

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

AG 178492  
BA\_TH 287

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

27 MAI 1999

---

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

---

**MEMOIRE DE STAGE**

CIRAD-Dist  
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE  
Baillarguet

**EFFET DE L'HEURE D'ALIMENTATION SUR LA CROISSANCE  
CHEZ UN POISSON DIURNE LA TRUITE ARC-EN-CIEL,  
ONCORHYNCHUS MYKISS, ET UN POISSON NOCTURNE LE  
SILURE GLANE, SILURUS GLANIS**

*par*

*Peggy ALEXANDRE*

Année universitaire 1997-1998



\*TH02843\*

DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES SPECIALISEES  
PRODUCTIONS ANIMALES EN REGIONS CHAUDES

---

**EFFET DE L'HEURE D'ALIMENTATION SUR LA CROISSANCE  
CHEZ UN POISSON DIURNE LA TRUITE ARC-EN-CIEL,  
*ONCORHYNCHUS MYKISS*, ET UN POISSON NOCTURNE LE  
SILURE GLANE, *SILURUS GLANIS***

*par*

*Peggy ALEXANDRE*

**CIRAD-Dist**  
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE  
Baillarguet

**Lieu de stage :** Saint-Pée sur Nivelles

**Organisme d'accueil :** INRA

**Période de stage :** mai - octobre 1998

**Rapport présenté oralement le :** 2 décembre 1998

## RESUME

---

CIRAD-Dist  
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE  
Mullarguet

Les poissons présentent un rythme naturel d'alimentation et s'alimentent, en fonction des espèces, à différentes périodes du nyctémère. L'existence de ces rythmes soulève en pisciculture la question de l'effet de l'heure du repas sur les performances de croissance. Pour réaliser notre étude, deux espèces ont été choisies. La truite arc-en-ciel *Oncorhynchus mykiss* s'alimentant naturellement de jour et le silure glane *Silurus glanis* qui s'alimente préférentiellement durant la nuit. Ces deux espèces ont été nourries à différentes périodes du nyctémère et leur performance de croissance, leur composition corporelle ainsi que la rétention des nutriments ont été étudiées.

Pour la truite les horaires étudiés sont au nombre de trois et se situent une heure après le début de la photophase (9 h), une heure avant (17 h) et après (19 h) le début de la scotophase. Pour le silure deux horaires sont testés, le premier au milieu de la photophase (14 h 30) et le second au milieu de la scotophase (23 h).

Pour la truite aucun effet sur la croissance n'a été observé. Seule l'utilisation des protéines est influencée par l'heure de nourrissage : les truites alimentées une heure après le début de la photophase\* présentent un pourcentage de protéines corporelles ainsi qu'une rétention protéique statistiquement inférieur aux truites alimentées une heure avant et après le début de la scotophase\*. Les résultats obtenus pour le silure n'ont montré aucun effet de l'heure d'alimentation sur la croissance ni sur la digestibilité des nutriments ni sur les rétentions. Ces résultats pour le silure, sont en contradiction avec les données bibliographiques.

### MOTS CLES :

croissance, digestibilité, heure d'alimentation, rétention, rythme alimentaire, silure glane, truite arc-en-ciel, pisciculture, nyctémère.

\* Voir glossaire page 6

## REMERCIEMENTS

---

*Je voudrais tout d'abord remercier Monsieur Thierry BOWARD pour m'avoir permis de réaliser ce stage au sein du laboratoire de nutrition.*

*Un grand merci à Valérie BOLLET pour son aide précieuse et son soutien tout au long de mon stage.*

*Je remercie également Paulette PEYROTTE qui m'a aidé dans la réalisation de tous les dosages et m'a apporté toute sa gentillesse.*

*Merci enfin à tous les stagiaires et à l'ensemble du personnel de la station pour leur bonne humeur et leur sympathie.*

**CIRAD-Dist**  
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE  
Baillarguet

**CIRAD-Dist**  
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE  
Baillarguet

# SOMMAIRE

---

<b>PRESENTATION DE L'INRA</b> .....	<b>1</b>
<b>GLOSSAIRE</b> .....	<b>6</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>7</b>
I - LES RYTHMES ALIMENTAIRES.....	8
II - HEURE D'ALIMENTATION ET CROISSANCE.....	9
III - OBJECTIFS DE L'ETUDE.....	11
<b>1 ere PARTIE : MATERIEL ET METHODES</b> .....	<b>13</b>
I - DIGESTIBILITE.....	13
I-1 Structure expérimentale.....	13
I-2 Protocole d'alimentation.....	14
I-2-1 Heure d'alimentation.....	14
I-2-2 L'aliment.....	14
I-3 Critères retenus .....	15
II - CROISSANCE.....	16
II-1 Structure expérimentale.....	16
II-2 Protocole d'alimentation.....	17
II-3 Critères retenus .....	17
III - PREPARATION DES ECHANTILLONS.....	18
III-1 Le broyage.....	18
III-2 La lyophilisation.....	19
IV - LES DOSAGES.....	20
IV-1 La matière sèche MS.....	20
IV-2 Dosage protéique.....	20
IV-3 Dosage énergétique.....	22
IV-4 Dosage lipidique.....	23

IV-5 Dosage de l'oxyde de chrome.....	24
V - CALCUL.....	25
V-1 Calcul de digestibilité.....	26
V-2 Calcul de rétention.....	26
VI – ANALYSE STATISTIQUE.....	27
<b>2 eme PARTIE : RESULTATS.....</b>	<b>28</b>
II - TRUITE ARC-EN-CIEL.....	28
II-1 Performances de croissance.....	28
II-2 Compositions corporelles.....	28
II-3 Digestibilité.....	29
II-4 Taux de rétention.....	30
III - SILURE GLANE.....	31
III-1 Performances de croissance.....	31
III-2 Compositions corporelles.....	33
III-3 Digestibilité.....	34
III-4 Taux de rétention.....	35
<b>3 eme PARTIE : DISCUSSION.....</b>	<b>36</b>
I - LA TRUITE ARC-EN-CIEL.....	36
I-1 Performances zootechniques.....	36
II-2 Compositions corporelles – utilisation des nutriments.....	36
II - LE SILURE GLANE.....	37
II-2 P Performances zootechniques.....	37
II-1 Compositions corporelles – utilisation des nutriments .....	39
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>41</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>42</b>
<b>ANNEXES</b>	

# PRESENTATION DE L'INRA

---

## I - L'INRA SUR LE PLAN NATIONAL

L'Institut National de la Recherche Agronomique est un Etablissement Public à caractères Scientifique et Technologique (E.P.S.T.), créé par la loi du 18 mai 1946, placé sous la double tutelle des Ministères chargés de la Recherche et de L'Agriculture. Il a pour mission "l'organisation, l'exécution et la publication de tous les travaux de recherche sur l'amélioration et le développement des productions végétales et animales, ainsi que la conservation et la transformation des produits agricoles".

Il est aujourd'hui composé de 21 centres, répartis sur l'ensemble du territoire et de 21 départements de recherche regroupés en 6 directions scientifiques relevant des domaines suivants :

- Environnement, forêt et agriculture (EFA)
- Société, économie et décision (SED)
- Plantes et produits du végétal (PPV)
- Nutrition humaine et sécurité alimentaire (NHSA)
- Animal et produits animaux (APA)
- Délégation permanente à l'Agriculture, au Développement et à la Prospective (DADP)

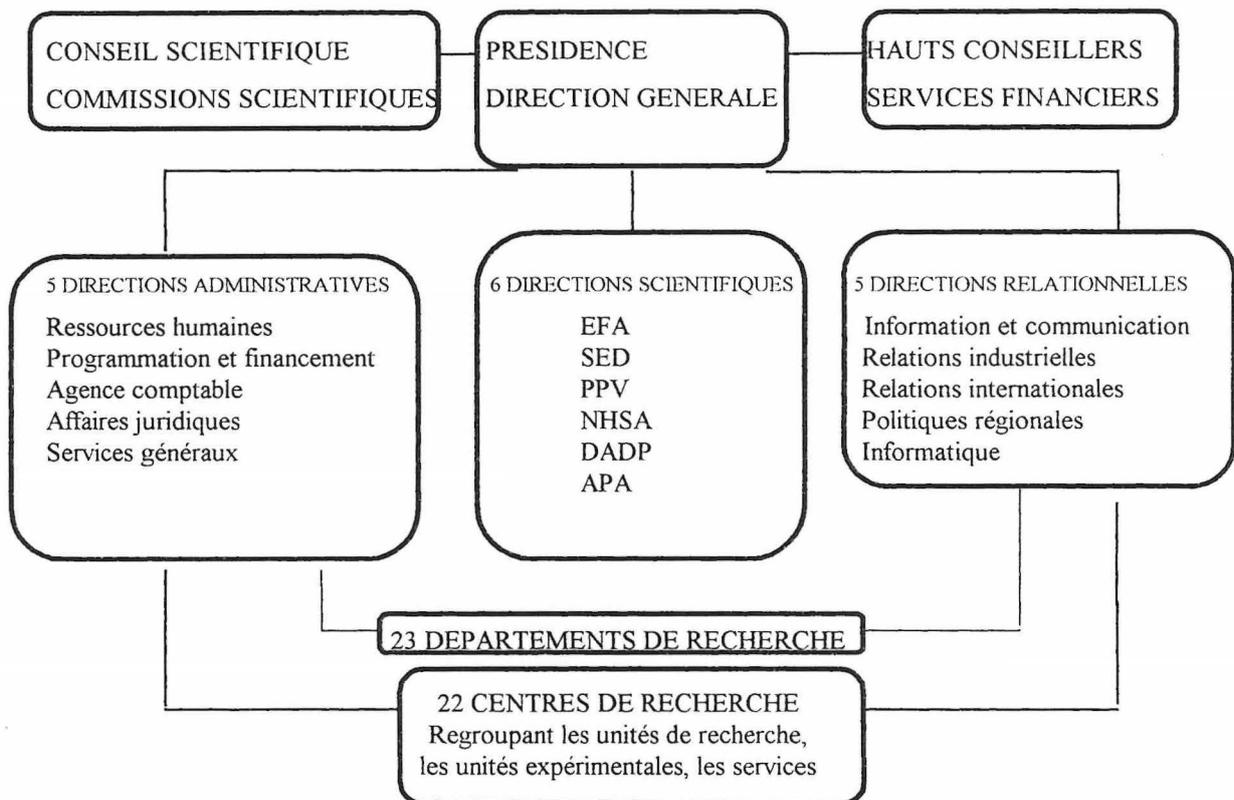
Au niveau de son organisation, on distingue :

-le Conseil Scientifique qui étudie les perspectives de développement dans les domaines de la recherche agronomique, examine les programmes de recherche et suit l'exécution de l'ensemble des travaux.

-le Conseil d'Administration qui délibère sur l'orientation de la politique de recherche, prend les mesures générales relatives à l'organisation de l'INRA et aux questions budgétaires, examine et approuve la gestion de l'établissement.

L'INRA emploie (mars 1997) 8 750 agents dont 3 853 chercheurs et ingénieurs, 3 928 techniciens et 789 agents administratifs.

### ORGANIGRAMME



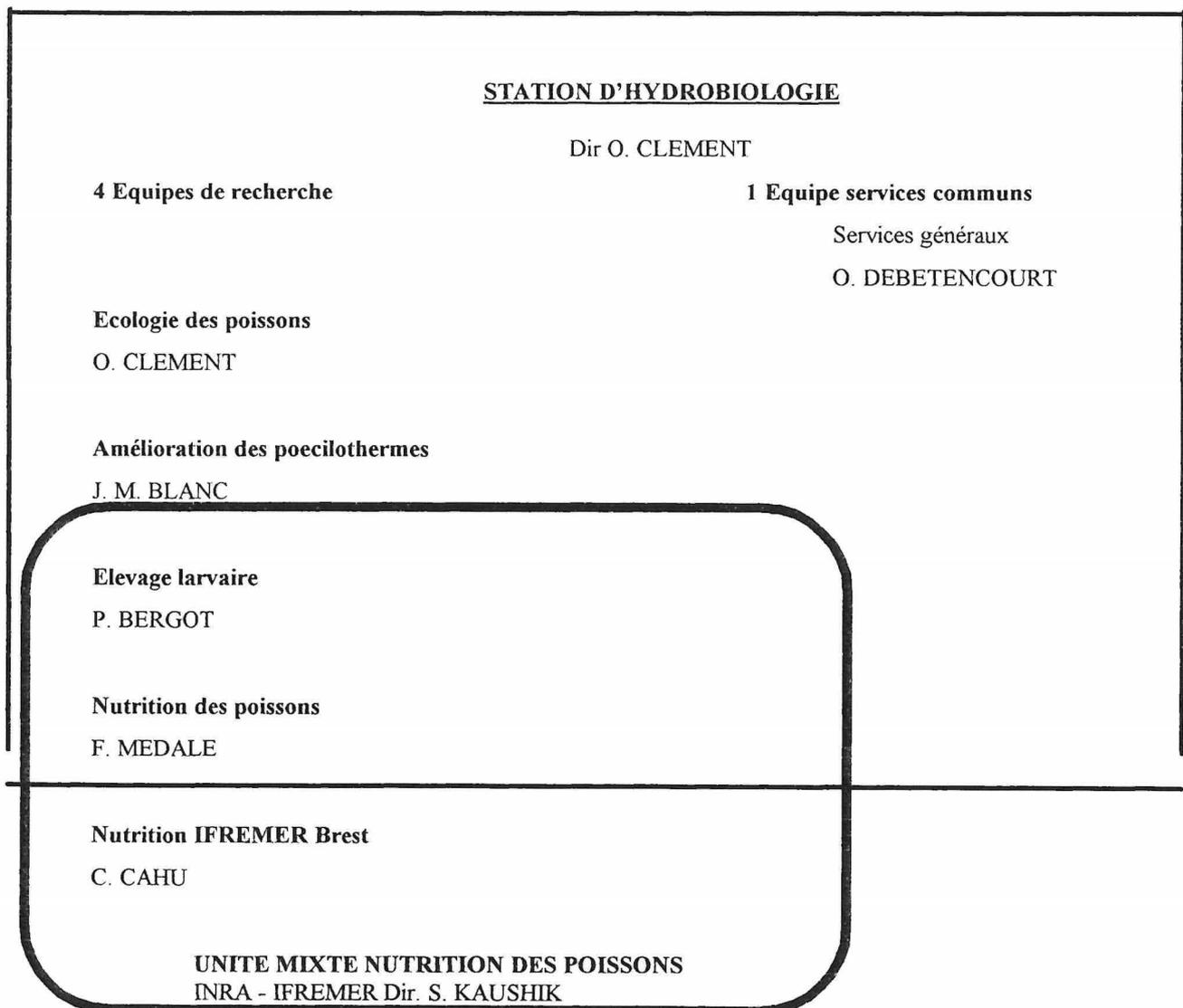
## II - LA STATION D'HYDROBIOLOGIE DE ST-PEE SUR NIVELLE

L'hydrobiologie regroupe l'ensemble des recherches permettant de comprendre et de modifier les différentes manifestations de la vie dans les milieux aquatiques. Ces travaux sont réalisés dans le cadre d'une unité mixte de nutrition des poissons INRA-IFREMER avec ses deux implantations de l'IFREMER de Brest et de l'INRA de St Pée.

