

CIRAD-EMVT
Campus de Baillarguet
B.P. 5035
34032 MONTPELLIER Cedex 1

Ecole Nationale Vétérinaire
d'Alfort
7, avenue du Général de Gaulle
94704 MAISONS-ALFORT Cedex

Institut National Agronomique
Paris-Grignon
16, rue Claude Bernard
75005 PARIS

Muséum National d'Histoire Naturelle
57, rue Cuvier
75005 PARIS

**DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES SPECIALISEES
PRODUCTIONS ANIMALES EN REGIONS CHAUDES**

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

**ALIMENTATION ET AQUACULTURE
CAS DE LA TRUITE ARC-EN-CIEL (*Oncorhynchus mykiss*)**

par

Peggy ALEXANDRE

année universitaire 1997-1998

RESUME ET MOTS-CLES

RESUME

La truite arc-en-ciel, poisson carnivore, doit être alimentée, à la base, avec une alimentation riche en protéines. De par ce fait la base alimentaire sera constituée de farine de poisson dont une partie pourra être remplacée par des matières premières végétales; l'aliment devra également contenir des acides gras de la série n-3, ainsi que des sucres du type glucose.

Un apport vitaminique devra également être fait, dont les pourcentages d'incorporation dépendent fortement du type de vitamines.

Le problème des rythmes d'alimentation est également abordé. Il a été déterminé une meilleure efficacité alimentaire par un nourrissage à l'aube (durant 2-3 h) et, au crépuscule (durant 2-4 h).

MOTS-CLES

pisciculture, truite arc-en-ciel, *Oncorhynchus mykiss*, alimentation, anatomie digestive, rythme d'alimentation.

SOMMAIRE

I -- INTRODUCTION.....	4
II -- ANATOMIE PHYSIOLOGIQUE DE L'APPAREIL DIGESTIF	5
1 -- L'oesophage.....	5
2 -- L'estomac	5
3 -- L'intestin.....	5
4 -- Les caeca, appendices pyloriques	5
III -- BESOINS ALIMENTAIRES	7
A -- ENERGIE	7
B -- PROTEINES ET ACIDES AMINES	8
1 -- Nature des protéines	8
2 -- Interactions entre acides aminés	9
3 -- Remplacement de la farine de poisson	10
4 -- Interactions protéines et lipides	12
C -- LIPIDES.....	12
1 -- Types d'acides gras.....	12
2 -- Sources lipidiques.....	13
D -- GLUCIDES.....	14
1 -- Sucres métabolisables.....	14
2 -- Sucres structuraux.....	17
E -- MINERAUX	17
1 -- Macro éléments.....	18
a -- Calcium.....	18
b -- Phosphore	18

2 -- Oligo-éléments.....	19
a -- Iode	19
b -- Zinc.....	19
c -- Magnésium.....	19
d -- Manganèse	19
F -- VITAMINES	19
1 -- Vitamines liposolubles	20
a -- Vitamine A.....	20
b -- Vitamine D	20
c -- Vitamine E.....	20
d -- Vitamine K	20
2 -- Vitamines hydrosolubles	21
a -- Vitamine B1	21
b -- Vitamine B2.....	21
c -- Vitamine B6.....	21
d -- Vitamine C.....	21
IV --RYTHMES D'ALIMENTATION	23
1 -- Heure d'alimentation	23
2 -- Contrôle endogène	23
3 -- Lipides et heure d'alimentation	24
4 -- Protéines et fréquence d'alimentation	24
V -- CONCLUSION.....	25
LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES.....	26
BIBLIOGRAPHIE	27
ANNEXE FICHE TRUITE ARC-EN-CIEL	33

I -- INTRODUCTION

La production aquacole fournit environ 20 millions de tonnes (36), avec une majorité en eau douce, surtout dans des régions (Europe, Asie) où cette culture est ancienne. La part de l'aquaculture est en augmentation en réponse au problème de surexploitation des ressources naturelles, mais aussi du fait de l'augmentation de la population humaine.

C'est pourquoi ce domaine est de plus en plus étudié et ces études ont permis une assez bonne maîtrise de la pisciculture et notamment de la salmoniculture et de son alimentation qui a fortement évolué; la preuve en est une forte évolution de l'indice de conversion (quantité d'aliment consommée / gain de poids du poisson) qui était de 4 en 1960 et se situait en 1995 vers 1,5 (60).

Il serait alors intéressant de voir les possibilités d'exportations de ces techniques, dans des zones intertropicales d'altitude (Cordillères des Andes, plateaux malgaches), pour tenter l'implantation de ce type d'aquaculture?

Il est bien entendu que cette exportation ne devra pas être brute, mais devra être l'objet de modifications, notamment en ce qui concerne l'alimentation qui devra privilégier l'utilisation de matières premières locales.

Il est à ajouter aussi, en terme d'alimentation, que la connaissance approfondie sur la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*, anciennement *Salmo gairdeni*) peut fortement aider à l'étude du développement piscicole d'espèces plus tropicales bien que la généralisation de ces pratiques soit difficile. Cependant, en terme de gestion de l'environnement, de sa qualité, les problèmes se posent de la même façon quels que soient les modes d'exploitation (même si ce sujet ne sera pas traité il est bon de ne pas l'oublier).

II -- ANATOMIE PHYSIOLOGIQUE DE L'APPAREIL DIGESTIF

Le tube digestif est composé d'un oesophage, d'un estomac, d'un intestin antérieur, de nombreux coeca ainsi que d'un intestin moyen et postérieur. Nous avons donc un système digestif de poisson carnivore.

1 -- L'oesophage

Il ne possède aucune particularité par rapport à celui d'autres poissons carnivores. Il est riche en tissu lymphatique et présente des grandes cellules à mucus au niveau de son épithélium. Sa fonction est d'amener les aliments de la cavité buccale jusqu'au sphincter cardiaque. Les conditions physico-chimiques de la lumière de l'oesophage sont les mêmes que celles du milieu environnant le poisson et le pH est neutre (27).

2 -- L'estomac

Il présente à jeûn un pH neutre qui s'acidifie rapidement avec la prise d'un repas. Son principal rôle consiste en une activité protéolytique réalisée synergiquement par l'acide chlorhydrique et le pepsinogène, produits par une même cellule. Comme la vidange gastrique constitue le principal facteur de vitesse de transit gastro-intestinal, il est très important de bien connaître sa physiologie (27).

3 --L'intestin

L'intestin antérieur commence après le pylore où le bol alimentaire stomacal acide est neutralisé par la sécrétion pancréatique. La neutralité du milieu permet ainsi l'activité variée de nombreuses enzymes apportées principalement par la sécrétion pancréatique et les sels biliaires. A ce niveau l'activité enzymatique est primordiale pour la digestion car l'absorption des nutriments s'effectue dans la portion postérieure de l'intestin pour les macromolécules (27). La sécrétion pancréatique réalise la digestion des protéines, sucres, graisses et nucléotides avec les protéases, amylases, chitinases et lipases.

Dans la lumière de l'intestin antérieur, on trouve aussi des enzymes produites par la muqueuse intestinale, qui réalisent des transformations particulières, telles que :

- amino, di, tripeptidases,
- nucléosidases, polynucléosidases,
- lécithinase,
- estérase,
- amylase, maltase, sucrase, isomaltase,

4 -- Les caeca, appendices pyloriques

Ils sont insérés au niveau de l'intestin antérieur et leur nombre varie génétiquement.

Physiologiquement ils réalisent l'absorption des lipides (10 heures) et l'absorption active de glucides. Leur importance est proportionnelle au facteur d'augmentation de la surface de la muqueuse intestinale. Le stockage et l'allongement du temps de transit représentent le deuxième rôle physiologique joué par les caeca (27).

La présence de caeca ralentit la vitesse de transit et permet une augmentation du temps de contact enzyme/substrat, assurant un meilleur rendement de la digestion (6). De plus il existe une corrélation significative entre la taille du poisson et le nombre de caeca pour les poissons de même âge (3).

