qu'il s'agisse de gamètes, oeufs fécondés ou embryons, doit être pratiqué sur glace en sacs plastiques gonflés d'oxygène entourés de matériaux mous, susceptibles d'amortir les chocs, et placés dans des containers relativement isothermes *(figure 26)*.

7.- LES MALADIES EN SALMONICULTURE

L'état de maladie se traduit, chez le poisson, par l'apparition d'anomalies du comportement et (ou) de l'intégrité corporelle qui se répètent au sein d'un cheptel et conduisent généralement à la mort ou à la baisse des performances de l'élevage. Ces anomalies sont dues à l'action nocive sur les fonctions physiologiques du poisson de causes d'ordre physique, chimique ou biologique agissant seules ou en association et mises en jeu de manière naturelle ou induite. L'induction implique une action humaine (technologie ou pollution).

7.1.- Les causes des maladies

7.1.1.- Causes d'ordre physico-chimique

Ce sont principalement les modifications à conséquences pathologiques des propriétés physico-chimiques de l'eau. Elles portent sur la température, la turbidité, les gaz dissous (oxygène, azote, gaz carbonique), les composés azotés (nitrites, ammoniac) issus des pollutions organiques, les substances chimiques issues des traitements industriels (acides, mercure, chlorure, sulfates) et les produits synthétisés ou extraits par la chimie industrielle et d'un emploi quotidien (pesticides, chlorophénols, détergents, hydrocarbures) qui sont drainés vers les

cours d'eau par le ruissellement ou apportés par les égoûts. D'un point de vue pratique, il faut savoir que la toxicité des différents produits dépend à la fois de facteurs propres au poisson (espèce, taille, état physiologique) et des caractéristiques de l'eau (température, pH, dureté, teneur en oxygène). Cette situation souligne l'importance qui existe de replacer l'accident dans son cadre si l'on recherche la cause d'une mortalité, une valeur seule ne signifiant généralement rien.

En élevage intensif, les causes majeures de pathologie d'ordre physico-chimique sont les rayonnements solaires, les traumatismes de manipulations, l'oxygène et l'ammoniac. Les autres facteurs d'ordre chimique qui peuvent jouer aussi un rôle pathologique sont l'alimentation et la thérapeutique.

7.1.2.- Causes d'ordre biologique

Ce sont les bioagresseurs que sont les parasites, bactéries et virus. La physiologie du poisson intervient par la manifestation de stress ou syndrome d'adaptation aux perturbations technologiques ou naturelles.

Parmi les maladies virales les plus répandues, on trouve la nécrose pancréatique infectieuse qui atteint les alevins de plusieurs espèces de Salmonidés, la septicémie hémorragique virale qui infecte les truites européennes, la nécrose hématopoïétique infectieuse des truites et de certains saumons du Pacifique et, enfin, la virémie printanière de la carpe, en Europe.

Les maladies bactériennes les plus connues sont des septicémies dues aux genres bactériens Aéromonas (furonculose et aéromonose diverses), Vibrio (surtout en eau saumâtre ou marine), Yersinia et à des myxobactéries. Ces infections sont plus ou moins spécifiques des poissons sensibles, mais elles se traduisent par des tableaux cliniques similaires d'infections hémorragiques et nécrosantes.

Les maladies parasitaires sont extrêmement diverses. Celles qui sont dues à des protozoaires parasites déterminent de lourdes pertes dans les alevinages et le Cilié parasite Ichtyophtirius est certainement le plus dangereux de son embranchement. Les champignons parasites, à l'opposé, semblent plutôt s'attaquer aux oeufs et aux poissons adultes. Enfin, les crustacés et les vers sont parfois dangereux, surtout en ce qui concerne les premiers, mais il faut surtout comprendre que ce sont les conditions de vie (naturelles ou d'élevage) des poissons qui favorisent l'expression de telle ou telle cause de maladie.