Née en 1977 du regroupement de la Station d'Hydrobiologie Continentale de Biarritz et du Laboratoire de Nutrition des poissons transféré de Jouy-en-Josas (Yvelines), la station de St Pée-sur-Nivelle s'étend sur un domaine de 13 ha avec 3 500 m<sup>2</sup> de bâtiments expérimentaux et de laboratoires. Elle est rattachée administrativement, au Centre INRA de Bordeaux, et scientifiquement, au Département d'Hydrobiologie et de Faune sauvage (sous la direction scientifique APA), dont dépendent aussi les laboratoires de Rennes, Jouy-en-Josas et Thonon-les-Bains.

La station emploie (mars 1997) 60 agents dont 26 scientifiques.

### ORGANIGRAMME



### III - PRINCIPALES ACTIVITES DE L'INRA DE ST PEE-SUR-NIVELLE

La station comprend 4 équipes de recherche ayant chacune un chef de service.

#### - Ecologie des poissons

Le responsable de cette équipe est Olivier CLEMENT, également directeur de la station. Les recherches sont menées à la fois en milieu expérimental et en milieu naturel selon deux voies complémentaires qui sont d'une part, l'étude des mécanismes de la reproduction et les déterminismes du recrutement chez les Salmonidés et, d'autre part, l'étude de la dynamique des populations et leur modélisation.

#### - Amélioration génétique des Poïkilothermes

Le responsable, Jean-Marie BLANC, mène des recherches en génétique chez les salmonidés. Ses objectifs sont d'optimiser des méthodes de sélection et de testage en vue de l'amélioration de divers caractères d'intérêt zootechnique et d'exploiter des techniques de manipulation chromosomique en vue d'associer les aptitudes d'espèces différentes ou d'obtenir une castration génétique propice au grossissement.

#### - Elevage larvaire

Cette équipe (sous la responsabilité de Pierre BERGOT) étudie non seulement les problèmes liés aux larves des poissons à petits oeufs, leur alimentation et sa distribution, mais aussi ceux liés au milieu d'élevage. Par conséquent, cette équipe expérimente diverses techniques d'élevage et cherche à mettre au point des aliments artificiels inertes permettant une bonne croissance des larves.

#### - Nutrition des poissons

Cette équipe, au sein de laquelle j'ai effectué mon stage, dont la responsable est Françoise MEDALE, effectue des recherches sur les besoins nutritionnels et l'optimisation des formules alimentaires pour les poissons d'élevage. Ceci vise à améliorer la qualité et la quantité des productions piscicoles tout en réduisant les rejets polluants liés à l'alimentation. Ainsi, les grands axes de recherche portent sur le

métabolisme protéique, le métabolisme énergétique et l'utilisation de différentes matières premières, le métabolisme lipidique, les pigments caroténoïdes et les comportements alimentaires des poissons en fonction de leur état nutritionnel et physiologique, ainsi qu'en fonction des facteurs environnementaux.

La station de St Pée, située dans les Pyrénées Atlantiques, dispose d'installations expérimentales diversifiées. Il existe 3 plates-formes expérimentales :

- à Donzacq, dans les Landes, caractérisée par une température d'eau constante ( $17 \pm 2^\circ\text{C}$ ) favorable aux études sur la truite, les cyprinidés et les esturgeons.

- à Lées-Athas, dans la vallée d'Aspe, caractérisée par une température d'eau constante ( $7 \pm 1^\circ\text{C}$ ) qui permet les expérimentations sur les salmonidés d'eau froide.

- à St Pée, dans un bâtiment de 1100 m<sup>2</sup>, constituée de petites installations fonctionnant pour la plupart en circuits fermés.

Il existe également des installations plus spécifiques comme le chenal de frai du Lapitxuri et la station de contrôle de remontée des poissons migrateurs d'Uxondoa située sur la Nivelle.

# GLOSSAIRE

---

(1)

<b>Acrophase</b>	n. f. Phase du cycle correspondant à la valeur maximale du paramètre rythmique étudié.
<b>Circadien</b>	adj. Rythme avec une période de synchronisation de 24 heures.
<b>Cycle</b>	n. m. Événement récurrent, sans être nécessairement de nature périodique, opposé à rythmes.
<b>Endogène</b>	adj. Système oscillant (rythme) capable de s'auto-entretenir.
<b>Exogène</b>	adj. Système oscillant (rythme) incapable de s'auto-entretenir, mais passivement entretenus par des facteurs externes.
<b>Nycthémeral</b>	adj. Événement (cycle) se produisant sur une base de 24 heures.
<b>Oscillateur</b>	n. m. Mécanisme amenant des oscillations.
<b>Oscillation</b>	n. f. Manifestation d'un phénomène rythmique.
<b>Période</b>	n. f. Temps après lequel une phase définie de l'oscillation se reproduit
<b>Photopériode</b>	n. f. Période éclairée, souvent utilisée dans un contexte de saison.
<b>Photophase</b>	n. f. Période d'éclairement.
<b>Rythme</b>	n. m. Événement périodique récurrent qui n'est pas synonyme de cycle.
<b>Scotophase</b>	n. f. Période d'obscurité.
<b>Ultradien</b>	adj. Rythme non circadien avec une période de moins de 24 heures.

# INTRODUCTION

---

Le changement des habitudes alimentaires a entraîné à l'échelle internationale une demande accrue en protéines d'origine animale. Cette demande ne concerne pas seulement les produits issus des ovins, bovins, suidés mais elle concerne également les produits aquatiques. En effet, la consommation mondiale de produits aquatiques est passée de 75 millions de tonnes en 1981 à 100 millions de tonnes en 1995 (25).

Pour les pays occidentaux, cette demande croissante est due à un nouvel engouement tant gastronomique que diététique pour les produits issus de la pêche ou de l'élevage aquacole. Or, depuis ces dix dernières années les volumes de captures par la pêche stagnent et ne peuvent faire face à cette demande.

L'aquaculture pourrait par son développement pallier, au moins partiellement, à ce problème. En effet, en France, le développement de l'aquaculture a permis de tripler au cours de ces dix dernières années la production de salmonidés. Cette production dépasse aujourd'hui les 60 000 tonnes, avec 78 % de truites produites pour l'ensemble de la pisciculture française. Cependant, ce développement ne touche pas l'élevage des siluridés dont la production en France n'a été en 1992 que de 100 à 150 tonnes (33).

En ce qui concerne les pays en voie de développement, les débouchés pour un développement de l'aquaculture existent. En effet, si nous prenons le cas de l'Afrique subsaharienne, l'aquaculture produisait 33 000 tonnes de poissons en 1994 (2). Mais, en supposant que les niveaux actuels de consommation de poisson par habitant restent inchangés, la satisfaction de la demande d'une population, qui atteindra 915 millions (en Afrique) en 2010 nécessitera un accroissement de la disponibilité (pêche et aquaculture confondus) d'environ deux millions de tonnes (2).

Le développement de l'aquaculture nécessite une maîtrise de la reproduction, de la pathologie mais également de l'alimentation : formulation d'aliment et procédure d'alimentation.

Dans le cadre de cette étude, nous avons choisi de nous intéresser à la procédure du nourrissage et plus spécifiquement au problème de l'heure à laquelle doit être distribué l'aliment.

En effet, les poissons présentent un rythme\* naturel d'alimentation et s'alimentent, en fonction des espèces, à différentes périodes du nycthémère\*. L'existence de ces rythmes\* soulève en pisciculture la question de l'effet de l'heure du repas sur les performances de croissance.

Pour réaliser notre étude, deux espèces ont été choisies. La truite arc-en-ciel *Oncorhynchus mykiss* s'alimentant naturellement de jour et le silure glane *Silurus glanis* qui s'alimente préférentiellement durant la nuit. Ces deux espèces ont été nourries à différentes périodes du nycthémère\* et leur performance de croissance, leur composition corporelle ainsi que leur rétention des nutriments ont été étudiées.

## **I - LES RYTHMES ALIMENTAIRES**

A notre connaissance les premiers travaux sur les rythmes\* alimentaires, et plus spécifiquement chez deux salmonidés et chez un siluriforme, ont été publiés respectivement en 1942 et 1965.

En milieu naturel l'analyse des contenus stomacaux a permis de démontrer que des juvéniles *Ictalurus melas* (siluriforme) (17) s'alimentaient généralement à l'aube et au crépuscule, tandis que les adultes avaient une alimentation essentiellement nocturne.

Chez deux salmonidés, le saumon atlantique (*Salmo salar*) et le saumon de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) (22), une alimentation à différentes heures du nycthémère\* a par ailleurs mis en évidence un comportement alimentaire préférentiellement diurne chez ces deux espèces.

En conditions constantes d'accès à l'aliment, l'existence d'un pic trophique nocturne a été déterminée chez la barbotte brune (18), *Ictalurus nebulosus*, ainsi que chez l'atipa, *Hoplosternum littorale* (14). Chez la truite arc-en-ciel une alimentation à la demande a également montré un rythme\* alimentaire diurne qui varie en fonction de la saison (26). Il est généralement admis que le principal synchroniseur de ces rythmes\* alimentaires est la photopériode\*.

Chez l'*Hoplosternum littorale*, le rythme\* alimentaire est synchronisé par l'alternance de périodes nocturnes et diurnes et ceci quelle que soit l'intensité de la lumière (14). En effet, l'alternance de période d'obscurité totale et de période à faible intensité

lumineuse induit un rythme\* alimentaire, avec un maximum d'activité alimentaire se situant toujours au moment de la phase la plus sombre du cycle\* d'éclairnement.

Une expérience menée sur cette même espèce montre aussi que l'activité alimentaire reste nocturne lorsque les poissons sont soumis à un protocole d'alternance lumière/obscurité, respectivement de 13,5 heures de lumière et 10,5 heures d'obscurité. Si ces phases sont avancées de 9 h, ce siluriforme s'adapte à la nouvelle photopériode\* et conserve un rythme\* alimentaire nocturne, avec un pic trophique entre 2 et 5 heures du matin (10). Cette même espèce soumise à des cycles\* d'éclairage variant tous les huit jours a également maintenu un rythme\* alimentaire nocturne (13).

Ces résultats vont dans le sens d'une synchronisation du rythme\* alimentaire par l'alternance jour/nuit, également mis en évidence chez d'autres espèces (11).

Par ces différentes études sur le rythme\* alimentaire des poissons, quatre types de comportement alimentaire ont été mis en évidence :

Nocturne : c'est le cas de nombreux siluroïde (voir synthèse 12).

Diurne : famille des salmonidés essentiellement.

Crépusculaire : caractérisé par un pic d'activité au cours du crépuscule.

A dualité de phase : caractérisé par une capacité de passer spontanément d'un comportement nocturne à diurne et vice versa en fonction des saisons (cas du bar).

Récemment, il a été démontré que des truites arc-en-ciel maintenues en lumière constante durant plusieurs jours continuaient à s'alimenter durant le jour subjectif (35, 16). De la même façon, des silures glanes gardés en obscurité constante présentaient un pic d'alimentation associé à la nuit subjective (communication personnelle BOUJARD T., octobre 1998, INRA).

Le maintien d'un rythme\* alimentaire en conditions constantes de luminosité suggère fortement l'existence d'horloge (s) interne (s) contrôlant ce rythme\*. Le rythme\* alimentaire chez les poissons est donc contrôlé par un système circadien\* et synchronisé par l'alternance du jour et de la nuit.

## **II - HEURE D'ALIMENTATION ET CROISSANCE**

Le rythme\* alimentaire des poissons soulève la question de l'effet de l'heure d'alimentation sur la performance de croissance.

Si nous prenons le cas du poisson rouge, *Carassius auratus*, poisson à dualité de phase, il a été observé une meilleure croissance lorsqu'il était alimenté de nuit, et plus exactement lorsqu'il était alimenté 6 h après l'extinction de la lumière pour une photopériode de 12L:12O (31).

Pour le poisson chat américain, *Ictalurus nebulosus*, la croissance était meilleure chez des poissons nourris 1 h 30 après le début de l'éclairement que chez des poissons nourris 10 h après le début de la photopériode (30).

Chez le poisson chat, *Heteropneustes fossilis*, (36) les gains de poids étaient plus importants chez des poissons nourris à partir de la seconde moitié de la nuit. Des résultats semblables ont été retrouvés chez le pirapatinga, *Piaractus brachipomus* (5).

Cependant au cours de ces expériences les auteurs n'ont pas déterminé quelle était la quantité réellement ingérée, les effets observés pouvant donc être dus à une ingestion, plus ou moins importante de l'aliment aussi bien qu'à une utilisation différente des nutriments en fonction de l'heure des repas.

Chez la truite arc-en-ciel, l'heure d'alimentation a également un effet sur la croissance. En effet, de moins bonnes performances de croissance sont observées lorsque les truites sont nourries au début de la photophase\*, comparées à des poissons alimentés en milieu ou en fin de photophase\* (34). Il en est de même chez un autre salmonidé, le saumon atlantique *Salmo salar* (23). Cependant, cette baisse de performances de croissance semble moins nette lorsque la truite est alimentée avec une ration en excès (34).