Tableau I : récapitulatif de la physiologie digestive (27).

	pH	Enzymes	Autres composants	Remarques
Oesophage	7	Lysozyme		Présence de tissu lymphatique, musculature puissante et grandes cellules à mucus
Estomac	neutre à jeûn s'acidifie rapidement avec l'aliment	Pepsine, amylase, lipase, chitinase	HCl	
Caeca	8-8,5	Trypsine, chymotrypsine		Surface caecale = 1,8 m ² de surface intestinale pour une truite de 100 g
Intestin proximal	7	<u>Sécrétion pancréatique</u> : protéase, amylase, chitinase, lipase, protéase, trypsine, chymotrypsine, elastases, carbopepsidases <u>Bile</u> : trypsine, lipases, amylases, ditripepsidase, nucléosidase, lécithinases, lipase, estérase, amylase	<u>Dans la bile</u> : cholestérol, phospholipides, pigments biliaires, glycoprotéines, ions organiques et minéraux	Présence de bile et de sécrétion pancréatique
Intestin distal	7-8			Cellules à mucus : absorption de macromolécules

III -- BESOINS ALIMENTAIRES

En milieu naturel, la truite arc-en-ciel se nourrit de copépodes (zooplancton) qui constituent une source alimentaire endogène. On distingue une deuxième source qui est exogène terrestre : larves de lépidoptères, et de curculionidés, éventuellement nématodes, larves et nymphes de diptères aquatiques et celles d'oligochètes (58, 42).

Cette alimentation apporte l'énergie et les nutriments nécessaires à la croissance, la reproduction et la santé générale. Dans le milieu naturel la base de l'alimentation des truites est donc constituées par les invertébrés qui renferment entre 37 et 66 % de protéines, 9 et 33 % de matière grasse, 3 et 28 % de minéraux, le reste étant constitué de glucides (4).

En élevage intensif l'apport est artificiel pour pouvoir couvrir les besoins. Ces besoins nutritifs peuvent être établis en terme d'énergie, protéines et acides aminés, lipides, minéraux et vitamines.

Une déficience en ces éléments perturbe, de façon réversible ou irréversible, les systèmes métaboliques.

A – ENERGIE

L'énergie n'est pas un nutriment, elle est issue du métabolisme oxydatif du carbone, des graisses et des acides aminés.

Les besoins absolus en énergie peuvent être quantifiés par la mesure de la consommation en oxygène ou par la production de chaleur.

L'énergie de l'aliment est divisée en plusieurs compartiments dans le corps de l'animal. Une partie de cette énergie sera perdue sous forme de fèces, urine, sécrétions et chaleur (figure 1 (51)). Le but de l'aliment sera donc de réduire au maximum ces pertes pour une utilisation maximale par l'organisme (51).

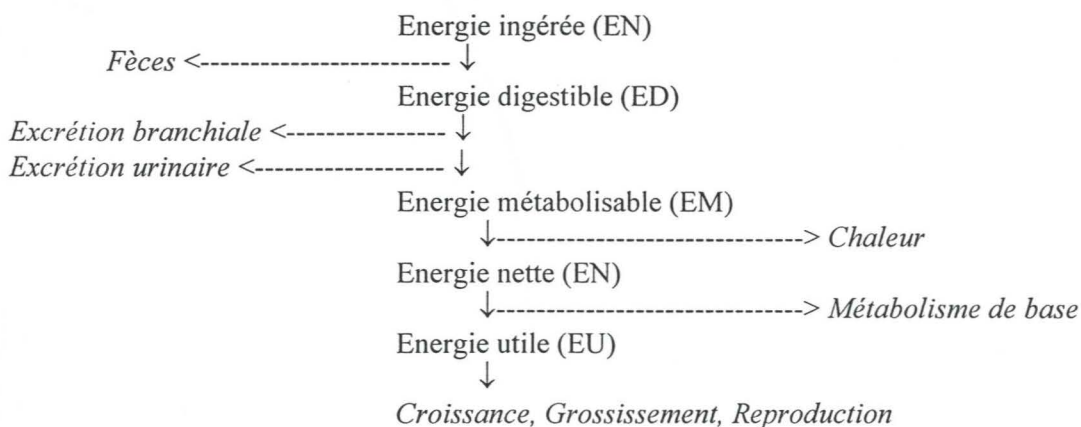


Figure 1: Présentation schématique de la destination de l'énergie alimentaire chez le poisson.

L'énergie disponible est de 74 % de l'énergie brute chez les poissons, contre 59 % et 51 % respectivement chez les mammifères et les oiseaux, avec des variations selon la lignée des truites qui utilisent différemment l'énergie alimentaire, notamment pour les lignées à croissance rapide qui consomment en proportion inférieure l'énergie fournie par les protéines corporelles (46).

Les Salmonidés ont la particularité d'utiliser les protéines comme fournisseurs d'énergie du fait de leur régime naturel carnassier (30). C'est pourquoi il est important d'optimiser le rapport entre les protéines et l'énergie de l'aliment pour améliorer les performances, en sachant que la disponibilité de l'énergie est améliorée pour un aliment à faible dose protéique (30 %) par rapport à un aliment contenant 45 % de protéines (54).

Une autre expérience a permis de confirmer ces données : en effet une réduction de l'apport en protéines digestibles par rapport à l'énergie digestible améliore les performances, c'est-à-dire donne de meilleurs indices de consommation, une augmentation de la rétention protéique et une diminution des pertes énergétiques d'origine protéique, et donc une réduction des rejets azotés (59).

Or la technique de l'extrusion permet d'agir sur ce rapport, en permettant l'augmentation de l'énergie de la ration par l'augmentation de la teneur en graisse et la réduction du taux de protéines; cette technique permet également d'améliorer la digestibilité des amidons (60).

B -- PROTEINES ET ACIDES AMINES

Le muscle représentant plus de 55 % du poids chez les poissons, les besoins lors de la croissance seront essentiellement protéiques (37) et ces besoins protéiques ont été estimés à 40% (61), ou à 34 % si l'on incorpore 18 % de matières grasses au lieu de 7 à 10 % (4). Ce taux élevé est dû au fait qu'il n'y a que l'azote contenu dans les protéines des aliments qui soit à même de fournir aux poissons les éléments constitutifs de leurs protéines qui ne peuvent être élaborées à partir des glucides, lipides, amides (40).

1 -- Nature des protéines

Le type de protéines dépend de l'équilibre en acides aminés qui sont au nombre de 20 dont certains sont essentiels, car non métabolisables, et doivent obligatoirement se trouver dans l'alimentation, les autres étant non essentiels, car ils sont métabolisables.

Liste des acides aminés (30, 44)

Acides aminés non essentiels

- | | | |
|---------------------|-------------------|---------------------|
| -- alanine | -- sérine | -- acide glutamique |
| -- acide aspartique | -- proline | -- glycine |
| -- cystine | -- hydroxyproline | -- tyrosine |

Acide aminés essentiels

- arginine
- isoleucine
- histidine
- leucine
- lysine
- methionine
- phénylalanine
- thréonine
- tryptophane
- valine

De plus, les acides aminés essentiels, eux mêmes doivent être présents à certains taux minima.

Tableau II : Taux de base des acides aminés essentiels chez la truite (4, 35).

Acide aminé	% de l'aliment d'après JOSE IGNACIO LEON, 1975	Taux (% matière sèche) d'après BARNABE, 1989
ARG	3,6	1,2
HIS	1,8	0,7
ILEU	2,9	0,9
LEU	4,3	1,6
LYS		2,0
MET	1,4	0,5
PHE	2,9	2,0
THR		0,9
TRY	7,1	0,2
VAL	2,9	1,3

2 -- Interactions entre acides aminés

Il existe des interactions entre les acides aminés; de par le fait de ces interactions la croissance est maximum lorsque le taux de méthionine est de 0,5 % et le taux de cystine de 1,0% (30). Il est à noter que la truite arc-en-ciel souffre de cataracte lorsqu'elle consomme un aliment déficient en méthionine (57), et que les aminoacides soufrés (lysine et méthionine) d'une part, l'isoleucine et l'arginine d'autre part, jouent le rôle de facteurs limitants (30).