7.2.- Les facteurs influant sur le déclenchement et l'évolution des maladies

7.2.1.- La pathologie, phénomène naturel

Les bioagresseurs sont des êtres vivants qui vivent aux dépens des poissons, et, de ce fait, sont présents partout où il y a des poissons. Ils passent des poissons sauvages à ceux de pisciculture par le simple effet du courant. Les animaux qui leur résistent (en s'immunisant, par exemple) demeurent dans la pisciculture et constituent à leur tour des sources d'agents pathogènes. L'action de ces agents peut être favorisée par des facteurs physico-chimiques, issus de circonstances météorologiques liées à la saison et au climat (température, oxygène, turbidité,

acidité, excès d'azote, réduction de débit) et ces causes peuvent agir aussi pour leur propre compte. Il devient alors évident que la pathologie est un phénomène naturel et que son risque doit être pris en considération.

7.2.2.- La pathologie, phénomène induit

Un certain nombre de troubles peut être induit par les pollutions et il atteint plutôt les peuplements sauvages, mais la technologie piscicole est fréquemment à l'origine de la mise en jeu des causes de maladie. En élevage intensif, par exemple, des conditions se créent, qui favorisent certains types d'accidents. Il faut, en effet, détenir un grand nombre d'animaux dans un espace clos, mais dans un milieu renouvelé plusieurs fois par heure (et, généralement, à partir d'un apport d'eau extérieur à l'exploitation) et la rentabilité exige la concentration, l'alimentation, la manipulation et le transfert des animaux. Il devient alors clair que :

- le milieu renouvelé apporte en permanence les agents pathogènes qu'il y a en amont et dissémine vers l'aval ceux qui sortent des poissons infectés de l'exploitation ;
- la concentration des animaux dans un espace clos fait que :
  - . si un facteur critique comme l'oxygène vient à manquer, les mortalités prendront tout de suite un tour dramatique. De même, si la quantité d'aliment distribué produit une excrétion d'ammoniac telle que le débit ne peut la diluer en dessous de la dose toxique, les accidents seront également spectaculaires. Il y a induction de l'action néfaste de facteurs chimiques du milieu aquatique auxquels le poisson ne peut se soustraire ;
  - . si un bioagresseur traverse un bassin, il rencontrera sûrement un hôte alors que dans la nature il n'avait que peu de chances de le faire. La technologie favorise la contagion des agents transmissibles, donc peut induire la manifestation des maladies ;
- la manutention des animaux provoque des lésions externes et des stress favorisant l'action de bioagresseurs, donc induit indirectement les maladies causées par ces agents ;
- les transferts de poissons répondent aux nécessités commerciales, mais ils transportent entre deux régions hydrographiques sans communication naturelle les poissons porteurs d'agents pathogènes, donc les risques de maladies contagieuses dans des régions encore indemnes ;
- l'alimentation, qu'elle soit de mauvaise qualité ou distribuée de façon inadéquate, peut être responsable de baisses de performances.

7.2.3.- La pathologie, phénomène prévisible

La pathologie apparaît d'une part comme un phénomène naturel pouvant être amplifié par les conditions d'élevage et, d'autre part, comme un phénomène induit par ces conditions. Elle apparaît alors comme un événement logique et prévisible contre lequel on doit mettre en place en permanence des moyens préventifs d'intervention.

7.3.- Les moyens de prévention des maladies des poissons

Ils tiennent dans les idées suivantes : reconnaître les causes de maladie, favoriser le fonctionnement normal de l'organisme, couper la transmission des maladies, détruire l'agent pathogène sur l'animal, renforcer les défenses de ce dernier.

7.3.1.- Les méthodes

7.3.1.1.- Le diagnostic

Le diagnostic se fait au coup par coup avant la mise en oeuvre des méthodes de lutte ou bien la somme des diagnostics permet de connaître la pathologie d'une espèce et conduit à l'édification de plans d'intervention préventive pour un élevage.

Les poissons porteurs d'anomalies caractéristiques identifiées sur le terrain doivent être examinés au laboratoire pour confirmer le diagnostic. Le poisson doit être acheminé vivant. Dans le cas de diagnostic virologique, qui se fait à partir du rein, de la rate et de l'encéphale, il suffit de prélever et d'expédier ces organes en conditions stériles au laboratoire. Dans tous les cas, une fiche de renseignements détaillés accompagnera l'envoi.