Chez la truite arc-en-ciel l'heure d'alimentation n'agit pas seulement sur la croissance mais également sur la composition corporelle et plus particulièrement sur les taux de lipides. Les poissons présentaient en effet une accumulation de lipides plus importante quand ils étaient nourris à 16 h que lorsqu'ils étaient alimentés à 9 h (37).

Chez le silure africain, *Heterobranchus Longifilis*, des dépôts adipeux abdominaux plus importants ainsi qu'une baisse de croissance ont été mis en évidence lorsque les poissons étaient nourris de jour plutôt que de nuit (24).

En terme d'utilisation métabolique, un effet de l'heure d'alimentation, notamment sur l'efficacité d'utilisation des protéines alimentaires pour la croissance a également été démontré chez la truite arc-en-ciel : lorsque les poissons sont alimentés en période\* diurne les protéines sont utilisées essentiellement pour la croissance et en moindre part

comme fournisseur d'énergie (35). L'ensemble de ces résultats démontrent un effet de l'heure d'alimentation sur la performance de croissance et l'utilisation des nutriments.

### **III - OBJECTIFS DE L'ETUDE**

Le but des expériences menées à l'INRA de Saint Pée-sur-Nivelle est d'étudier l'effet de l'heure d'alimentation sur la croissance d'un poisson diurne (truite arc-en-ciel) et d'un poisson nocturne (silure glane). Les études de digestibilité menées en parallèle ont pour but de déterminer si les effets de l'heure d'alimentation sur la croissance et les compositions corporelles peuvent être imputées à une digestibilité différente des nutriments en fonction de la période\* du nycthémère\*.

Dans le cas des siluroïde il a déjà été montré qu'une alimentation diurne entraînait des croissances significativement différentes comparativement à une alimentation nocturne (voir synthèse 12). Cependant au cours de ces travaux, la quantité d'aliment ingérée n'ayant pas été mesurée, il est impossible de déterminer si les différences de croissance observées résultent d'une variation de la prise alimentaire ou d'une utilisation différente des nutriments. C'est pourquoi dans le cadre de notre étude, la quantité d'aliment ingéré, et celle d'aliment non consommé, à deux différentes heures du nycthémère\* (à savoir en milieu de phase diurne et milieu de phase nocturne), seront mesurés.

Dans le cas de la truite, les études ont montré qu'il s'agissait d'une espèce au comportement essentiellement diurne. Des études précédentes sur cette espèce (35) ont montré deux phases d'activité alimentaire : une première immédiatement après le début de l'éclairement et une seconde en fin de photophase\*.

Par ailleurs des études menées chez la même espèce (à l'INRA de Saint Pée-sur-Nivelle), testant l'effet d'une distribution d'aliment à l'aube et à minuit, ont montré un effet de l'heure d'alimentation qui était indépendant de la quantité ingérée.

Dans le cadre de notre étude, sur la truite arc-en-ciel, les poissons ont donc été nourris à trois moments différents du nycthémère, à savoir une heure après le début du jour, une heure avant la fin du jour et une heure après l'extinction de la lumière.

Pour les deux espèces, la performance de croissance ainsi que les compositions corporelles et les rétentions des nutriments ont été étudiées en fonction des différentes heures d'alimentation.

# 1<sup>ere</sup> PARTIE : MATERIEL ET METHODES

## I - DIGESTIBILITE

### I-1 STRUCTURE EXPERIMENTALE

12 lots de 8 silures d'un poids moyen de 90 g et 9 lots de 10 truites d'un poids moyen de 100 g sont placés chacun dans des bassins cylindroconiques de 60 l.

Ces bassins sont alimentés en eau, à un débit de 4 l/min, par un système de circuit fermé. La température de l'eau est maintenue à  $18 \pm 0,1^\circ\text{C}$ , dans le cas de la truite. Pour le silure, la température a été maintenue à  $23 \pm 0,1^\circ\text{C}$ .

Le trop plein de chaque bassin se déverse dans un premier bac de thermorégulation, qui à son tour se déverse dans un couloir de décantation. A sa sortie, le filtrage de l'eau est achevé par le passage dans un filtre à sable et un filtre biologique (transformation de l'ammoniac en nitrites puis en nitrates) avant d'être redistribué aux bassins.

Cependant l'eau avant de se déverser dans le bac de thermorégulation est filtrée en continu afin de récolter les fèces qui serviront aux analyses. La méthode de filtration en continue utilisée est celle mise au point par Choubert et ses collaborateurs (15) (Figure 1).

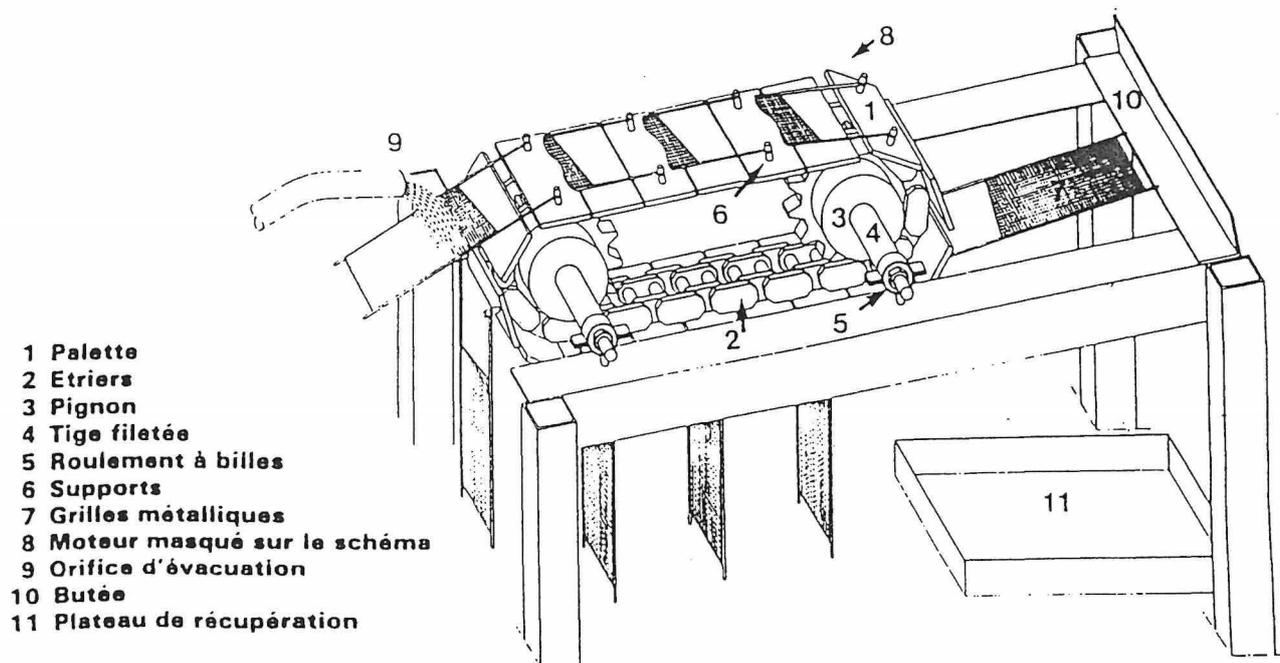


Figure I : Système automatique de collecte des fèces.

La récolte des fèces débute lorsque les poissons ingèrent dans leur quasi totalité l'aliment distribué ad libitum avec un minimum nécessaire de 1,5 % de la biomasse des poissons. La récolte dure le temps d'obtenir les quantités nécessaires au dosage à savoir un minimum de 80 g de poids frais de fèces par bac.

Elles sont récoltées journalièrement, et congelées le temps de la récolte, au moment du nourrissage, période\* durant laquelle le système de filtration est arrêté afin de ne pas contaminer les fèces par des aliments.

Les poissons ont été soumis à une photopériode naturelle, avec cependant une rampe de néons allumés durant les phases diurnes. Pour les truites, durant toute l'expérience, des lampes rouges inactiniques (n'agissant pas sur la rétine) étaient présentes, afin de nourrir les truites dans l'obscurité.

## **I-2 PROTOCOLE D'ALIMENTATION**

### **I-2-1 HEURE D'ALIMENTATION**

Les truites sont nourries de façon manuelle à 9 h, 17 h, et 19 h, en triplicatas pour chaque heure :

- \_ 1 heure après le début de l'éclairage (9 h)
- \_ 1 heure avant l'extinction de la lumière (17 h)
- \_ 1 heure après l'extinction de la lumière (19 h)

Les silures ont été alimentés à deux heures différentes : six bassins à 23 h, et 6 bassins à 14 h 30, grâce à un système automatique de distribution de l'aliment (nourrisseur mécanique à tapis, FIAP (COFA)) (3).

### **I-2-2 L'ALIMENT**

Les poissons ont été nourris avec un aliment à haute valeur énergétique avec cependant de légères variations de compositions pour la truite et le silure (tableau I). L'aliment pour la truite a été fabriqué dans l'unité de fabrication de l'INRA de St Pée-sur-Nivelle, tandis que celui utilisé pour le silure est un aliment commercial pour truite (Ecolife 19, 4,5 mm, BIOMAR).

Tableau I : Compositions des aliments déterminées par dosage.

Aliment	Matière sèche (%)	Protéines (% MS)	Energie (% MS)	Lipides (% MS)
Truite	95	40,6	22,5	23
Silure	90,97	50,65	24,62	26,26

MS = Matière sèche

Afin de pouvoir réaliser par la suite les dosages de digestibilité, il a été incorporé à l'aliment de l'oxyde de chrome. Ne disposant que d'une petite unité de fabrication des aliments, l'incorporation du chrome a été réalisée sur des quantités de trois kilogrammes.

Pour cela l'aliment est tout d'abord réduit en poudre, dans laquelle est incorporé l'oxyde de chrome à raison de 1 %. Ensuite l'ensemble est réhumidifié durant le passage au pétrin, permettant ainsi une répartition homogène du chrome dans l'aliment. Cet homogénéisat est ensuite passé au hachoir, muni de grilles, afin d'obtenir un aliment de forme cylindrique.

Ces aliments sont immédiatement placés à l'étuve durant trois jours à 40 degrés (pour un aliment moins riche en lipides 24 heures à 40 degrés suffisent).

### **I-3 CRITERES RETENUS**

Les critères d'étude retenus sont la digestibilité de l'énergie, des protéines et des lipides, en raison de leur implication dans le métabolisme de croissance.

En effet, l'énergie, issue du métabolisme oxydatif du carbone, des lipides, et des acides aminés, est nécessaire au fonctionnement de base de tout organisme, par son implication dans les phénomènes de croissance, mais également de reproduction, d'où l'intérêt de son étude.

En ce qui concerne les protéines, le muscle représentant plus de 55 % du poids chez le poisson, les besoins lors de la croissance seront essentiellement protidiques. C'est pourquoi il est utile d'optimiser l'utilisation des protéines par le poisson, afin de réduire les taux d'incorporation de ce nutriment dans l'aliment.

L'énergie fournie par les glucides est très faible de sorte que les protéines alimentaires sont en partie consommées pour satisfaire les besoins énergétiques. Or, 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 pour la croissance et non plus pour la fourniture d'énergie (32).

## **II - CROISSANCE**

### **II-1 STRUCTURE EXPERIMENTALE**

20 lots de 10 silures d'un poids moyen de 60 g sont placés dans des bacs rectangulaires de 60 l alimentés en eau, à un débit de 4 l/min, par un circuit fermé. La température de l'eau a été progressivement montée à  $22,9 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ . Les bacs ont été soumis à une photopériode naturelle avec un éclairage artificiel supplémentaire en phase diurne. Il est à noter également qu'une zone d'ombre a été aménagée dans chaque bassin afin de réduire le stress de ce poisson.

9 lots de 30 truites immatures, d'un poids moyen de 15 g, sont répartis dans des bassins de 60 l, placés en circuit ouvert alimenté par une eau de rivière (la Nivelles) dont la température de l'eau était de  $5^{\circ}\text{C}$  en début d'expérience et de  $10^{\circ}\text{C}$  en fin d'expérience, c'est-à-dire trois mois plus tard. Les poissons ont été soumis aux mêmes conditions d'éclairage que pour les silures.

En même temps que sont mises en place les structures, un lot de dix poissons a été prélevé dans le but d'effectuer une analyse de la composition corporelle initiale. Ultérieurement ces données permettront de déterminer, connaissant la composition corporelle après traitement, les taux de rétention des nutriments étudiés.

Une pesée par bacs est effectuée toutes les trois semaines, ainsi qu'un traitement préventif au formol pour éviter tous risques pathologiques fongiques ou bactériens.

## I-2 PROTOCOLE D'ALIMENTATION

Dans le cas des silures ceux ci sont nourris par un système automatique de distribution de l'aliment (nourrisseur mécanique à tapis, FIAP (COFA)) (3).

Cet aliment est identique à celui utilisé en digestibilité (mais sans chrome), à raison de 1,5 % de leurs poids initial pour 10 lots (5 à 14 h 30 et 5 à 23 h) et *ad libitum* pour les 10 lots restants. Pour les poissons nourris à 1,5 %, les refus ont été redistribués le lendemain en addition de la ration journalière afin d'obtenir un ingéré identique, en fin d'expérience, sur l'ensemble des dix bacs. Pour les bacs alimentés *ad libitum* les refus ont été redistribués le lendemain (pour des refus inférieurs à 50 granulés), cependant si ceux-ci étaient trop importants (supérieur à 50 granulés) ils ont été comptabilisés et soustraits à l'ingéré total.

Tableau II : protocole de distribution d'un aliment à haute valeur énergétique pour le silure.

Heure d'alimentation	14 h 30	14 h 30	23 h	23 h
Dose	<i>ad libitum</i>	1,5 %	1,5 %	<i>ad libitum</i>
Nombre de bassins	5	5	5	5

Dans le cas des truites celles-ci sont alimentées manuellement aux mêmes horaires prévus en digestibilité avec le même aliment, sans chrome, à raison de 1,5 % de leur poids initial. Les refus sont redistribués le jour même.