Des changements dans le métabolisme minéral ont été observés dans le cas d'une déficience en tryptophane. En effet, des concentrations significatives en calcium, sodium et potassium sont retrouvées dans les reins. Dans le foie également de fortes concentrations en calcium, magnésium, sodium et potassium sont retrouvées provoquant des lésions. La déficience en tryptophane provoque également une scoliose (courbure latérale de la colonne vertébrale) (67).

A l'opposé une plus grande disponibilité du tryptophane permet une meilleure résistance au stress d'hypoxie et une résistance à l'infection, par *Aeromonas salmonicida* par exemple (49). Les protéines répondant le mieux à ces exigences en acides aminés sont les protéines animales (type farine de poisson) à la base de tout aliment artificiel. Cependant, il semble possible de substituer jusqu'à 50-70 % des protéines animales par des protéines végétales; cette substitution peut être profitable quant au prix de vente du poisson sur le marché (25).

Par conséquent, il est important d'apporter un mélange de protéines d'origines diverses afin d'obtenir une complémentation de leurs carences individuelles, et ainsi gagner en efficacité nutritive. C'est pourquoi, nous sommes obligés de connaître, en plus de la composition en acides aminés des protéines, la digestibilité des protides afin de connaître non pas ce que l'animal ingère, mais ce qu'il absorbe. Or il s'avère que les farines de poisson sont les plus digestibles d'où leur grande utilisation. Mais dans l'expectative du développement de cette culture en régions intertropicales cet élément peut être très coûteux; il est donc conseillé d'envisager le remplacement de ces protéines par des lipides ou des glucides.

Des expériences ont été menées pour les possibilités de développement de la salmoniculture en régions chaudes. Il a alors été constaté de mauvais coefficients alimentaires qui ont été imputés non pas à une eau trop chaude (selon Schaperclaus la truite arc-en-ciel peut supporter des températures de 20-30°C (63)), mais à des problèmes de turbidité de l'eau et à un mauvais ensoleillement, facteurs inhibant la prédation (17).

3 -- Remplacement de la farine de poisson

Le remplacement de la farine de poisson est un objectif majeur tant du point de vue nutritionnel que du point de vue écologique.

Lorsque l'on s'efforce de remplacer les protéines de la farine de poisson, une telle substitution doit se faire sur la base d'un équivalent protéique et énergétique digestible compte tenu de l'équilibre des acides aminés (20).

Des farines de sous-produits de volailles, des concentrés protéiques de fève de soja, de la farine de gluten de maïs, des protéines issues de levures cultivées sur alkane, et de la farine de krill ont été testés. Les conclusions faites sont les suivantes :

Un aliment où les protéines sont seulement d'origine végétale n'est pas satisfaisant pour une bonne croissance. Il est donc nécessaire d'apporter des protéines d'origine animale. En effet, par exemple, une alimentation de protéines de krill donne de bons résultats de croissance tandis que des protéines issues que du soja donnent de mauvais résultats.

Cependant si l'on apporte 44 % des protéines sous forme de soja, 15 % de farine de plumes, et 20

% de sous-produits de poulet, on note des résultats seulement inférieurs de 8 % au témoin à base de farine de poisson (5). Pour le soja il est à préciser que les facteurs antinutritionnels de ce dernier seront éliminés par la cuisson (64) ou la double extrusion (4).

Selon d'autres auteurs, la truite arc-en-ciel peut aussi très bien tolérer des protéines provenant d'une levure (*Candida lyphytica*), d'une bactérie (*Pseudomonas* sp) et d'une algue (*Spirulina maxima*) à des concentrations de 20-40 % dans des aliments composés administrés durant 10-12 semaines. Cependant, il a été constaté une moins bonne performance pour une alimentation incorporant uniquement de la matière première algale (45). Ces baisses de performances peuvent être imputées au fait qu'un aliment ne contenant que des protéines végétales provoque une baisse de l'alimentation volontaire (28).

Si l'on remplace 30 % d'un régime alimentaire à base de farine de poisson par les glucides suivants : glucose, amidon gélatinisé, saccharose et lactose, il est constaté que le lactose s'avère presque complètement inassimilable. De plus, en portant de 0 à 40 % le pourcentage, tant de l'amidon gélatinisé, que du saccharose remplaçant la protéine de la farine de poisson, il a été constaté que l'amidon ne le cédait en rien à la protéine remplacée, tandis que, à hautes doses, le saccharose était à l'évidence moins assimilable (56).

Cependant, lorsque le poisson augmente son taux d'ingestion d'amidon, il a pu être constaté une diminution de l'efficacité de la digestion de l'amidon, due à un déficit amyliasique (4, 63). Mais au vu du tableau III la digestibilité de l'amidon peut être améliorée par la cuisson

Tableau III : Digestibilité de l'amidon (4).

amidon rationnement	cru (fort taux)	cru (faible taux)
CD MS	63,4	70
CD amidon	38,1	54,4
CD protides	87,9	89,8

CD = Coefficient d'utilisation Digestive

Il a été également testé l'utilisation de la drêche comme substituant de la farine de poisson. Le contenu en substances digestibles des drêches de brasserie est en général de (en % de matière fraîche) 3.7 % de protéines, 1.4 % de matières grasses, 8.3 % d'extractif non azoté, et la digestibilité totale est de 52 % de la matière sèche.

Or nous constatons que ces valeurs sont nettement inférieures aux besoins alimentaires des poissons, car il faut environ 40 % de protéines brutes dans la ration quotidienne, alors que la drêche n'en apporte que près de la moitié. Il en est de même pour l'énergie digestible qui n'atteint même pas les 2/3 des besoins énergétiques. En outre elle est déficiente en acides aminés essentiels. C'est pourquoi, dans le cas d'un élevage intensif elle ne peut intervenir que sous forme d'ingrédient dans un mélange d'aliment complet (65).

L'utilisation de farine de tournesol a également été testée et au vu de sa digestibilité et de son utilisation métabolique on peut envisager son utilisation dans l'alimentation (18).

La farine de lupin est aussi une bonne matière première végétale de remplacement (29) à 50 % d'incorporation mais pas au delà car cela entraîne une baisse des performances (ALEXANDRE P., communication personnelle, juin 1997, Faculté de Bordeaux I).

4 -- Interactions protéines et lipides

Chez la truite arc-en-ciel, l'énergie fournie par les glucides est très faible, de sorte que les protéines alimentaires sont en partie consommées pour satisfaire les besoins énergétiques. De ce fait l'adjonction à l'alimentation de lipides, contenant des acides gras essentiels, comme source d'énergie est de nature à favoriser une utilisation efficace des protéines alimentaires. En effet, il a été montré que l'on peut épargner environ 15 % de protéines en enrichissant le régime alimentaire par l'adjonction d'environ 18 % de lipides de haute qualité, capables de satisfaire les besoins en acides gras (52).

C -- LIPIDES

Ils sont indispensables à la truite, car c'est l'élément fondamental du métabolisme énergétique. Ils font partie des constituants structuraux essentiels des tissus. Ils permettent l'apport de vitamines liposolubles, de pigments caroténoïdes et d'acides gras indispensables (4).

Une alimentation déficiente en acides gras provoque une baisse des performances, comme la croissance, une dégénérescence hépatique, une érosion des nageoires, totale ou partielle, et un syndrome de choc (4, 41). La carence en acides gras essentiels provoque également des troubles épidermiques, cardiaques mais aussi des troubles des performances de reproduction (68).

Un excès par contre est accepté par le poisson, cependant il ne faut pas dépasser 25 % d'incorporation d'acide gras car cela peut entraîner une dégénérescence graisseuse du foie (30). De plus, cette augmentation du taux de lipides dans l'alimentation n'influence pas la teneur en lipides du tissu musculaire (43) qui est par contre influencé par le lignage des truites : à croissance lente on aura un stockage de lipides dans le muscle abdominal, à croissance rapide on aura de forts taux de lipides dans le muscle dorsal et le foie (22).

Il est bon, également, de noter que la température de l'eau a peu d'effets sur la digestibilité, ce qui est rassurant quant à l'utilisation pendant toute l'année du même aliment (4) et quant à la possibilité d'une salmoniculture de régions tropicales.