7.3.1.2.- Hygiène

Les mesures hygiéniques sont l'ensemble des moyens propres à conserver la santé en permettant l'accomplissement normal des fonctions et en harmonisant les rapports entre l'animal et le milieu dans lequel il vit, afin d'éliminer l'influence néfaste éventuelle de ce milieu. Il faut d'abord s'assurer que la composition de l'eau est adaptée pour la truite *(tableau 1)* et que les teneurs en micropolluants sont compatibles avec une bonne santé des poissons *(tableau 4)*. Des interventions humaines peuvent alors être nécessaires et consisteront à aérer, filtrer, épurer, décanter, dégazer, à corriger le débit, la charge, le taux d'alimentation, voire à modifier le milieu (augmentation de la salinité et du pH).

Il faut ensuite minimiser les traumatismes dus à l'élevage, aux manipulations (capture, tri, transfert, transport, traitements, etc.). Il faut offrir au poisson un habitat non traumatisant - par exemple des bassins à paroi lisse - et s'assurer d'une bonne hygiène alimentaire : bonne conservation, taille des granulés en rapport avec la taille du poisson.

7.3.1.3.- Intervention sanitaire

Les mesures de prophylaxie et de police sanitaires sont les moyens relatifs à la conservation de la santé en présence d'un agent pathogène. Elles tentent de détruire cet agent avant qu'il ne pénètre dans l'organisme sain. L'intervention sanitaire peut se faire ponctuellement, c'est-à-dire chacun avec ses propres poissons, soit de manière coordonnée (systèmes sanitaires officiels, nationaux ou internationaux). Ce dernier mode d'action ne vise que certaines maladies virales (SHV : septicémie hémorragique virale ; NPI : nécrose pancréatique infectieuse) et une maladie parasitaire (myxosomose), du fait de l'absence de traitements contre ces maladies.

La désinfection, qui constitue l'une des mesures sanitaires préventiv majeures, portera sur les oeufs (traitement à l'iode), l'eau (rayonne ment UV en alevinage) et le matériel (cuve de transport, matériel de manutention, et vêtements - par l'implantation de pédiluve aux accès la pisciculture -). Il faut, d'autre part, éviter qu'un véhicule de transport de poissons ne vidange ses cuves directement dans les rivi res, surtout en amont d'une pisciculture.

7.3.1.4.- Mesures médicales

Elles comportent la thérapeutique (produits antimicrobiens incorporé à la ration alimentaire et produits antiparasitaires souvent adminis- trés par balnéation) et l'immunoprophylaxie (vaccination contre la vi briose et la yersiniose, peut-être bientôt contre certains virus).

Lorsque les dominants pathologiques d'une salmoniculture sont connus, des programmes de traitements préventifs peuvent être appliqués syst matiquement. En plus, face au diagnostic d'une maladie nouvelle, un traitement spécifique sera appliqué. Un traitement standard comporte:

- pour les oeufs : désinfection à l'iode une heure après la fécond tion dans le cas d'oeufs produits sur place et dès l'introductio pour les oeufs venant de l'extérieur ; traitement antifongique a vert malachite durant l'incubation ;
- pour les alevins vésiculés : bain de formol dès le cinquième jou après l'éclosion ;
- pour les alevins après résorption : traitements alternés au form et ammoniums quaternaires à intervalles de huit-dix jours, jusqu cent jours, effectués directement dans les auges d'alevinage san manipulation des sujets ;
- pour les truitelles et truites : traitement antiseptique externe (sulfate de cuivre, permanganate de potassium, chloramine T) qui prévient les lésions cutanées, voie d'infections bactériennes. E outre, ces traitements désinfectent les bassins ;
- traitement antibactérien dès les premières manifestations d'une ladie bactérienne suivi d'une distribution de vitamine C (médica tion tonique de convalescence). Vaccination.