Les poissons sont prélevés au bout de trois mois, et pesés individuellement, sacrifiés par surdose d'anesthésiant puis congelés, à raison de 4 poissons par bassins. Chaque dosage sera donc effectué sur un homogénéisât constitué de ces quatre poissons.

## II-3 CRITERES RETENUS

Les critères retenus sont le gain de poids, l'indice de consommation, et le CVF/CVI (hétérogénéité intra bac = coefficient de variation initial/coefficient de variation initial). Ces critères ont été choisis pour leurs applications dans le domaine de la pisciculture. En effet, le but de tout pisciculteur est d'obtenir un gain rapide et une utilisation

maximale de son aliment par le poisson tout en maintenant des croissances homogènes intra-bacs.

avec

Indice de conversion (IC) = quantité d'aliments consommée/gain de poids

Croissance spécifique (CS) =  $100 * (\ln(\text{poids final}) - \ln(\text{poids initial})) / \text{nombre de jours}$

CVF/CVI :  $\frac{(\text{écart type du poids final par bac} / \text{moyenne de poids final par bac})}{(\text{écart type du poids initial par bac} / \text{moyenne de poids initial par bac})}$

### **III - PREPARATION DES ECHANTILLONS**

Les analyses chimiques sur les animaux entiers et sur les fèces, sont réalisées à partir d'échantillons lyophilisés. Pour les aliments, le dosage s'effectue après une réduction de l'aliment en poudre.

#### **III-1 LE BROYAGE**

Le broyage sur les lyophilisats est réalisé par un broyeur à billes.

Pour les carcasses il s'effectue en trois étapes :

1- Un broyage grossier par lames est effectué ; ce broyat est ensuite placé au congélateur.

2- Un second broyage plus fin est réalisé, par « pacoçage ». Avant de recongeler ce broyat fin environ 10 grammes sont prélevés afin de déterminer la matière sèche du poisson frais.

3- Un troisième broyage est réalisé avant d'être mis en barquettes pour la lyophilisation.

## III-2 LA LYOPHILISATION

Elle est réalisée en trois étapes, sur les fèces ainsi que sur les broyats de carcasses :

- 1) la congélation
- 2) la sublimation
- 3) la désorption

### 1) La congélation

Le passage d'un fluide frigorigène, Fréon R12, à l'état liquide, dans un évaporateur provoque à basse pression le passage à l'état gazeux, produisant ainsi du froid. Ce froid sert à la congélation de notre échantillon, c'est-à-dire à la congélation de l'eau interne à l'échantillon.

### 2) La sublimation

#### Etat solide/état gazeux

C'est le passage d'un état solide à un état gazeux, sans passer par l'état liquide, dans notre cas, c'est le passage de la glace à la vapeur d'eau. Cette sublimation est réalisée sous vide.

Cette mise sous vide provoque le début de la sublimation ainsi que le refroidissement du piège. Les premières vapeurs émises par la sublimation sont captées par le piège qui a une température inférieure à celle de la chambre de lyophilisation. Cette variation de température provoque ainsi un flux des vapeurs de la chambre vers le piège jusqu'à l'obtention d'un équilibre entre la température du piège et celle de l'échantillon.

Afin de poursuivre la sublimation, il est nécessaire d'apporter des calories.

#### Apport calorique

Le Fréon R12 est comprimé, provoquant ainsi son échauffement. Cette chaleur va être condensée et redistribuée, sous forme de calories, à la chambre de lyophilisation.

La condensation s'effectue grâce au froid fourni au condenseur par les produits au cours de leur début de sublimation. On a donc un échange de calories.

Le gaz passe ensuite dans un détendeur, avec passage d'une haute pression à une basse pression bouclant ainsi le circuit.

Durant la sublimation, la température du produit atteint celle de la source chaude. L'échantillon a donc perdu progressivement son eau.

Le phénomène de désorption peut alors débuter quand l'équilibre température du produit - température de la source chaude est atteint.

### **3) La désorption**

C'est l'expulsion des molécules d'eau d'un échantillon apparemment sec. Pour cela, il est maintenu sous vide poussé et chauffé au maximum, sans l'altérer, provoquant ainsi le départ des molécules d'eau. En fin de lyophilisation l'échantillon conserve une humidité relative de 3 à 6 %

## **IV - LES DOSAGES**

### **IV-1 LA MATIERE SECHE**

Une évaporation de l'eau dans l'échantillon est réalisée grâce à une étuve thermostatée : un échantillon de poids connu est laissé à l'étuve à 105°C pendant 24 heures. L'échantillon est ensuite pesé après dessiccation et refroidissement sous dessiccateur.

Le taux de matière sèche (MS) est alors déterminé par la formule suivante :

$$\text{Teneur en MS} = 100 * (\text{Poids de l'échantillon sec} / \text{Poids de l'échantillon initial})$$

### **IV-2 DOSAGE PROTEIQUE**

La méthode employée est celle de Kjeldahl (2 300 Kjeltex Analyser unit, Tecator, Höganäs, Suède) par dosage de l'azote total. Ce dosage est effectué sur l'aliment des

deux expériences, sur les fèces pour déterminer la digestibilité mais également sur les carcasses afin de déterminer des taux de rétention.

### Principe

L'azote organique contenu dans l'échantillon, issu des protéines, est oxydé par de l'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) concentré, à chaud (15 min à  $100^\circ C$ , 15 min à  $150^\circ C$ , 30 min à  $220^\circ C$ , 60 min à  $320^\circ C$ , 90 min à  $440^\circ C$ ), et en présence d'un catalyseur constitué de 3,5 g de sulfate de potassium ( $K_2SO_4$ ) et de 3,5 mg de sélénium (Se).

Cette oxydation provoque :

la libération du carbone sous forme de dioxyde de carbone ( $CO_2$ )

la libération de l'hydrogène sous forme d'eau

la fixation de l'azote par l'acide sous forme de  $(NH_4)_2 SO_4$  sulfate d'ammonium

L'ammoniac est ensuite libéré par une solution de soude. Il est ensuite entraîné par un courant de vapeur d'eau afin d'être recueilli dans une solution tampon d'acide borique afin d'être titré par une solution d'acide sulfurique (normalité connue). Il est à noter que cette dernière étape est entièrement automatisée grâce à l'analyseur Kjeltec de Foss Tecator (Figure II)

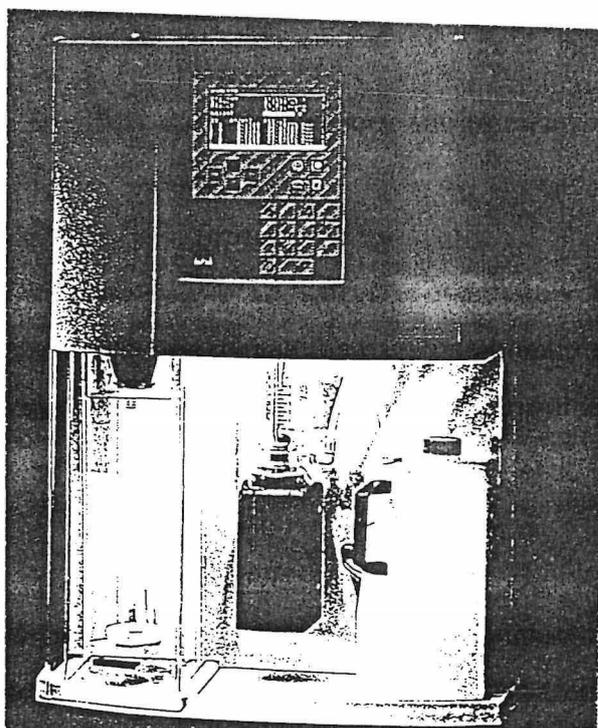


Figure II : Analyseur Kjeltec de Foss Tecator

### Calcul du pourcentage protéique

La titration de l'azote par l'acide sulfurique donne la relation suivante :



Pour avoir le pourcentage d'azote dans un échantillon la formule suivante est utilisée :

$$\% \text{ azote} = (\text{volume H}_2\text{SO}_4 \text{ 0,5 N/prise d'échantillon sec mg}) * 7 * 100$$

Le taux de protéines est alors calculé par la formule suivante :

$$\% \text{ protéines} = \% \text{ azote total} * 6,25$$

Cependant l'automatisation du dosage permet d'obtenir directement le pourcentage de protéines en ayant enregistré au préalable le poids de l'échantillon pour chaque tube. Le résultat est corrigé en fonction du taux de matières sèches.

Remarque : 300 mg de chaque échantillon sont nécessaires pour effectuer le dosage.

### **IV-3 DOSAGE ENERGETIQUE**

Ce dosage porte sur les mêmes échantillons que pour les protéines.

#### Principe

La valeur énergétique est déterminée après une combustion, sous pression, de l'échantillon dans une bombe calorimétrique (I.K.A., C4000) placée dans une enceinte adiabatique. Afin d'obtenir une combustion totale de l'échantillon un apport d'oxygène, en excès (pression 20 bars), est effectué.

#### Calcul

L'élévation de la température (DT) provoquée par la combustion d'un échantillon de poids connu est mesurée. Cette DT permet alors de déterminer l'énergie calorique du produit selon la formule suivante :

$$En \text{ (kJ/g)} = (9 \text{ DT} - 0,05)/\text{poids de l'échantillon}$$

0,05 : Chaleur dégagée par la combustion du fil de coton et du fil de nickel, de longueurs connues, servant d'amorce.

9 : Quantité de chaleur nécessaire pour élever la température de la bombe de 1°C.

Le résultat est corrigé en fonction du taux de matières sèches.

#### **IV-4 DOSAGE LIPIDIQUE**

##### **Principe**

L'extraction des lipides est réalisée par la mise en solution d'un échantillon, de poids connu, dans un solvant, l'éther de pétrole, à une température élevée et sous pression dans un extracteur de Soxtherm (Figure III).

##### **Mode opératoire**

###### **- L'hydrolyse**

Cette étape est nécessaire uniquement pour les fèces car l'éther de pétrole ne peut extraire la totalité des lipides de l'échantillon.

Cette hydrolyse est également utilisée pour les pulpes séchées de pommes de terre, drêches séchées de brasseries et de distilleries, levures séchées, déchets de biscuiteries, de pains et d'aliments.

2,5 g de l'échantillon sont hydrolysés par 100 ml d'acide chlorhydrique (HCl) 3N. Ce mélange est porté à ébullition et y est maintenu durant une heure. L'ensemble, après refroidissement et ajout d'un adjuvant de filtration (diatomées par exemple), est filtré sur un double papier filtre. Ensuite le papier filtre plus le résidu sont séchés à l'étuve durant une heure et demie à 95°C.

###### **- Extraction des lipides**

Le résidu plus le filtre, ou l'échantillon, sont placés dans une cartouche, fermée par du coton de verre, baignant pour sa partie basse dans de l'éther de pétrole. Les lipides

sont ainsi extraits de l'échantillon par l'éther, chauffé et mis en circulation, qui est ensuite éliminé par distillation.

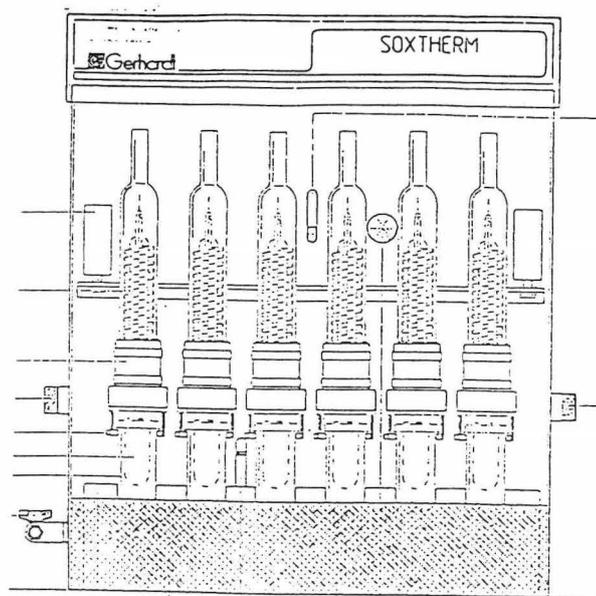


Figure III : Extracteur Soxtherm

Le résidu est ensuite placé à l'étuve puis mis à refroidir dans un dessiccateur sous vide. Ensuite une dernière pesée est effectuée afin de déterminer le pourcentage lipidique par la formule suivante :

$$\% \text{ lipides} = 100 * (\text{poids du résidu} / \text{poids de l'échantillon})$$

Le résultat est corrigé en fonction du taux de matières sèches.

#### **IV-5 DOSAGE DE L'OXYDE DE CHROME**

Ce dosage est effectué dans le cadre de l'expérience de digestibilité, les analyses porteront sur l'aliment et les fèces.

Il est réalisé une oxydation des échantillons contenant de l'oxyde de chrome, par le réactif de Bolin ( $H_2SO_4$ ,  $HClO_4$ , Molibdate de sodium). Cette oxydation se réalisant en trois étapes pour la température : 20 min à  $150^\circ C$ , 20 min à  $200^\circ C$ , 40 min à  $250^\circ C$ . Nous avons alors formation d'un chromate  $Cr_2O_7$  colorant la solution en jaune.

Or, la coloration est fonction de la quantité de chrome présente, donc fonction du pourcentage de chrome présent dans l'échantillon.

Ainsi, pour chaque échantillon, nous pouvons mesurer une absorbance grâce à un spectrophotomètre (UV 160A SHIMADZU) à 440 nm.

Afin de convertir cette absorbance en pourcentage de chrome une courbe étalon est nécessaire. Pour cela, 50 mg d'oxyde de chrome sont soumis à une oxydation identique aux échantillons.

La solution ainsi obtenue est diluée dans du blanc acide (5 ml de réactif de Bolin oxydé dilué dans 75 ml d'eau distillée) afin d'obtenir les concentrations en chrome suivantes : 50 - 100 - 200 - 300 g/l. et pour lesquelles nous obtenons une absorbance donnée, pour une concentration en chrome connue.