1 -- Types d'acides gras

Chez la truite, les acides gras essentiels que l'animal doit trouver dans son alimentation sous peine de carences ont été mis en évidence. Ceux ci sont de la série n-3, c'est-à-dire avec trois doubles liaisons. Mais à des températures élevées il semble que la truite puisse synthétiser ces acides à partir de ceux de la série n-6 (et n-9 par une augmentation de l'absorption d'acides gras en n-9 ou en n-6 s'ils sont présents dans la ration) (16) qui s'ils sont en excès, c'est-à-dire plus de 2 % du

régime, peuvent entraîner une baisse de croissance (19).

Les besoins en acides gras essentiels peuvent être couverts par différents types de molécules, en fonction de la longueur de la chaîne. Si elle est plus longue et à plus de degré d'insaturation, tel les acides en C20 et en C22, on a une meilleure efficacité, car il est suffisant d'en incorporer que de 0,3 à 0,5 % (4).

Tableau IV : Besoins en acides gras essentiels (4)

Acide gras	type	Besoin (%)
Acide linoléique	C18 :3 n-3	1
Acide eicosopentaénoïque	C20 : 5 n-3	0,3 - 0,5
Acide docosahexaénoïque	C22 : 6 n-3	0,3 - 0,5

Donc le C18 : 3 n-3, dont le besoin est considéré comme égal à 1 % du régime (40) est le précurseur des acides gras essentiels de la truite qui peut ainsi synthétiser tous les éléments nécessaires à partir de cette seule molécule, en particulier le C22 : 6n-3 qui peut prévenir à lui seul tous les symptômes d'une carence en acides gras essentiels (39). Par ailleurs les besoins en acides gras essentiels augmentent avec le taux d'incorporation dans la ration. Ainsi les besoins en acide linoléique passent de 1 % de la ration à 2 % s'il y a 10 % de matière grasse dans l'aliment (41).

2 -- Sources lipidiques

Les graisses que nous devons utiliser dans l'alimentation de la truite sont soumises à différentes contraintes (possibilités d'absorption, besoins du poisson, etc...) par conséquent le mieux que nous puissions faire est de tenir compte des teneurs en acides gras des différents éléments que nous pouvons inclure dans nos aliments.

De façon générale, les matières grasses telles que le saindoux, le suif, les huiles de maïs et d'arachide, sont déficientes en acides gras de la série n-3, c'est pourquoi elles ne seront pas utilisées au profit d'huiles à point de fusion bas tels que l'huile de soja et l'huile de foie de morue (19).

Mais pour d'autres auteurs l'apport peut être fait sous forme de graisse bon marché telle que le saindoux (33).

En tout état de cause, les huiles de poisson doivent répondre aux exigences suivantes (39) :

- Indice de peroxyde <10 meq/kg,
- Moins de 1 % d'eau,
- Moins de 1 % d'azote,
- Haute valeur du rapport 3/6 des acides gras,
- Stabilité grâce à un anti-oxydant,
- Pas d'acides gras cyclopropénoïques et eruciques.

Cependant, les auteurs s'accordent pour dire que l'huile de foie de morue semble être le constituant idéal comme source lipidique car elle est riche en facteurs lipotropes, et car elle a un effet de prévention dans les syndromes de kératite chez les truites élevées en système intensif.

D -- GLUCIDES

Les glucides peuvent être séparés en 2 grandes catégories : les sucres métabolisables et les glucides structuraux. Les enzymes dégradant les glucides sont très peu nombreuses, par leur type, mais aussi par leur quantité (4).

1 --Sucres métabolisables

Tableau V : Les sucres métabolisables et leur taux d'absorption (35).

SUCRES	% absorbés en 36 h
glucose	99
maltose	93
saccharose	73
lactose	60
amidon cuit	47
amidon cru	38

Chez la truite, seuls le glucose et le glycogène sont présents. L'étude du métabolisme glucidique montre une régulation délicate de la glycémie bien que le taux de glycogène musculaire soit peu affecté par le régime alimentaire (30).

Tableau VI (a, b): Variations de la glycémie et du taux de sucres en fonction de la ration (34).

a : Compositions des régimes.

	Protides	Glucides	Lipides
Régime témoin	400	260	80
Régime n°1	640	0	80
Régime n°2	100	550	80
Régime n°3	460	0	100

b : variations de la glycémie au bout de 4 heures.

Régime	poids vif (g)	glycémie (mg/l)	glycogène foie (mg/g)	glycogène muscle (mg/g)
témoin	173	6,5	14,1	0,57
1	167	5,7	6,3	0,92
2	100	12,8	17,5	0,45
3	198	10,7	4,5	0,48
à jeun	104	7,4	3,4	0,43

En effet la néoglucogénèse, chez la truite semble en relation avec la composition du bol alimentaire : l'utilisation du glucose est largement influencée par le taux d'acides gras de la ration (34).

En outre, une forte activité néoglucogénique est observée à partir de substrats comme l'alanine et surtout le lactate (48).

Le taux seuil glucidique dans la ration est estimé à 20 % (4, 39). Mais il ne doit pas y avoir non plus d'excès de sucres dans la ration, car l'excrétion de l'excès de sucres par voie urinaire se solde assez vite par l'apparition de troubles métaboliques aboutissant à une atteinte hépatique avec stéatose, puis cirrhose, parallèlement se développant une anémie grasseuse (30).

Notons que chaque sucre présente une digestibilité propre, ce qui explique que tous ne sont pas valables.

Tableau VII : Coefficient d'utilisation digestive (CD) des glucides (30).

SUCRE	CD %
glucose	99
maltose	92
saccharose	77-99
lactose	60-97
dextrines	50
amidon (blé) cuit	47
amidon (blé) cru	38
céréales et tourteaux	38
levures et solubles de distillerie	20

L'efficacité alimentaire augmente lorsque le poids moléculaire diminue. Ainsi le glucose, le maltose et le saccharose sont les mieux assimilés. Cependant le, seul glucide économiquement rentable à utiliser est l'amidon des céréales ou tubercules (4, 30). Notons pourtant la bonne utilisation digestive du lactose ce qui permet d'envisager un débouché de ce sous produit.

Les différentes digestibilités des sucres peuvent avoir une grande influence sur l'énergie disponible.

Tableau VIII : Effet de différentes sources de glucides sur l'utilisation des régimes par la truite arc-en-ciel (19).

Glucide présent : 50 % sous forme de	glucose	dextrine	amidon cuit	amidon cru	cellulos e	sans glucides
% de protéines	50	50	50	50	50	100
énergie brute (cal/kg)	4 676	4 940	4 875	4 732	4 604	5 591
% d'utilisation de l'énergie brute	84,1	80,2	71	60,1	36,6	88,6
% de digestion des protides	87,9	81,6	85,8	84,9	59,8	84,4
% de digestion des glucides	79,4	80,9	52	21,7	14,6	-
énergie métabolisable (cal/kg)	3 763	3 807	3 324	2 676	1 980	4 448
énergie métabolisable dans les protéines	2 097	2 387	2 254	2 326	1 813	4 448
énergie métabolisable dans les glucides	1 666	1 427	1 070	350	167	-

Ce tableau confirme le fait que l'amidon semble le produit répondant le mieux aux exigences nutritionnelles et économiques d'une alimentation artificielle (19). Donc théoriquement, l'incorporation de l'amidon peut être effectuée à condition de le préparer convenablement.

Tableau IX : Effet de la gélatinisation de l'amidon sur les CD d'un aliment comprenant 30 % d'amidon (4).

amidon rationnement	cru haut	cru bas	gélatinisé haut	gélatinisé bas
CD MS	63,4	70	78,8	81,3
CD amidon	38,1	54,5	86,5	90,0
CD protides	87,9	89,8	87,9	89,0

CD = Coefficient d'utilisation digestive

La gélatinisation de l'amidon augmente sa digestion mais malheureusement un tel procédé est à discuter d'un point de vue économique.