7.3.2.- Stratégie de l'intervention

La lutte contre les différentes maladies passe par la combinaison de méthodes précédentes et l'efficacité est maximale quand l'interventi est préventive, donc précoce. De toute façon, même si l'on intervien après qu'une maladie soit déclarée dans un élevage, on empêche les p sons encore sains de s'infecter, mais on ne guérit pas les malades. Ces derniers ne mangent généralement pas, ne consomment pas le médic ment s'il est distribué par voie orale, ou bien ne supportent pas la balnéation médicamenteuse, ou, encore, étant affaiblis, sont éliminé par la concurrence de leurs congénères.

Enfin, il faut préciser que la faculté d'intervention dépend de l'ac cessibilité des cheptels et que les maladies sévissant chez les pois sons sauvages sont hors de notre portée, si leurs risques ne sont pa envisagés quand on procède à des aménagements piscicoles.

CONCLUSION

La salmoniculture est parmi les productions aquacoles les plus importantes dans le monde. Elle est surtout pratiquée dans les pays riches et offre sur le marché un produit de haute valeur commerciale, mais dont les coûts de production sont eux-mêmes élevés, les postes énergie, aliment et amortissements étant les plus importants. Cette activité est longtemps restée artisanale, basée sur un savoir faire séculaire, mais tend maintenant à s'apparenter à une production intensive de type hors sol, avec développement d'industries amont (aliments, médicaments, matériels, services) et aval (la transformation, qui ouvre des perspectives de développement importantes). L'assistance technique est surtout prise en charge par ces activités d'amont mais la recherche publique y apporte son concours par la diffusion de l'innovation technique.

Les apports de la recherche ont été importants au cours des dernières années et ont accompagné, voire même initié, les mutations en cours (définition des besoins alimentaires et leur couverture, traitement et prévention des maladies, progrès génétique, maîtrise du sexe - obtention d'animaux stériles - et maîtrise et optimisation de la reproduction).

Les pouvoirs publics ont montré un intérêt récent pour ce type d'activité qui s'inscrit bien dans la politique de diversification des productions agricoles. La création d'une mission aquaculture au Ministère de l'Agriculture a permis de mieux définir la salmoniculture aux yeux de l'administration et des banques et en regard des autres activités agricoles et aquacoles, de mieux structurer la formation et le développement et de dynamiser une profession dont les perspectives de développement ne sont pas négligeables.

BIBLIOGRAPHIE

BILLARD R., 1984. The control of fish reproduction in aquaculture. Proceedings of the International Conference of Aquaculture, Venice 1981, 43 p.

BILLARD R., BRETON B., 1984. Control of reproduction and fish farming. Proceedings of the International Soc. Comp. Endocrinol., B. Loft Ed. Hong Kong.

BRETT J.R., GROVES T.D.D., 1979. Physiological energetics, In Fish physiology, vol. VIII. Academic Press, 279-352.

CHEVASSUS B., QUILLET E., CHOURROUT D., 1983. Note technique : obtention d'animaux triploïdes chez la truite arc-en-ciel. *Bull. Fr. Pisci.*, 290, 161-164.

FAURE A., 1983. La réglementation des salmonicultures. Note technique. Rapport CEMAGREF, Bretagne, 54 p.

RIGAUD M., 1981. Les paramètres physico-chimiques de l'eau. Rapport ITAVI, 6 p.

THORPE J., 1980. Salmon ranching. Academic Press Publ., London, New York, Toronto, Sydney, San Francisco, 441 p.

Aquaculture

volume 2

Coordonnateur
Gilbert BARNABÉ
Maître de Conférences à l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc

Préface
Yves SILLARD
Président Directeur Général de l'IFREMER

lavoisier TEC & DOC
Technique et Documentation - Lavoisier
11, rue Lavoisier 75384 Paris Cedex 08

© Technique et Documentation (Lavoisier), 1986
11, rue Lavoisier - F 75384 Paris Cedex 08

ISBN 2-85206-302-6
volumes 1 et 2

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les "copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective" et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, "toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants-droit ou ayants-cause, est illicite" (alinéa 1er de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code Pénal.