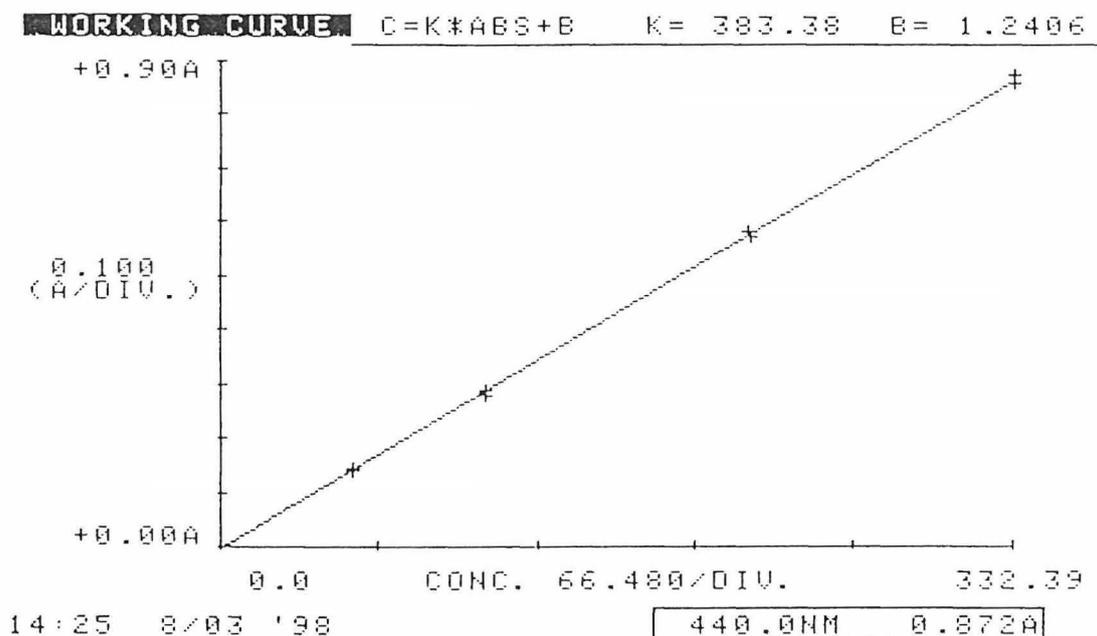


Figure IV : Courbe d'étalonnage

La courbe étalon (Figure IV) ainsi obtenue permet de déterminer la concentration en chrome de chaque échantillon.

Cette valeur est ensuite ramenée au poids de la prise d'essais :

$$\% \text{Cr}_2\text{O}_3 = (\text{concentration lue} \cdot 75^1 \cdot 100) / (1\ 000 \cdot \text{poids échantillon})$$

1 Taux de dilution de chaque échantillon

Le résultat est corrigé en fonction du taux de matières sèches.

Remarque : Pour les fèces la prise d'essais est d'environ 300 mg, et de 600 mg pour les aliments.

## V - CALCUL

### **V-1 CALCUL DE DIGESTIBILITE**

Pour les mesures de digestibilité une méthode indirecte est utilisée. elle évite de mesurer la totalité des fèces excrétées car elle s'appuie sur l'utilisation d'un marqueur, l'oxyde de chrome, qui est incorporé dans l'aliment à raison de 1 %. Il est considéré inerte et non absorbable au niveau du tube digestif. L'oxyde de chrome ingéré est donc retrouvé en totalité dans les fèces: Il transite avec le bol alimentaire et ses variations de concentration dans les fèces, par rapport aux concentrations des constituants du repas, reflètent des phénomènes d'absorption et de digestion des constituants.

Les coefficients d'utilisation digestive apparente (CUDa) sont calculés par la formule décrite par Maynard et Loosli (28).

$$\text{CUDa} (\%) = 100 - [100 (\% \text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ aliment} / \% \text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ fèces}) * (\% \text{nutriment fèces} / \% \text{nutriment aliment})]$$

Cette valeur est rapportée à la matière sèche.

### **V-2 CALCUL DE RETENTION**

$$\text{Rétention de X} = \text{Gain de X} / \text{Ingéré de X}$$

Avec

X : Nutriment

Gain de X = (% X carcasse\*poids final)-( % X du lot initial\*poids lot initial)

Ingéré X = % X \*quantité ingérée d'aliment

Ces valeurs peuvent être rapportées au poids sec (MS) ou au poids frais (MF)

## **VI - ANALYSE STATISTIQUE**

Dans le cas des expériences sur le silure le test de Student ( $p=0,05$ ,  $n=5$ ) n'ayant montré aucun effet de l'heure d'alimentation sur les différents paramètres étudiés nous avons choisi la représentation graphique.

Dans le cas des expériences sur la truite, le test de Student a été choisi étant donné le faible nombre d'échantillon ( $n=3$ ). Ce test a été appliqué après vérification de l'égalité des variances condition préalable à l'utilisation d'un test de Student. Le niveau de probabilité retenu est de 5 %.

## 2 ème PARTIE : RESULTATS

### II - TRUITE ARC-EN-CIEL

#### II-1 PERFORMANCES DE CROISSANCE

Tableau III : Paramètres zootechniques chez des truites alimentées à 1,5 % de leur biomasse, pour trois horaires distincts.

Heure alimentation	9 h	17 h	19 h
Ingérés (g)	41,67 ± 1,75 <sup>A</sup>	42,16 ± 0,37 <sup>A</sup>	41,29 ± 0,52 <sup>A</sup>
Gain de poids (g)	52,33 ± 2,46 <sup>A</sup>	51,59 ± 1,33 <sup>A</sup>	52,58 ± 0,86 <sup>A</sup>
IC	0,80 ± 0,02 <sup>A</sup>	0,82 ± 0,02 <sup>A</sup>	0,79 ± 0,02 <sup>A</sup>
CVF/CVI	1,85 ± 0,31 <sup>A</sup>	1,72 ± 0,30 <sup>A</sup>	1,10 ± 0,09 <sup>A</sup>
CS (%/j)	1,55 ± 0,03 <sup>A</sup>	1,52 ± 0,02 <sup>A</sup>	1,56 ± 0,03 <sup>A</sup>

*Les valeurs sur une même ligne portant la même lettre en exposant ne sont pas significativement différentes ( $P < 0,05$ ).  $n=3$  pour chaque heure d'alimentation.*

Les groupes de truites maintenues pendant 71 jours en photopériode 10L(7h-18h):14O et alimentées à trois heures différentes n'ont présenté aucune différence significative au niveau du gain de poids, de l'indice de conversion, de la croissance spécifique et de l'hétérogénéité intra-bac (Tableau III).

#### II-2 COMPOSITIONS CORPORELLES

Tableau IV : Compositions corporelles en % de la matière fraîche (% MF) chez des truites alimentées à 1,5 % de leur biomasse, pour trois horaires d'alimentation.

Heure alimentation	9 h	17 h	19 h
MS	28,70 ± 0,53 <sup>A</sup>	27,98 ± 0,24 <sup>A</sup>	28,23 ± 0,46 <sup>A</sup>
Protéines	16,03 ± 0,05 <sup>A</sup>	16,88 ± 0,11 <sup>B</sup>	16,78 ± 0,10 <sup>B</sup>
Energie	7,76 ± 0,35 <sup>A</sup>	7,44 ± 0,08 <sup>A</sup>	7,38 ± 0,38 <sup>A</sup>
Lipides	10,02 ± 0,73 <sup>A</sup>	9,14 ± 0,15 <sup>A</sup>	9,11 ± 0,77 <sup>A</sup>

*Les valeurs sur une même ligne portant la même lettre en exposant ne sont pas significativement différentes ( $P < 0,05$ ).  $n=3$  pour chaque heure d'alimentation.*

Entre les poissons nourris à 17 h et à 19 h aucune différence n'a été constatée pour les compositions corporelles en lipides, en protéines et en énergie.

Cependant, les truites nourries à 9 h présentent un taux de protéines significativement moins élevé ( $P < 0,05$ ) comparativement aux truites alimentées à 17 h et 19 h. En terme d'énergie et de lipides, la comparaison de l'alimentation à 9 h aux alimentations à 17 h et 19 h, montre une tendance à des valeurs plus importantes pour les truites alimentées à 9 h (Tableau IV).

### II-3 DIGESTIBILITE

Tableau V : Digestibilités (%MS) chez des truites alimentées à 1,5 % de leur biomasse, pour trois horaires d'alimentation. La matière sèche est exprimée en % de matière fraîche (MF) et les autres valeurs sont exprimées en % MS.

Heure d'alimentation	9 h	17 h	19 h
MS	91,10 ± 2,90 <sup>A</sup>	93,12 ± 1,29 <sup>A</sup>	92,21 ± 0,61 <sup>A</sup>
Digestibilité lipides	88,04 ± 2,88 <sup>A</sup>	84,39 ± 3,99 <sup>A</sup>	83,42 ± 3,21 <sup>A</sup>
Digestibilité énergie	86,98 ± 1,70 <sup>A</sup>	84,70 ± 2,52 <sup>A</sup>	84,23 ± 2,19 <sup>A</sup>
Digestibilité protéines	88,02 ± 0,20 <sup>B</sup>	87,09 ± 0,56 <sup>A</sup>	87,09 ± 0,37 <sup>A</sup>
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> aliment/Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> fèces	0,20 ± 0,01 <sup>A</sup>	0,22 ± 0,02 <sup>A</sup>	0,22 ± 0,02 <sup>A</sup>
Digestibilité MS	80,30 ± 1,05 <sup>A</sup>	78,21 ± 1,81 <sup>A</sup>	77,91 ± 1,61 <sup>A</sup>

*Les valeurs sur une même ligne portant la même lettre en exposant ne sont pas significativement différentes ( $P < 0,05$ ).  $n=3$  pour chaque heure d'alimentation.*

En ce qui concerne la digestibilité des lipides et de l'énergie, aucune différence significative n'a été observée en fonction de l'heure d'alimentation.

Pour les protéines, il n'a été constaté aucune différence entre les truites nourries à 17 h et celles alimentées à 19 h. La digestibilité protéique des truites nourries à 9 h est plus importante et significativement différente ( $p < 0,05$ ) de celles obtenues chez des truites alimentées à 17 h et 19 h.

En terme d'énergie et de lipides, la comparaison de l'alimentation à 9 h aux alimentations à 17 h et 19 h, montre une tendance à des digestibilités plus importantes pour les truites alimentées à 9 h (Tableau V).

## II-4 TAUX DE RETENTION

Tableau VI : Rétentions (%) pour des truites alimentées à 1,5 % de leur biomasse, pour trois horaires d'alimentation.

Heure d'alimentation	9 h	17 h	19 h
Rétention protéique	45,35 ± 1,51 <sup>A</sup>	48,13 ± 0,77 <sup>B</sup>	50,20 ± 1,43 <sup>B</sup>
Rétention/digestibilité prot.	51,53 ± 1,72 <sup>A</sup>	55,27 ± 0,89 <sup>B</sup>	57,64 ± 1,64 <sup>B</sup>
Rétention énergétique	51,66 ± 2,69 <sup>A</sup>	47,77 ± 0,41 <sup>A</sup>	48,49 ± 1,31 <sup>A</sup>
Rétention/digestibilité én.	59,40 ± 3,10 <sup>A</sup>	56,40 ± 0,49 <sup>A</sup>	57,56 ± 1,56 <sup>A</sup>

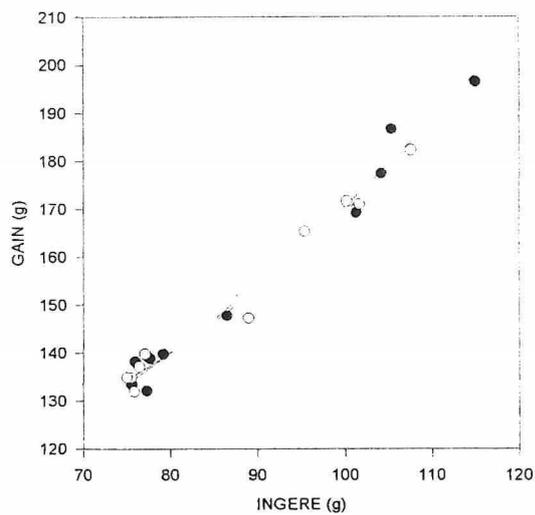
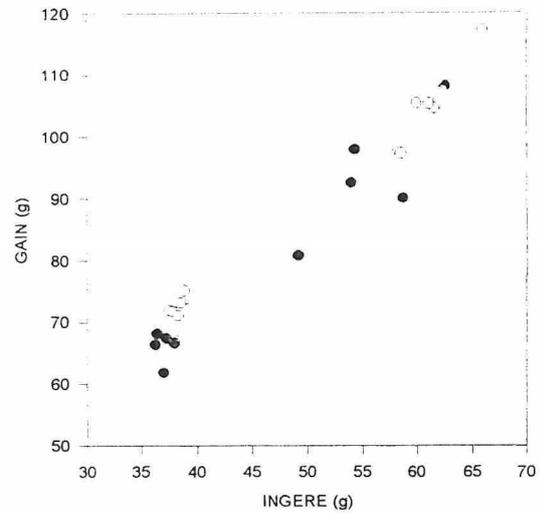
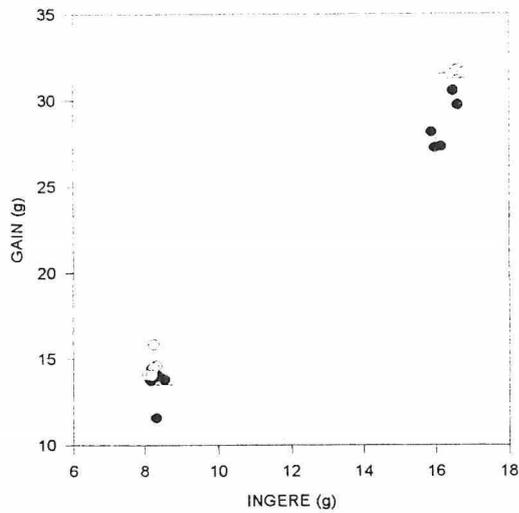
*Les valeurs sur une même ligne portant la même lettre en exposant ne sont pas significativement différentes ( $P < 0,05$ ).  $n=3$  pour chaque heure d'alimentation.*

Aucune différence significative de la rétention énergétique n'a été observée en fonction de l'heure d'alimentation. Des différences apparaissent cependant pour les rétentions protéiques. En effet, les rétentions protéiques chez les truites alimentées à 17 h et 19 h sont identiques mais significativement différentes de celles obtenues chez des truites nourries à 9 h.