2 -- Sucres structuraux

Les sucres complexes comme les polyhosides n'ont qu'un effet nutritif très réduit, voire nul donc nous pouvons considérer la cellulose comme un lest même à des taux variant entre 0 et 50 % (30). En effet, des expériences ont montré que la cellulose, même débarrassée de la lignine, présente un CD nul. En revanche, cette action de lest joue sur la digestibilité des protéines, l'optimum semblant être obtenu avec 7 à 8 % de cellulose dans la ration (30).

Cependant, la présence d'acide gras volatil laisse penser qu'une flore occasionnelle du tube digestif pourrait présenter une activité cellulolytique (7).

E -- MINÉRAUX

Ils interviennent dans la structure au niveau du squelette, dans la composition de certains corps telles que les enzymes. Il a été remarqué que la truite ne survit pas dans des eaux à teneurs minérales particulières. Un excès de minéraux dans la ration, et notamment de calcium, induit une baisse de la digestibilité de l'aliment et donc du CD (coefficient d'utilisation digestif), il faut donc équilibrer l'aliment en minéraux et non assurer un excès (39).

Les éléments essentiels à la truite sont séparables en deux grands groupes :

- Les macroéléments :
 - calcium (Ca)
 - phosphore (P)
 - sodium (Na)
 - chlore (Cl)

-- Les oligo-éléments :	-- fer (Fe)	-- cobalt (Co)
	-- soufre (S)	-- cuivre (Cu)
	-- manganèse (Mn)	-- zinc (Zn)
	-- iode (I)	-- magnésium (Mg)

1 -- Macro éléments

a -- Calcium

Le calcium est nécessaire, entre autres, à l'os, la dentine, le cartilage et les écailles. La régulation du métabolisme calcique est axée sur la réserve osseuse. Le tissu osseux est formé essentiellement de collagène et d'un phosphate de calcium : l'hydroxylapatite.

Il a également un rôle prépondérant dans l'osmorégulation. Des truites placées brutalement dans une eau sans calcium sont plus sensibles aux diverses agressions (30).

La supplémentation classique en calcium est de 1,5 à 2,4 % de la ration. Cela suffit largement pour répondre aux besoins de la truite.

D'autant plus qu'une supplémentation poussée, de 2,5 à 4 %, et sans doute au-delà, n'a pas montré d'augmentation de la croissance, et même diminue la digestibilité de l'aliment. Nous retiendrons donc un taux de 1,5 à 2 % (19).

La meilleure croissance est obtenue pour un aliment contenant à égale proportion du phosphore et du calcium. L'absorption du zinc est réduite par un aliment contenant du phosphore, qui a été amélioré par l'addition de calcium (62).

b -- Phosphore

L'alimentation représente la principale source de phosphore pour le poisson.

Le métabolisme du phosphore étant très lié à celui du calcium, les besoins en cet élément sont le plus souvent donnés à l'aide du rapport phosphocalcique. Ce rapport en eau douce doit être supérieur à 1 % (24) mais ne doit pas dépasser 2 (30).

Un poisson ne recevant pas de phosphore par son alimentation durant 2 mois a des problèmes de léthargie, baisse de la croissance, anorexie et coloration tégumentaire. Cependant pour réduire les rejets en phosphore il peut être alterné une alimentation déficiente ou pas en phosphore (32).

En résumé, la supplémentation en phosphore est effectuée jusqu'à une valeur voisine de 1,5 % de la ration. Il est à noter également que l'absence de phytases dans le tube digestif des poissons fait que le phosphore phytique, d'origine végétale, est peu disponible (36).

2 -- Oligo-éléments (ou éléments-traces)

a -- Iode

La ration doit toujours apporter au moins 100 ppm d'iode, mais l'effet favorable sur la croissance disparaît si la teneur atteint 6 000 ppm (24), la carence provoquant, tout comme chez les mammifères, goitre et nanisme (19).

b -- Zinc

Les doses de zinc influencent la digestibilité des glucides et surtout des protéines ; la digestibilité de ces dernières observées, chez les poissons dont la ration contenait 1 ppm de zinc, était bien moindre que celle observée chez les poissons soumis à un régime contenant 30 ppm de zinc. Ainsi il a été démontré que les besoins du zinc dans l'alimentation étaient de 15 à 30 ppm de la ration alimentaire (53).

Il a été constaté qu'en cas de carence en zinc la truite va choisir d'elle-même les aliments les plus riches en zinc ; on a donc un appétit spécifique pour cet oligo-élément (23).

c -- Magnésium

Le magnésium est un inhibiteur de la calcification. Il a été conseillé de conserver dans la ration au moins 0,1 % (24).

d -- Manganèse

L'organisme compense parfaitement le manque ou l'excès, de cet oligo-élément : par conséquent il est peu important de s'occuper du manganèse dans la supplémentation d'un aliment artificiel (19).

F -- VITAMINES

Substances indispensables à tout le règne animal ; pour la truite une dizaine sont essentielles. Elles interviennent souvent comme co facteurs enzymatiques, mais nous ne pouvons aisément définir un besoin type pour chaque vitamine car ces besoins varient selon l'état physiologique des animaux et l'environnement (19), cependant il sera tenté de déterminer des pourcentages d'incorporation.

Nous pouvons distinguer deux types de vitamines : les liposolubles et les hydrosolubles.

1 -- Vitamines liposolubles

Elles sont présentes dans les huiles et les graisses.

a -- Vitamine A

Elle intervient comme composant des pigments photosensibles de la rétine ; elle joue également le rôle de régulateur de la formation des mucopolysaccharides ; elle est aussi un métabolite de la protéosynthèse (19). Le besoin en vitamine A est estimé de 2 000 à 15 000 UI/kg d'aliment ; mais à des doses élevées elle peut être toxique, provoquant des lésions tégumentaires (30). Les carences peuvent entraîner, entre autres, *ascite*, hémorragie rénale, *exophthalmie*, faible croissance (50).

b -- Vitamine D

Ou ergocalciférol, intervient dans l'absorption intestinale du calcium et dans le métabolisme des phosphates. Le taux d'incorporations classique est de 2 500 à 5 000 UI/kg alors que les besoins sont estimés entre 300 et 3 000 UI/kg d'aliment (19). Il est à noter que la supplémentation en cette vitamine doit être associée avec d'autres vitamines car elle agit en synergie avec d'autres (30).

c -- Vitamine E

Ou tocophérol, agit comme antioxydant, notamment au niveau grasseux, sur les vitamines et les acides gras polyinsaturés, mais aussi comme élément du système enzymatique, comme agent synergique d'autres substances, et comme facteur de stockage de la vitamine A dans le foie (30, 38). Elle a également un rôle stimulateur de la réponse immunitaire non spécifique (66).

Les carences peuvent entraîner, entre autres, *ascites*, mélancolie, troubles reinaux, *epicardie*, *exophthalmie*, anémie microcytique, fragilité des hématies, œdème du péricarde, faible croissance (50).

Il semble que les besoins soient couverts avec 50 à 150 mg/kg d'aliment, en fonction du taux de matières grasses, mais au-delà de ces normes il semble qu'elle n'ait plus d'action (30, 38).

d -- Vitamine K

Elle a un rôle dans la synthèse des ARNm impliqués dans la formation des protéines de la coagulation du sang. Sa carence induit donc une baisse de l'hématocrite et une augmentation du temps de coagulation (50). Cependant, malgré son importance, les besoins sont faibles, 5 à 20 mg/kg d'aliment, et largement couverts par les constituants de la ration. Aussi, est-il inutile de supplémenter l'aliment (30, 38).

2 -- Vitamines hydrosolubles

Elles sont représentées par la vitamine C et le groupe des vitamines B.

a -- Vitamine B1

Ou thiamine est un des régulateurs du métabolisme glucidique. Sa carence entraîne par conséquent un état d'hyperexcitabilité, des convulsions pouvant aller jusqu'à la mort de l'animal après une phase d'intense faiblesse (30, 38), un faible appétit, une atrophie musculaire, des convulsions, des pertes d'équilibre, œdème, faible croissance (50). Les besoins en cet élément sont d'environ 10 à 15 mg/kg d'aliment (19).

b -- Vitamine B2

Ou riboflavine. Une carence en cette vitamine provoque un arrêt de la croissance, une atteinte oculaire (30), qui se traduit par un épaississement puis une opacification et enfin un ulcère de la cornée, tandis que se forme une cataracte (33, 38). Cela provoque aussi une photophobie, une coloration sombre, un faible appétit, de l'anémie et une faible croissance (50).

c -- Vitamine B6

Ou pyridoxine, intervient dans la décarboxylation des acides aminés, dans les systèmes transaminasiques, et dans la production de la sérotonine par le biais du métabolisme du tryptophane (38).