En terme de tendance, l'écart entre les alimentations 9 h et 19 h est plus important que l'écart entre 9 h et 17 h.

### III - SILURE GLANE

#### III-1 PERFORMANCES DE CROISSANCE



○ Poisson alimenté à 14 h 30  
● Poisson alimenté à 23 h

Figure V : Représentation schématique de la relation gain/ingéré chez le silure sur une période de douze semaines (a de 0 à 3 semaines, b de 6 à 9 semaines, c de 9 à 12 semaines) en fonction de l'heure d'alimentation.

Remarques préliminaires : Pour les indices de consommation, le gain, la croissance spécifique et l'hétérogénéité intra bac nous n'étudierons que les bacs ayant eu la même ration à savoir ceux nourris à 1,5 % de leur poids initial.

Lors des pesées intermédiaires, 3 et 6 semaines après le début de l'expérience, les poissons alimentés de jour ont présenté des gains plus importants que les poissons alimentés de nuit (FigureV ab).

Aucune différence significative en fonction de l'heure d'alimentation n'a par contre été constaté en ce qui concerne le gain, l'indice de consommation, l'hétérogénéité intra-bacs et l'ingéré. Les indices de consommation sont proches de 0,56 pour tous les poissons étudiés.

Concernant l'hétérogénéité intra-bacs, celle ci est assez forte, comparativement aux résultats obtenus chez la truite. Elle est en moyenne de 2,32 pour les poissons nourris de jour et de 2,05 pour ceux nourris de nuit (Tableau VI). L'homogénéité des résultats se traduit par une croissance identique entre le jour et la nuit au regard de tous les bacs (FigureV c).

Tableau VI : performances de croissances de silures alimentés à 1,5 % de leur biomasse, pour deux horaires d'alimentation, 14 h 30 et 23 h..

	23 h (1,5 %)	14 h 30 (1,5 %)
Ingérés (g)	771,62 ± 14,33 <sup>A</sup>	759,99 ± 8,14 <sup>A</sup>
Gain de poids (g)	1 364,34 ± 34,57 <sup>A</sup>	1 356,84 ± 29,14 <sup>A</sup>
IC	0,57 ± 0,01 <sup>A</sup>	0,56 ± 0,01 <sup>A</sup>
CVF/CVI	2,65 ± 0,89 <sup>A</sup>	2,43 ± 0,49 <sup>A</sup>

*Les valeurs sur une même ligne portant la même lettre en exposant ne sont pas significativement différentes (P < 0,05). n=5 pour chaque heure d'alimentation.*

### III-2 COMPOSITIONS CORPORELLES

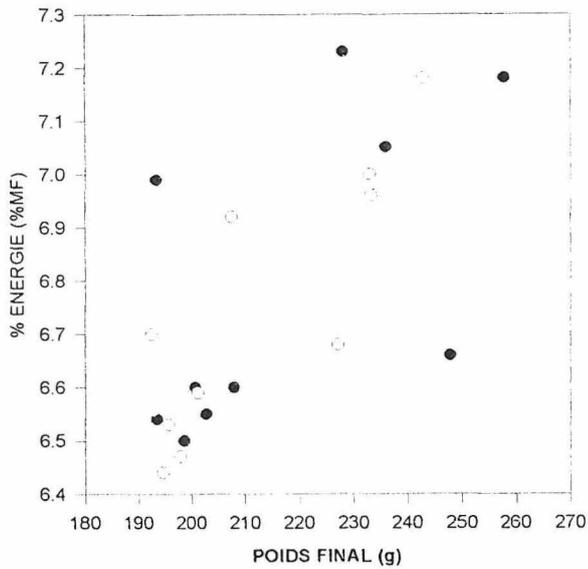


Figure a

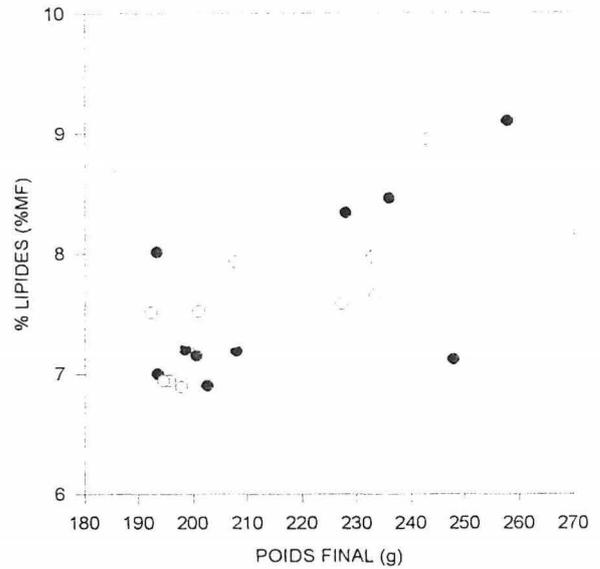


Figure b

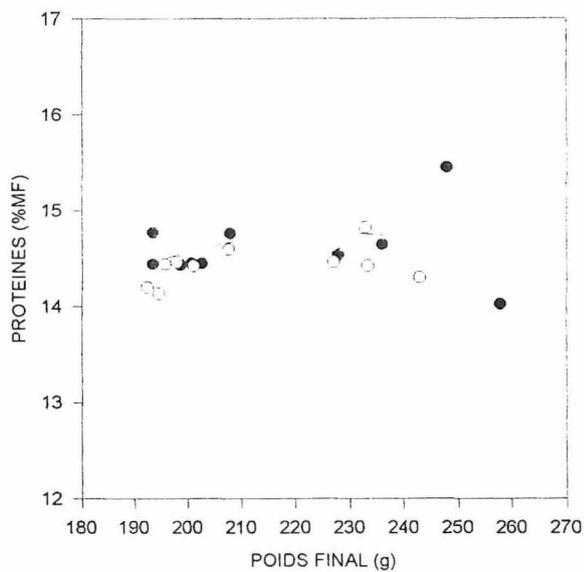


Figure c

○ Poissons alimentés à 14 h 30  
 ● Poissons alimentés à 23 h

Figure VI : Représentation graphique des compositions corporelles (énergie (a), lipides (b), protéines (c)) en fonction du poids final, de silures alimentés à deux horaires différents : 14 h 30 et 23 h.

Statistiquement, aucun effet de l'heure d'alimentation en fonction du poids final n'a pu être mis en évidence pour les compositions corporelles en protéines, lipides et énergie. Sur les 20 bacs étudiés, les valeurs moyennes (en % MF) sont de 7 pour l'énergie, de 8 pour les lipides et 14,5 pour les protéines.

### III-3 DIGESTIBILITE

Tableau VIII : Digestibilités (%) chez des silures alimentés à 1,5 % de leur biomasse, à deux horaires différents : 14 h 30 et 23 h

	14 h 30	23 h
Digestibilité MS	88,51 ± 0,41 <sup>^</sup>	88,73 ± 0,21 <sup>^</sup>
Digestibilité protéines	95,86 ± 0,30 <sup>^</sup>	95,91 ± 0,29 <sup>^</sup>
Digestibilité lipides	98,79 ± 0,04 <sup>^</sup>	98,78 ± 0,01 <sup>^</sup>
Digestibilité énergie	93,15 ± 0,28 <sup>^</sup>	93,32 ± 0,17 <sup>^</sup>

*Les valeurs sur une même ligne portant la même lettre en exposant ne sont pas significativement différentes (P < 0,05). n=5 pour chaque heure d'alimentation.*

Aucune différence de digestibilité en fonction de l'heure d'alimentation n'a pu être observée. Il est cependant à noter que les valeurs obtenues sont élevées : la digestibilité se situe entre 95,70 % et 96,10 % pour les protéines, entre 98,76 % et 98,84 % pour les lipides, et entre 92,83 % et 93,50 % pour l'énergie (Tableau VIII).

### III-4 TAUX DE RETENTION

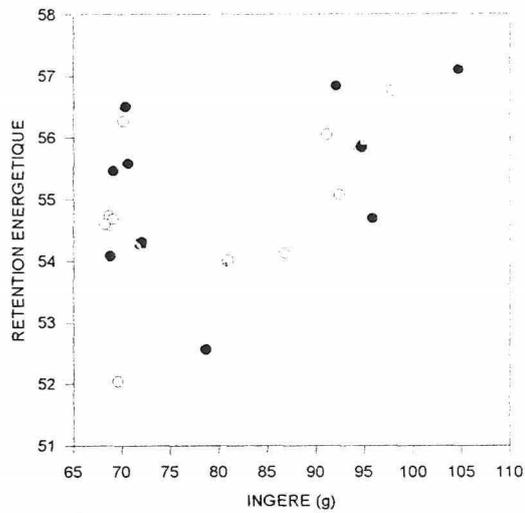


Figure a

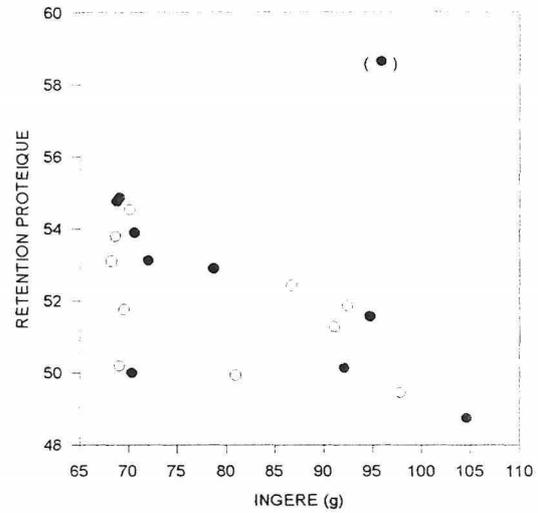


Figure b

○ Poissons alimentés à 14 h 30

● Poissons alimentés à 23 h

Figure VII : Représentation graphique des rétentions énergétiques (Figure a) et protéiques (Figure b) en fonction de l'ingéré chez des silures alimentés à 14 h 30 et 23 h.

Aucun effet de l'heure d'alimentation sur les rétentions protéiques et énergétiques n'a pu être mis en évidence chez le silure (Figure VII).

## **3<sup>eme</sup> PARTIE : DISCUSSION**

---

### **I - LA TRUITE ARC-EN-CIEL**

#### **I-1 PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES**

Notre étude effectuée sur des truites ayant ingéré la même quantité d'aliment n'a permis de démontrer aucune différence significative des paramètres zootechniques en fonction de l'heure d'alimentation.

De précédents travaux effectués sur des truites alimentées en restriction (0,8 % du poids initial), à l'aube et à minuit, n'ont également montré aucun effet de l'heure d'alimentation sur les performances de croissance (19). Les auteurs ont suggéré que ces résultats pourraient être dus au taux d'alimentation restreint utilisé, ce qui ne peut cependant s'appliquer dans le cadre de notre expérience.

D'autres études (9, 20) testant également une alimentation restrictive (0,9 % du poids initial) et une alimentation à 1,5 % du poids initial, à l'aube et à minuit, ont par ailleurs montré une amélioration des performances de croissance pour des truites alimentées à l'aube.

Ces résultats contradictoires avec les nôtres restent à comprendre. Il est cependant à noter que l'heure d'alimentation nocturne utilisée dans notre expérience était située 1h après l'extinction de la lumière et non en milieu de nuit, ce qui pourrait en partie expliquer ces différences.

#### **II-2 COMPOSITIONS CORPORELLES-UTILISATION DES NUTRIMENTS**

Seule, la composition corporelle en protéines, la digestibilité et la rétention de ce nutriment ont été affectées par l'heure d'alimentation. Le pourcentage de protéines corporelles, la digestibilité protéique et la rétention protéique se sont avérés statistiquement inférieurs chez les truites nourries à 9 h, comparativement à celles alimentées à 17 h ou 19 h.

Des études précédentes sur la truite arc-en-ciel (21, 9), testant une alimentation aube/minuit, ont montré des résultats identiques aux nôtres concernant les compositions corporelles. Cependant pour les rétentions protéiques, ces études montrent une rétention

protéique plus importante pour des truites alimentées à l'aube, ce qui ne va pas dans le sens de nos résultats. La truite s'alimentant préférentiellement durant la phase diurne, les auteurs expliquent la rétention protéique plus importante chez les poissons nourris à l'aube par une utilisation optimale des nutriments lorsque le poisson est alimenté en phase avec son rythme\* alimentaire naturel. Cependant, ces études ont testé un horaire nocturne différent du notre, et des expériences complémentaires s'avèrent nécessaires afin de savoir si l'heure exacte des repas, au cours de la nuit, peut influencer différemment la rétention protéique chez cette espèce.

En ce qui concerne nos résultats, le caractère diurne de la truite implique que celle-ci doit faire face à une plus grande dépense énergétique, pour ses activités locomotrices et alimentaires, dès le début de la photophase\*. Or, les protéines représentant la principale source énergétique chez les poissons, il peut donc sembler logique d'observer un pourcentage de protéines corporelles, ainsi qu'une rétention protéique, inférieurs chez les truites nourries en début de phase diurne plutôt qu'en début de scotophase\*. Durant la phase nocturne, c'est-à-dire la phase d'inactivité chez la truite, la faible dépense énergétique entraînerait une meilleure rétention des protéines qui pourraient alors être utilisées plus spécifiquement pour la croissance.

## **II - LE SILURE GLANE**

### **II-2 PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES**

Au cours de la présente étude, aucun effet de l'heure d'alimentation n'a été constaté sur la croissance et les paramètres zootechniques des silures, et ce, quelle que soit la quantité d'aliment ingérée. Néanmoins, les pesées, effectuées trois et six semaines après le début de l'expérience, ont mis en évidence un gain de poids supérieur chez les silures nourris de jour. Cette différence n'était par contre plus significative lors des pesées 9 et 12 semaines après le début de l'expérience, ce qui reste à élucider. Il est par ailleurs à noter que les performances zootechniques étaient bonnes, hormis l'hétérogénéité intra-bac qui était relativement importante, quelle que soit l'heure d'alimentation et la ration ingérée. En effet, au sein d'un même bac en fin d'expérience nous avons pu observer une différence de poids de 200 g entre deux poissons.

Chez le siluriforme *Heterobranchus longifilis* (4, 24), chez l'*Hoplosternum littorale* (13), ainsi que chez le silure glane (7, 12) de précédents travaux ont montré une meilleure croissance chez des poissons alimentés au cours de la phase nocturne, comparativement à ceux nourris de jour.

Ces résultats contradictoires pourraient s'expliquer par un problème de densité d'élevage. En effet, chez *Heterobranchus longifilis*, (6) des poissons gardés à faible densité ( $3,4 \text{ kg/m}^3$ ) présentaient une meilleure croissance quand ils étaient nourris en milieu de photophase\* plutôt qu'en milieu de scotophase\*. Lorsque la densité était augmentée ( $13,6 \text{ kg/m}^3$ ), les performances de croissance se sont par contre avérées semblables, quel que soit l'horaire d'alimentation.

Or, la croissance du silure glane étant très rapide, il est possible que l'augmentation de la densité intra-bac tout au long de notre expérience (les poids moyens initiaux par bacs étaient de 60 g pour atteindre 200 g en fin d'expérience) ait pu masquer l'effet de l'heure des repas.

La forte hétérogénéité pourrait résulter du mode d'alimentation utilisé. En effet, une alimentation par tapis peut être à l'origine d'un phénomène de territorialité dû à la distribution de l'aliment toujours en un même point (8). Ceci peut entraîner une zonation spatiale du territoire avec la mise en place d'une hiérarchie pour l'accès à l'aliment. Cependant, une alimentation *ad libitum* devrait réduire ce phénomène ce qui ne semble pas être le cas dans notre expérience. Des travaux complémentaires s'avèrent nécessaires afin d'élucider ce problème.

Par ailleurs, avec le type de distribution utilisé l'aliment est proposé au poisson à heure fixe et ce dernier ne cherche plus activement sa nourriture selon son rythme\* naturel. Cela pourrait avoir pour conséquence de désynchroniser le poisson et de masquer son rythme\* préférentiellement nocturne. Or, si le poisson ne présente plus de rythme\* naturel d'alimentation (nocturne ou diurne), il est probable que l'heure d'alimentation n'a plus aucun effet sur sa performance de croissance. Ces deux dernières hypothèses posent donc le problème du mode de distribution de l'aliment. C'est pourquoi il serait peut être préférable, dans le cadre d'expériences sur la croissance, d'utiliser un système de dispersion de l'aliment pour éviter toute territorialité spatiale.

Au cours de notre expérience, nous avons également constaté de fortes variations de la prise alimentaire journalière pour les bacs alimentés tant à 1,5 % de leur biomasse initiale qu'*ad libitum*. Bien que le but de notre étude n'était pas d'étudier le

comportement face à la prise alimentaire, nous pouvons nous poser la question de l'origine de ces variations. D'après nos observations, ces variations étaient cycliques et calées sur le cycle\* lunaire. Or, les bassins n'étant pas à l'abri de la lumière extérieure il est possible que les poissons alimentés à 23 h aient été perturbés par la lumière lunaire. Cette hypothèse ne peut cependant expliquer les variations de prise alimentaire chez les poissons nourris de jour. Une autre hypothèse serait de considérer l'existence d'un rythme\* interne de la prise alimentaire synchronisé par le cycle\* lunaire. Dans un tel cas, l'appétit du poisson varierait tout au long du cycle\* lunaire. Un rythme\* de croissance lié au cycle\* lunaire a d'ailleurs été mis en évidence chez la truite arc-en-ciel (29, 27).

## II-1 COMPOSITIONS CORPORELLES-UTILISATION DES NUTRIMENTS

Au cours de notre expérience, les compositions corporelles ainsi que la digestibilité et les rétentions de nutriments n'ont pas été affectées par l'heure d'alimentation.

Chez le silure africain, *Heterobranchus longifilis*, (24) une accumulation plus importante de lipides a par contre été précédemment constatée chez des poissons alimentés de jour par rapport à des poissons alimentés de nuit. Chez le poisson chat, *Ictalurus punctatus*, (30) une accumulation plus importante de tissus adipeux (36 %) a également été mise en évidence chez des poissons alimentés en début de phase diurne comparativement à ceux nourris à l'extinction des lumières.

Cependant, dans ces expériences, la quantité réelle ingérée n'a pas été déterminée et il est donc possible que l'accumulation plus importante de lipides observée résulte d'une différence au niveau de l'ingéré et non pas d'un effet direct de l'heure d'alimentation.

Quoiqu'il en soit nos résultats obtenus pour le silure ne nous permettent pas de conclure à une absence de l'effet de l'heure d'alimentation sur la performance de croissance et l'utilisation des nutriments chez cette espèce. En effet, un tel effet ne peut apparaître que si l'espèce présente un rythme\* d'alimentation strictement associé à une phase particulière du nyctémère\* (diurne ou nocturne).

Dans le cas d'une espèce arythmique ou passant spontanément d'un comportement diurne à un comportement nocturne, il est peu probable que l'heure d'alimentation

puisse avoir un effet sur sa performance de croissance et sur l'utilisation des nutriments. Or, bien que le silure glane soit considéré comme étant une espèce s'alimentant

préférentiellement de nuit, une expérience menée en parallèle à la notre, sur des poissons issus du même lot, a mis en évidence un comportement alimentaire arythmique durant plusieurs semaines. Au bout de 4 mois d'expérience, les poissons ont cependant montré un rythme\* nocturne d'alimentation, chose attendue pour cette espèce. Cette désynchronisation observée en début d'expérience pourrait s'expliquer par un stress dû aux conditions expérimentales ou à d'autres facteurs d'origine inconnue. Il est plausible de penser que les poissons utilisés, dans le cadre de notre expérience, étaient eux mêmes arythmiques ce qui pourrait avoir masqué l'effet de l'heure d'alimentation sur leurs performances de croissance et sur l'utilisation des nutriments.

Ces résultats suggèrent que le silure glane ne présente pas un rythme\* strictement nocturne et laissent supposer que l'heure d'alimentation n'est peut être pas un facteur primordial à prendre en considération dans le cadre d'une pisciculture. Des expériences complémentaires sur des poissons présentant un rythme\* clairement nocturne seraient cependant nécessaires afin de répondre de façon définitive à la question.

## CONCLUSION

---

Les résultats obtenus chez la truite au cours de notre expérience et lors de précédents travaux confirment un effet de l'heure d'alimentation sur la prise alimentaire, la performance de croissance et l'utilisation du nutriment.

Les résultats obtenus pour une alimentation une heure après le début de la phase nocturne (présente étude) ou en milieu de scotophase\* (données bibliographiques) soulèvent certaines questions. La question principale étant de savoir si l'effet observé résulte d'une réponse passive à la photopériode. Dans le cas de cette hypothèse, un poisson diurne alimenté de nuit devrait présenter une moins bonne performance de croissance qu'un poisson nourri de jour.

Une autre hypothèse, suggérée par nos résultats consisterait à penser que l'effet de l'heure d'alimentation suit une courbe de type sinusoïdale. Dans ce cas, les performances de croissance varieraient non seulement en fonction de leur caractère diurne ou nocturne mais également en fonction de l'heure même à laquelle le repas est distribué. Des expériences complémentaires étudiant plusieurs heures d'alimentation, tout au long du nycthémère\* permettraient de répondre à cette question.

Pour le silure les résultats obtenus au cours de notre expérience sont en contradiction avec la littérature qui montre un effet de l'heure sur la performance de croissance. Nos résultats semblent donc remettre en cause le comportement strictement nocturne du silure. Mais, des expériences complémentaires, sur des poissons présentant un rythme\* clairement nocturne, seraient nécessaires afin de répondre à cette question. Certains résultats suggèrent néanmoins que le comportement alimentaire naturel du silure est moins rigide que celui de la truite et donc que l'heure d'alimentation pourrait, chez le silure glane, être un facteur moins important dans le cadre d'un élevage en pisciculture.

Afin de confirmer ces hypothèses, tant pour la truite arc-en-ciel que pour le silure glane, des expériences complémentaires, testant un plus grand nombre d'heures sur l'ensemble du nycthémère\*, seraient nécessaires afin de répondre aux questions que nous nous posons.

## BIBLIOGRAPHIE

---

- 1 ALI M. A., BOUJARD T., GERKEMA M. P., 1992. Terminology in biological rhythms. *In* : Rhythms in fishes, ALI M. A (Ed), Proc. NATO Advanced Study Institute, Montreal (Canada). NATO ASI Series A : Life Sciences, **236** : 7-10.
- 2 ANONYME, 1997. Pêches : production mondiale record dopé par l'aquaculture (en ligne). Adresse URL : [http : //faov02.fao.org :70/0Gopher\\_root%3a\[faopressrel.pressfre.pr1997flprfr9710.TXT](http://faov02.fao.org:70/0Gopher_root%3a[faopressrel.pressfre.pr1997flprfr9710.TXT). (consulté en ligne le 24 juillet 1998).
- 3 ANONYME, 1997. Références aquacoles. *Aqua Revue*, Hors série : 98 p.
- 4 AVIT J.- P., LUQUET P., 1995. Consommation volontaire d'aliments en situation d'alternance de lumière et d'obscurité chez *Heterobranchus longifilis*. *Aquat. Living Resour.*, **8** : 385-387.
- 5 BARAS E., MELARD C., GRIGNARD J. C., THOREAU X., 1996. Comparison of food conversion by *Piratinga Piaractus brachypomus* under Different Feeding Times. *Prog. Fish-cult.*, **58** (1) : 59-61.
- 6 BARAS E., TISSIER F., WESTERLOPPE L., MELARD C., PHILIPPART J.- C., 1998. Effect of meal timing and day length on the growth performance of juvenil vundu catfish *Heterobranchus longifilis* (Pisces, clariidae): feeding in darkness alleviates density-dependent growth. Manuscrit soumis à *Aquatic Living Resources*.
- 7 BOUJARD T., 1995. Diel rhythms of feeding activity in the European catfish, *Silurus glanis*. *Physiol. Behav.*, **58** (4) : 641-645.

- 8 BOUJARD T., 1996. Modalités d'alimentation et variabilité interindividuelle de la croissance. *In* : Recueil des communications. Journées INRA-IFREMER Nutrition des Poissons, Saint Pée sur-Nivelle (Fr), 1996/02/21-22. Station d'hydrobiologie, Unité mixte INRA-IFREMER Nutrition des Poissons, Saint Pée sur-Nivelle (Fr), 4p.
- 9 BOUJARD T., GELINEAU A., CORRAZE G., 1995. Time of single daily meal influences growth performance in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (walbaum). *Aq. Res.*, **26** : 341-349.
- 10 BOUJARD T., KEITH P., LUQUET P., 1990. Diel cycle in *Hoplosternum littorale* (Teleostei) : evidence for synchronisation of locomotor, air breathing and feeding activity by circadian alternation of light and dark. *J. Fish Biol.*, **36** : 133-140.
- 11 BOUJARD T., LEATHERLAND J. F., 1992. Circadian rhythms and feeding time in fishes. *Env. Biol. Fish.*, **35** (2) :109-131.
- 12 BOUJARD T., LUQUET P., 1996. Rythmes alimentaires et alimentation chez les Siluroidei. *Aquat. Living Resour.*, **9** (Hors série) : 113-120.
- 13 BOUJARD T., MOREAU Y., LUQUET P., 1991. Entrainment of the circadian rhythm of food demand by infradian cycles of light-dark alternation in *Hoplosternum littorale* (Teleostei). *Aquat. Living Resour.*, **4** : 221-225.
- 14 BOUJARD T., MOREAU Y., LUQUET P., 1992. Diel cycles in *Hoplosternum littorale* (Teleostei) : entrainment of feeding activity by low intensity colored light. *Env. Biol. Fish.* **35** : 301-309.
- 15 CHOUBERT G., DE LA NOUE J., LUQUET P., 1983. Un nouveau collecteur automatique de fèces de poissons. *Bull. Fr. Pis.*, **288** : 68-72.

- 16 CUENCA E. M., DE LA HIGUERA M., 1994. Evidence for an endogenous circadian rhythm of feeding in the trout (*O. mykiss*). *Biol. Rhy. Res.*, **25** : 336-337.
- 17 DARNELL R. M., MEIROTTO R. R., 1965. Diurnal periodicity in the black Bullhead, *Ictalurus melas* (Rafinesque). *Trans. Am. Fish. Soc.*, **94** : 1-8.
- 18 ERIKSON L.-O., VAN VEEN T., 1980. Circadian rhythms in the brown bullhead, *Ictalurus nebulosus* (Teleostei). Evidence for an endogenous rhythm in feeding, locomotor, and reaction time behaviour. *Can. J. Zool.*, **58** : 1 899-1 907.
- 19 GELINEAU A., 1992. Effets de l'heure du repas sur l'utilisation d'un aliment distribué en quantité restreinte chez la truite arc-en-ciel *Oncorhynchus mykiss* WALBAUM. Rapport de MST Productions Animales, 29 p.
- 20 GELINEAU A., 1993. Effets de l'heure de distribution d'un seul repas par jour sur les performances de croissance et la composition corporelle de la truite arc-en-ciel *Oncorhynchus mykiss*, W. Rapport de MST Productions Animales, 27 p.
- 21 GELINEAU A., MAMBRINI M., LEATHERLAND J. F., BOUJARD T., 1996. Effect of feeding time on hepatic nucleic acid, plasma T3, T4, and GH concentrations in rainbow trout. *Physiol. Behav.*, **59** : 1 061-1 067.
- 22 HOAR W. S., 1942. Diurnal variations in feeding activity of young salmon and trout. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **6** : 90-101.
- 23 JORGENSEN E. H., JOBLING M., 1992. Feeding behaviour and effect of feeding regime on growth of Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture*, **101** : 135-146.