La carence se traduit par de l'anorexie, de l'ataxie, des convulsions provoquant de fortes mortalités. Les besoins sont estimés de 5 à 15 mg/kg d'aliment selon la période de l'année : ils sont plus importants au printemps et en été (30).

d -- Vitamine C

Ou acide ascorbique. Elle est stockée préférentiellement sous la forme sulfate (L-ascorbyl-2-sulfate) que sous la forme acide (L-ascorbyl acid) (31). Elle favorise la croissance en augmentant le métabolisme énergétique (33) et elle agit positivement sur l'immunité spécifique (66).

Une carence provoque des déformations squelettiques, une prédisposition aux infections et un retard de croissance (37) scoliose, lordose, formation de collagène perturbée, cartilage anormal, lésions des yeux, hémorragie cutanée, troubles du foie, des reins, de l'intestin, du muscle (51).

Les besoins sont estimés à 100 mg/kg d'aliment. Mais la vitamine C est une molécule qui est facilement détruite par l'oxydation durant le stockage (19) ; elle peut totalement disparaître en 16 semaines à 20°C (ce qui est un problème en régions chaudes) (24, 33). Pour contourner cet inconvénient il a été proposé de supplémenter à 400 mg/kg d'aliment et de limiter le stockage à 5 semaines à 20°C (34).

Il a été conclu que selon les conditions d'élevage la complémentation en vitamine C sous forme de AMP-Mg ou -Na ne nécessite pas plus de 10 mg équivalent (AMP = Ascorbyl Mono Phosphate) (21).

IV -- RYTHMES D'ALIMENTATION

1 -- Heure d'alimentation

Afin d'optimiser l'utilisation d'aliment et de réduire les rejets, il est nécessaire de connaître également l'heure d'alimentation optimale.

En utilisant un système de distribution type *self-feeders*, il a été constaté que plus de 98 % de la demande alimentaire se faisait durant la phase éclairée.

Pour les phases 16L:8O (16 h de lumière, 8 h d'obscurité), respectivement 42 et 48 % de la demande journalière se produit les 4 premières heures de l'aube ; durant le reste de la phase éclairée la demande alimentaire est de 5 % de la demande alimentaire par heure avec un léger pic (6 %) durant la moitié horaire du crépuscule artificiel (9).

Ces données ont été affinées, en 1992 et 1994, où il a été montré que la meilleure combinaison entre croissance et efficacité alimentaire est obtenue quand la période d'alimentation est restreinte à 2-4 h à l'aube et 2-3 h au crépuscule (12, 2).

En effet les truites nourries avec un libre accès aux *selfs* montrent une bonne croissance spécifique mais une faible conversion alimentaire due à une optimisation journalière de la distribution alimentaire (1, 10).

2 -- Contrôle endogène

Ce rythme d'alimentation est expliqué par l'existence d'un contrôle endogène du rythme alimentaire (26).

Ceci peut être confirmé par une étude de 1995 (13) : la truite arc-en-ciel montre à quantité égale d'aliment ingéré une croissance supérieure, un meilleur indice de consommation, une rétention protéique plus efficace et un taux d'engraissement inférieur lorsqu'elle est nourrie une fois par jour à l'aube plutôt que la nuit. L'effet que semble avoir l'heure de repas sur la quantité d'aliment ingéré et l'utilisation de ces aliments renforce l'idée fondatrice de la chronobiologie qui stipule que l'organisation temporelle des organismes suit des rythmes, endogènes ou non, synchronisés par des paramètres externes. Les deux principaux synchroniseurs sont l'alternance jour-nuit et l'heure des repas (15).

Des différences de phase entre ces deux facteurs induisent des modifications de rythme, tant comportementaux qu'endocriniens ou enzymatiques. (11, 47)

Mais des facteurs externes peuvent aussi agir. En effet, même si l'activité alimentaire est en premier lieu sous la dépendance d'un rythme endogène, d'autres facteurs externes (disponibilité en nourriture, taux d'oxygène, compétition intra-spécifique, lumière) peuvent synchroniser son activité alimentaire.

En d'autres termes, même si l'horloge interne existe le poisson peut déroger à son influence et désynchroniser son activité alimentaire de son horloge interne (14).

3 -- Lipides et heure d'alimentation

Si l'on prend le cas particulier de l'accumulation des lipides, selon l'heure d'alimentation, il peut être constaté des différences. Ceci a été étudié en 1991 et les résultats obtenus sont les suivants :

Selon l'heure d'alimentation on ne constate pas de différences, marquées, chez les *fingers*. Pour les adultes nourris à 16 h on constate qu'ils ont plus de lipides que ceux nourris à 9 h.

La légère différence que l'on constate chez les *fingers* est que les animaux nourris à 16 h semblent avoir plus de PUFA que ceux nourris à 9 h ; cette différence concerne principalement les acides gras C20 : 5n3 et C22 : 6n3.

Cette différence devient évidente chez les adultes, au moins au regard des acides gras C22 : 6n3.

En particulier les truites nourries à 21 h ont une élévation des C22 : n6 moins importante que les lots nourris à 9 h et 16 h.

Cette différence devient significative quand on calcule les pourcentages des lipides totaux au lieu des acides gras totaux ; en effet les truites nourries à 9 h ont moins de 1 % de lipides totaux alors que les truites nourries à 16 h ont plus de 2 % (8).

4 -- Protéines et fréquence d'alimentation

Dans le foie et le muscle blanc, le pourcentage de protéines synthétisées et la capacité de synthèse protéique augmentent significativement quand les poissons sont alimentés quatre fois par jour au lieu de deux fois par jour (55).

V – CONCLUSION

L'alimentation actuelle est bien loin de celle qui consistait à alimenter les poissons avec des déchets issus du mareyage, d'abattoirs, de conserveries. Le but de la formulation d'aliment est de maximiser l'utilisation de l'aliment, pour en réduire son coût et en augmenter les bénéfices, tout en maintenant une bonne croissance et bonne santé des truites en équilibrant au mieux les apports nutritifs nécessaires au recouvrement des besoins de la truite.

C'est pourquoi, il est absolument indispensable de connaître ces besoins afin d'utiliser au mieux les matières premières, les biotechnologies, nécessaires à la fabrication d'un aliment. Ces techniques étant actuellement assez bien maîtrisées, la recherche se penche maintenant sur l'impact de l'heure d'alimentation, impact qui semble très important selon l'espèce, mais aussi selon le nutriment.

Il est bien entendu que pour les pays tropicaux l'élevage de la truite arc-en-ciel ne concerne que des régions bien précises : zones de montagnes (comme les hauts plateaux malgaches) où la température des eaux permet un développement de cette espèce. De plus, pour ces régions éloignées des littoraux, l'élevage piscicole serait une nouvelle source protéique.

LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES

- Tableau I Récapitulatif de la physiologie digestive
- Tableau I Taux de base des acides aminés essentiels chez la truite arc-en-ciel
- Tableau III Digestibilité de l'amidon
- Tableau IV Besoins en acides gras essentiels
- Tableau V Sucres métabolisables et taux d'absorption
- Tableau VI Variations de la glycémie et du taux de sucre en fonction de la ration
- Tableau VII Coefficient d'utilisation digestif des glucides
- Tableau VIII Effet de différentes sources de glucides sur l'utilisation des régimes par la truite arc-en-ciel
- Tableau IX Effet de la gélatinisation de l'amidon sur les CD d'un aliment comprenant 30 %d'amidon
- Figure I Présentation schématique de la destination de l'énergie alimentaire chez le poisson

BIBLIOGRAPHIE

1. ALANÄRÄ A., 1992a. Demand feeding as a self regulating feeding system for Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, **108** : 347-356.
2. ALANÄRÄ A., 1992b. The effect of time restricted demand feeding on feeding activity, growth and feed conversion in Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, **108** : 357-368.
3. BABUSHKIN Y. P., 1974. Hydrolytic capacity of the trout (*Salmo gairdneri*) intestinal mucosa with respect to tree specific dipeptides. *Comp. Biochem. Physiol.*, **65B**: 173-176.
4. BARNABE G., 1989. *Aquaculture*, Ed. Tec. Doc. Lavoisiers, Paris, France, vol 2 : 569-614.
5. BECK H., GROPP J., KOOPS K., TIEWS K., 1978. Compilation of fish meal free diets obtained in Rainbow trout (*Salmo gairdneri*) feeding experiments. In: FAO, symposium on finfish nutrition and feed technology, Hamburg, R.F.A., 20-23 juin, tenth session, 10p.
6. BENSON A. A., PATTON J.S., 1975. A comparative study of wax ester digestion in fish. *Comp. Biochem. Physiol.*, **52 B** : 111-116.
7. BERGOT P., 1979. Structure et fonctions des caeca pyloriques. In: nutrition des poissons, FONTAINE, Ed. CNRS, p. 45-43.
8. BOCCIGNONE M., FORNERIS G., SALVO F., ZIINO M., LEUZZI U., 1991. Size and meal timing: effect on body composition in Rainbow trout. In: Fish nutrition in practice, Biarritz, France, 24-27 juin, Ed. INRA, Paris 1993 (Les colloques n°61), p. 293-296.
9. BOUJARD T., LEATHERLAND J.F., 1991. Rhythm of food demand liver weight and glycogen content and plasma hormonal concentrations in *Oncorhynchus mykiss*, held different photoperiod regimes. In: Fish nutrition in practice, Biarritz, France, 24-27 juin, Ed. INRA, Paris 1993 (Les colloques n°61), p. 269-276.
10. BOUJARD T., LEATHERLAND J.F., 1992. Circadian rhythms and feeding time in fishes. *Environ. Biol. Fishes*, **35**: 109-131.
11. BOUJARD T., LEATHERLAND J.F., 1992. Demand-feeding behaviour and diel cycle of feeding activity in *Oncorhynchus mykiss* held under different photoperiod regimes. *J. Fish Biol.*, **40**: 535-544.
12. BOUJARD T., MEDALE F., 1994. Regulation of voluntary feed intake in Rainbow trout fed by hand or by self feeder with diets containing two different protein to energy ratios. *Aquat. Living ressour.*, **7**: 211-215.
13. BOUJARD T., GELINEAU A., CORRAZE G., 1995. Time of a single daily meal influences growth performance in Rainbow trout. *Aquac. Res.*, **25**: 341-349.

14. BOUJARD T., LUQUET P., 1996. Rythmes alimentaires et alimentation chez les Siluroidei. *Aquat. Living resourc.*, **9** (hors série): 113-120.
15. BOULOS Z., TERMAN M., 1980. Food availability and daily biological rhythms. *Neurosc. Biobehav. Rev.*, **4**: 119-131.
16. BUCKLEY J.H., CASTLEDINE A.J., 1982. Incorporation and turn-over of essential fatty acids in phospholipids and neutral lipids of Rainbow trout. *Comp. Biochem. Physiol.*, **71**: 119-126.
17. CALDERON E.G., 1968. Suite des études sur les possibilités de développement de la salmoniculture en régions chaudes. Etudes et revues, FAO: 10 p.
18. CARDENETE G., MORALES A.E., DE LA HIGUERA., SANZ A., Nutritive evaluation of sunflower meal as a protein source for Rainbow trout. *In: Fish nutrition in practice*, Biarritz, France, 24-27 juin, Ed. INRA, Paris 1993 (Les colloques n°61), p. 927-931.
19. CAYRE S., 1989. Mise au point d'un aliment truite à partir d'un sous produit d'abattoir. thèse Doct. Vét., Lyon, p. 44-79.
20. CHO C.Y., SLINGER S.J., 1978. Signification des mesures de la digestibilité dans la formulation des rations pour la truite arc-en-ciel. *In: FAO, symposium on finfish nutrition and feed technology*, 20-23 juin, Hamburg, R.F.A., tenth session, 9 p.
21. CHO C.Y., COWEY C.B., 1991. Utilisation of different levels of ascarbyl monophosphates by Rainbow Trout fish nutrition. *In: practice IV Symposium international sur la nutrition des poissons juin 24-27*, 11 p.
22. CORRAZE G., LARROQUET L., MEDALE F., 1991. Differences in growth rate and fat deposition in three strains of Rainbow trout. *In: Fish nutrition in practice*, Biarritz, France, 24-27 juin, Ed. INRA, Paris 1993 (Les colloques n°61), p. 67-71.
23. CUENCA E.M., DIZ L.G., DE LA HIGUERA M., 1991. Self-selection of a diet covering zinc needs in the trout. *In: Fish nutrition in practice*, Biarritz, France, 24-27 juin, Ed. INRA, Paris 1993 (Les colloques n°61), p. 413-418.
24. DE KINKELIN P., GHITTINO P., MICHEL C., 1985. Précis de pathologie des poissons, Ed. INRA-OIE, 348 p.
25. DE LA HIGUERA M., CARDENETE G., MOYANO F.S., SANZ A., 1989. High level inclusion of plant proteins in trout. Diets preliminary results. *European Aquaculture Society*. (Short communications), p. 55-56.
26. DE LA HIGUERA M., CUENCA E.M., 1994. Evidence for an endogenous circadian rhythm of feeding in the trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Biol. Rhythm. Res.*, **25**: 228-235.
27. DUGRAIN E., 1996. Etude préliminaire du devenir de microcapsules dans le tube digestif de la

truite arc-en-ciel pour l'administration per os de vaccins destinés à la pisciculture. Thèse Doct. Vet. Nantes, p. 10-37.

28. EMIDIO GOMES F., KAUSHIK S.J., 1991. Effect of replacement of dietary inorganic zinc by zinc/méthionine on vegetable and animal protein utilization by Rainbow trout. *In: Fish nutrition in practice*, Biarritz, France, 24-27 juin, Ed. INRA, Paris 1993 (Les colloques n°61), p. 897-902.
29. GOVEIA A., OLIVA TELES A., GOMES E., REMA P., 1991. Effect of cooking/expansion of three legume seeds on growth and food utilization by Rainbow trout. *In: Fish nutrition in practice*, Biarritz, France, 24-27 juin, Ed. INRA, Paris 1993 (Les colloques n°61), p. 933-937.
30. GRANGER M., 1968. Les aliments secs en salmoniculture. Thèse Doc. vét. Alfort, 68 p.
31. HALVER J.E., FELTON S., PALMISANO A.N., 1991. Efficacy of L-ascorbyl-2-sulfate as vitamin C source for Rainbow trout. *In: Fish nutrition in practice*, Biarritz, France, 24-27 juin, Ed. INRA, Paris 1993 (Les colloques n°61), p. 137-146.
32. HARDY R.W., FAIRGRIEVE W.T., SCOTT T. M., 1991. Periodic feeding of low phosphorus diet and phosphorus retention in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *In: Fish nutrition in practice*, Biarritz, France, 24-27 juin, Ed. INRA, Paris 1993 (Les colloques n°61), p. 403-410.
33. HEITZ P., 1984. Etude expérimentale de trois cas de pathologie oculaire chez l'omble chevalier et la truite arc-en-ciel. Thèse Doct. vét., Lyon, 103 p.
34. HUGHES S.G., 1985. Evaluation of glutamic acid and glycine as sources of non essential aminoacids for take trout and Rainbow trout. *Comp. Biochem. Physiol.* **81A** (3): 669-671.
35. JOSE IGNACIO LEON F., 1975. Manual de truchicultura oficina nacional de pesca. Ministerio de agricultura y cria, Caracas, p. 73-81.
36. KAUSHIK S.J., 1996. Problèmes et perspectives en production animale en milieu aquatique [en ligne], Adresse URL: <http://www.bordeaux.inra.fr/st-pée/document/files/96skl.htm>. (Consulté le 12 avril 1998).
37. KAUSHIK S.J., STELLMAN J.P., 1985. Quelques problèmes actuels de l'alimentation des Salmonidés. *Pisc. fr.*, **79**: 5-7.
38. KOENIG J., 1979. Les besoins en vitamines. *In: Nutrition des poissons*, FONTAINE, Ed. CNRS, p. 309-322.
39. LASSERRE J., 1989. L'alimentation rationnelle en élevage intensif. *Pisc. Fr.*, **95**: 23-31.
40. LAZARD J., 1980. La pêche en eau libre et le développement dans les eaux continentales ivoiriennes. Thèse Doct. Ing., Université des sciences et techniques du Languedoc, Montpellier, France, 266 p.

41. LEGER C., FREMONT L., 1979. Métabolisme des acides gras et des lipides neutres. *In*: nutrition des poissons, FONTAINE, ed. CNRS, p. 89-100.
42. LESEL R., THEREZIEN Y., VIBERT R., 1971. Introduction de Salmonidés aux îles Kerguelen. *Ann. Hydrobiol.* **2**(2): 275-304.
43. LITTLE A., MARTINSEN C., SCEURMAN L., 1978. The effect of dietary lipid and pigment concentration in the feed of *Salmo gairdneri* on sensoris characteristics and objective measurements of the fish muscle tissue. *In*: FAO, symposium on finfish nutrition and feed technology, 20-23 juin, Hamburg, RFA, tenth session, 9 p.
44. LUQUET P., KAUSHIK S.J., 1979. Besoins en protéines et en acides aminés. *In*: Nutrition des poissons, FONTAINE, Ed. CNRS, p. 171-183.
45. MATTY A.J., SMITH P., 1978. Évaluation d'une levure, d'une bactérie et d'une algue comme sources de protéines pour la truite arc-en-ciel, influence de la teneur protéique sur la croissance, le taux brut de conversion et le taux de conversion protéique. *In*: FAO, symposium on finfish nutrition and feed technology, 20-23 juin, Hamburg, RFA, tenth session, 25 p.
46. MEDALE F., 1991. Relation between growth and utilization of energy substrates in three Rainbow trout strains. *In*: Fish nutrition in practice, Biarritz, France, 24-27 juin, Ed. INRA, Paris 1993 (Les colloques n°61), 37-47.
47. MISTLENBERGER R., 1990. Circadian pit falls in experimental designs employing food restriction. *Psychobiology*, **18**: 23-29.
48. MONNSEN J.P., 1986. Comparative neoglucogenesis in hepatocytes from salmonids fish. *Can. J. Zool.*, **64** (5): 1 110-1 115.
49. NEJI H., LALLIER R., DE LA NOÛE J., 1991. Relationships between feeding, hypoxia, digestibility and experimentally induced furunculosis in Rainbow trout. *In*: Fish nutrition in practice, Biarritz, France, 24-27 juin, Ed. INRA, Paris 1993 (Les colloques n°61), p. 187-192.
50. Nutrients requirements of Trout Salmon and Catfish. 1973. Nutrients requirements of domestic animals, National academy of sciences, Washington, USA, p. 23-24.
51. Nutritional energetics of domestic animals and glossary of energy terms. 1981. National research council., Washington, D.C.: National academy press, p. 20.
52. OGINO C., TAKEUCHI T., WATANABE T., 1978. Studies on the sparing effect of lipids on dietary protein Rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *In*: FAO, symposium on finfish nutrition and feed technology, 20-23 juin, Hamburg, RFA, tenth session, 10 p.
53. OGINO C., YANG G.Y., 1978. Requirements of Rainbow trout for dietary zinc. *In*: FAO symposium on finfish nutrition and feed technology, 20-23 juin, Hamburg, RFA, tenth session, 10 p.

54. OLIVA-TALES A., RODRIGUES A. M., 1991. The effect of high temperature and protein level on metabolic utilization of diets by Rainbow trout. *In: Fish nutrition in practice*, Biarritz, France, 24-27 juin, Ed. INRA, Paris 1993 (Les colloques n°61), p. 301-309.
55. PERAGON J., ORTEGA-GARCIA F., BARROSO J.B., DE LA HIGUERA M., LUPIANEZ J.A., 1991. Effect of frequency of feeding of diets with different protein content on the fractional rate of proteins synthesis and degradation in liver and muscle of Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *In: Fish nutrition in practice*, Biarritz, France, 24-27 juin, Ed. INRA, Paris 1993 (Les colloques n°61), p. 287-292.
56. PFEFFER E., PIEPER A., 1978, Les glucides, source éventuelle d'énergie alimentaire pour la truite arc-en-ciel. *In: FAO, symposium on finfish nutrition and feed technology*, 20-23 juin, Hamburg, RFA, tenth session, 18 p.
57. POSTON H.A., RIIS H.C., RUMSEY G.L., KETOLA H.G., 1977. The effect of supplemental dietary amino acids, minerals and vitamins on Salmonids fed cataractogenic diets. *Cornell vet.* **67**: 472-509.
58. REYNES J.J., 1978. Apuntes sobre los hábitos alimenticios de la trucha en el lago de Tota, laguna y río de Otun. *In: Divulgation pesquera Colloques*, vol. 11: 15 p.
59. ROBERT N., LE GOUVELLO R., MAUVIO J. C., ARROYO F., AGUIRRE P., KAUSHIK S.J., 1991. Use of extruded diets in intensive trout culture: effects of protein to energy ratios on growth, nutrients utilization and on flesh and water quality. *In: Fish nutrition in practice*, Biarritz, France, 24-27 juin, Ed. INRA, Paris 1993 (Les colloques n°61), 497-501.
60. (la) Salmoniculture française, 1995. *La Pisc. Fr.*, **119**: n°spécial.
61. SATIA B.P., 1974. Quantitative protein requirements of rainbow trout. *Program fish-cultur.*, **31**: 80-85.
62. SATOH S., PORN-NGAM N., TAKEUCHI T., WATANABE T., 1991. Effect of calcium and phosphorus on zinc availability to rainbow trout. *In: Fish nutrition in practice*, Biarritz, France, 24-27 juin, Ed. INRA, Paris 1993 (Les colloques n°61), 5 p.
63. SHAPERCLAUS W., 1962. *Traité de pisciculture en étang*. Ed. Vigot, 619 p.
64. SMITH R.R., 1977. Recent research involving full-fat soyabean meal in salmonid diets. *Salmonid.* Nov/déc, p. 8-18.
65. TGNAMA-MBONA S., 1984. Etude de l'utilisation de la drêche en pisciculture. Mémoire de fin d'étude Institut Supérieur de Développement rural de M'BAÏKI, Mali, 34 p.
66. VERLHAC V., N'DOYE A., GABAUDAN J., TROUTAUD D., DESCHAUX P., 1991. Vitamin in nutrition and fish immunity: influence of antioxidant vitamins (C and E) on immune response of Rainbow trout. *In: Fish nutrition in practice*, Biarritz, France, 24-27 juin, Ed. INRA, Paris 1993 (Les colloques n°61), p. 168-174.

67. WALTON M.J., COWEY C.B., ANDRON J.W., 1984. Effects of biotin deficiency in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) fed diets of different lipid and carbohydrate content. *Aquaculture* **37**: 21-38.
68. WATANABE T., 1982. Lipid nutrition in fish. *Comp. Biochem. Physio.*, 73B: 3-15.

ANNEXE

FICHE

LA TRUITE ARC-EN-CIEL

Oncorhynchus mykiss

ORIGINE

Rivières de la côte du pacifique, du Mexique à l'Alaska.
Importée en Europe dès 1880, en France en 1890.

BIOTOPE

Rivières et lacs à eaux claires à fond de gravier.
Eaux froides 14°C pouvant supporter des températures de 25°C.

BIOLOGIE

Carnassière : zooplancton, larves et nymphes.
Taille adulte de 30 à 40 cm pour moins de un kg
Reproduction mi-octobre_m_i-novembre.