- 24 KERDCHUEN N., LEGENDRE M., 1991. Influence de la fréquence et de la période de nourrissage sur la croissance et l'efficacité alimentaire d'un silure africain, *Heterobranchus Longifilis* (Teleostei, claridae). *Aquat. Living Resourc.*, **4** (4) : 241-248.
- 25 La salmoniculture française, 1995. *La Pisc. Fr.*, **119** : n° spécial.
- 26 LANDLESS P. J., 1976. Demand-feeding behaviour of rainbow trout. *Aquaculture*, **7** : 241-248.
- 27 LEATHERLAND J. F., FARBRIDGE K. J., BOUJARD T., 1992. Lunar and semi-lunar rhythms in fishes. *In* : Rhythms in fishes, ALI M. A (Ed), Proc. NATO Advanced Study Institute, Montreal (Canada). NATO ASI Series A : Life Sciences, **236** : 83-107.
- 28 MAYNARD L. A., LOOSLI J. K., 1969. Animal nutrition. 6<sup>th</sup> Ed. Mc Graw-Hill, NY, 616 p.
- 29 NOËL O., LE BAIL P.- Y., 1997. Does cyclicality of growth rate in rainbow trout exist ? *J. of Fish Biol.*, **51** : 634-642.
- 30 NOESKE-HALLIN T. A., SPIELER R. E., PARKER N. C., SUTTLE M. A., 1985. Feeding time differentially affects fattening and growth of channel catfish. *J. Nutr.*, **115** : 1 228-1 232.
- 31 NOESKE-HALLIN T. A., SPIELER R. F., 1984. Circadian feeding time affects growth of fish. *Trans. Am. Fish. Soc.*, **113** : 540-544.
- 32 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.
- 33 PROTEAU J.- P., SCHLUMBERGER O., ALBIGES C., 1993. Coïncidences..., mais. *Aqua revue*, **47** : 18-22.

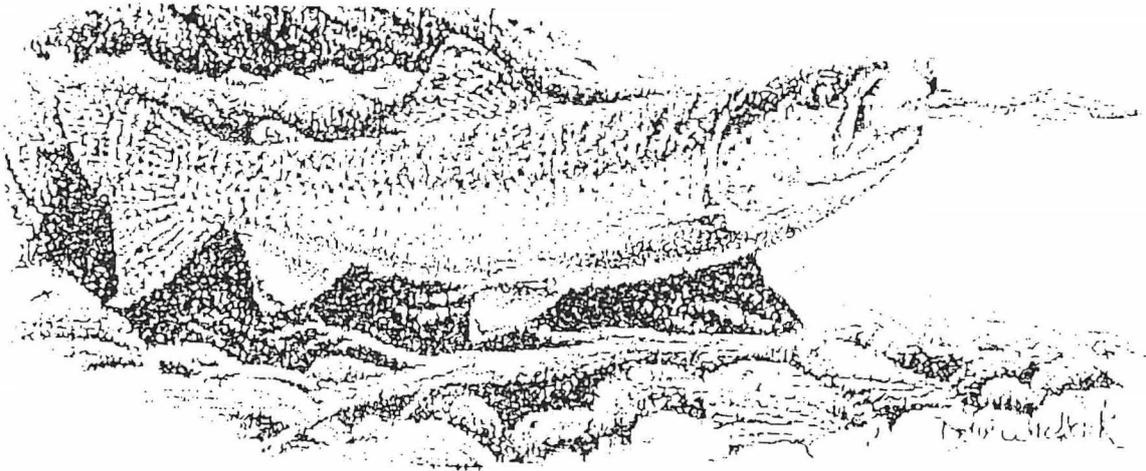
- 34 REDDY P. K., LEATHERLAND J. F., KHAN M. N., BOUJARD T., 1994. Effect of the daily meal time on the growth of rainbow trout fed different ration levels. *Aq. Int.*, **2** : 165-179.
- 35 SANCHEZ-VAZQUEZ F. J., TABATA M., 1998. Circadian rhythms of demand-feeding and locomotor activity in rainbow trout. *J. of Fish Biol.*, **52** : 255-267.
- 36 SUNDARARAJ B. I., NATH P., HALBERG F., 1982. Circadian meal timing in relation to lighting schedule optimizes catfish body weight gain. *J. Nutr.*, **112** : 1 085-1 096.
- 37 ZOCCARATO I., BOCCIGNONE M., PALMEGIANO G. B., ANSELMINO M., BENATTI G., LEVERONI CALVI S., 1991. Size and meal timing : effect on body composition in rainbow trout. *In* : Fish nutrition in practice, Biarritz (France), june 24-27, Ed. INRA, Paris 1993 (les colloques, n°61) : 297-300.

# ANNEXES

## ANNEXE 1

---

### LA TRUITE ARC-EN-CIEL



*Oncorhynchus mykiss*

(famille des salmonidés)

#### 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.

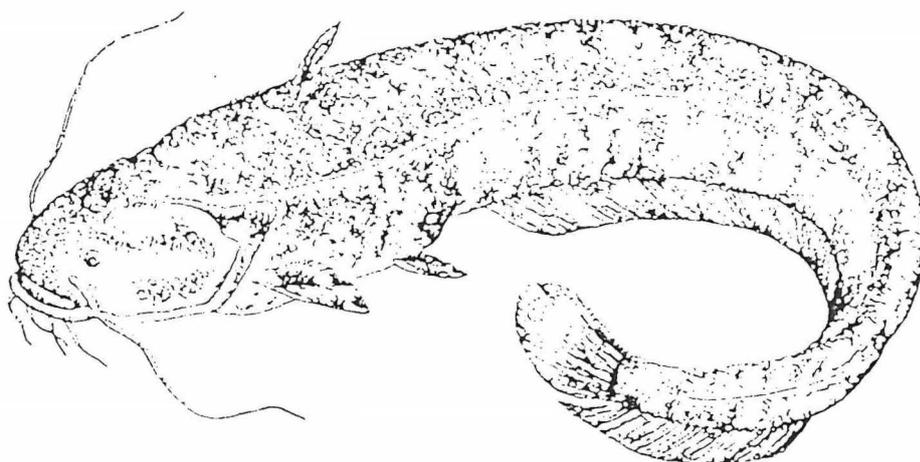
Taille adulte de 30 à 40 cm pour moins de un kg

Reproduction mi-octobre\_mi-novembre.

## ANNEXE 2

---

### LE SILURE GLANE



*Silurus glanis*

(famille des siluridés)

#### ORIGINE

Europe centrale et Russie : Danube et grands fleuves Sibériens.  
Introduit en Alsace en 1860-1885 à la pisciculture de Huningue.

#### BIOTOPE

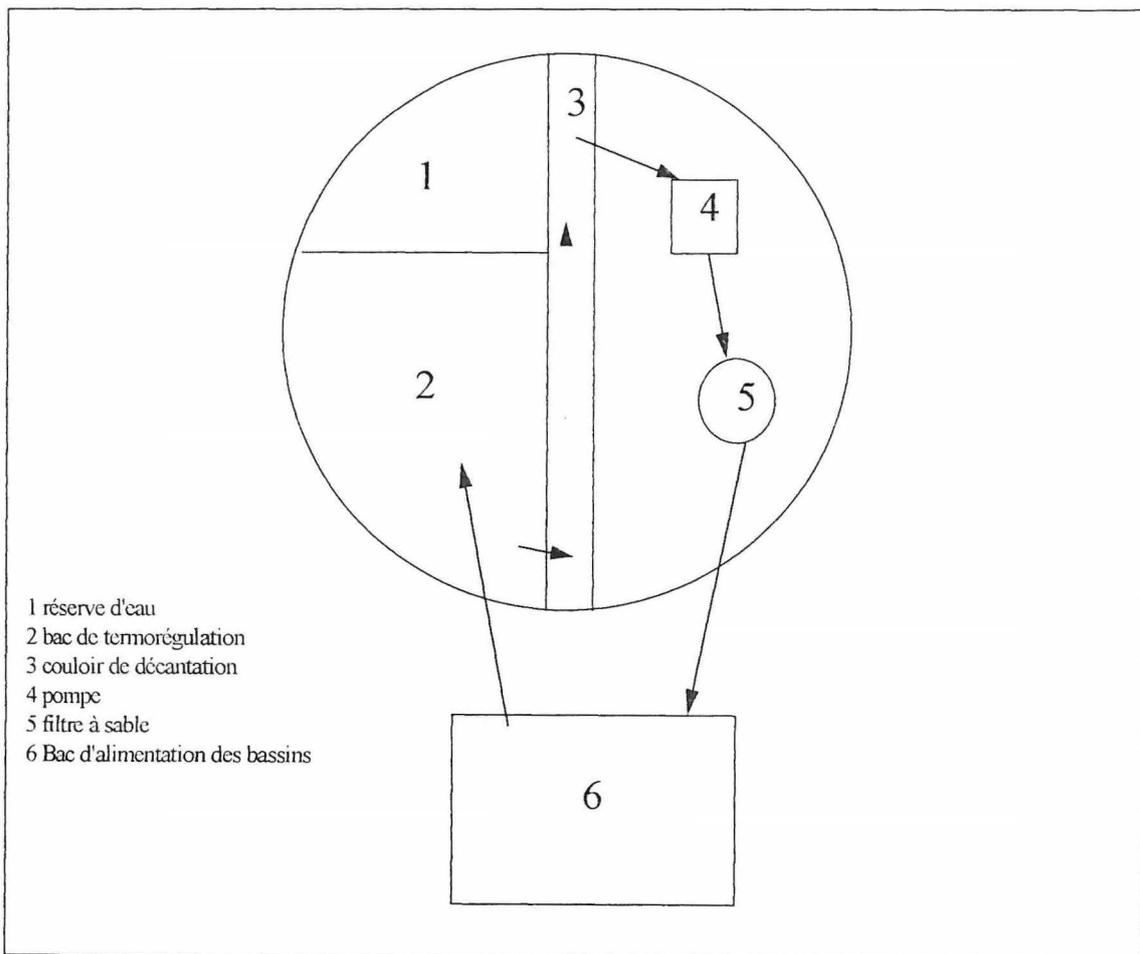
Cours d'eau calmes et lacs a fond vaseux.  
Eaux chaudes 25°C Eaux froides 17°C  
Aire de répartition : Europe centrale et de l'est, Asie du sud-ouest, mer d'Aral.

#### BIOLOGIE

Carnassier : poissons, batraciens.  
Ponte de mai à juillet, incubation de 8 à 10 jours.  
Frai nocturne  
Oeufs, dans un nid de végétaux, protégés par le mâle.  
Sa taille adulte peut atteindre 2,5 m à 3 m.  
Maturité sexuelle : 4-5 ans pour les femelles, 3-4 ans pour les mâles.

## ANNEXE 3

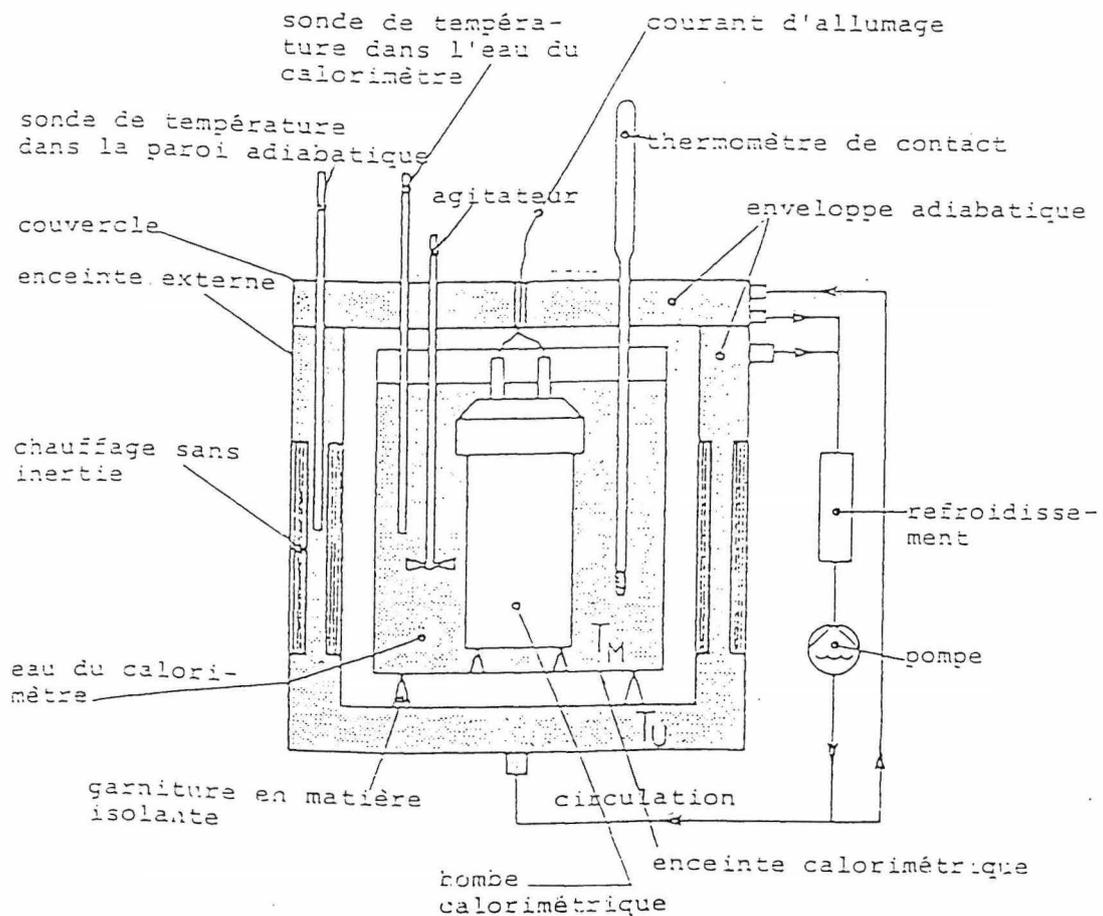
### CIRCUIT FERME



## ANNEXE 4

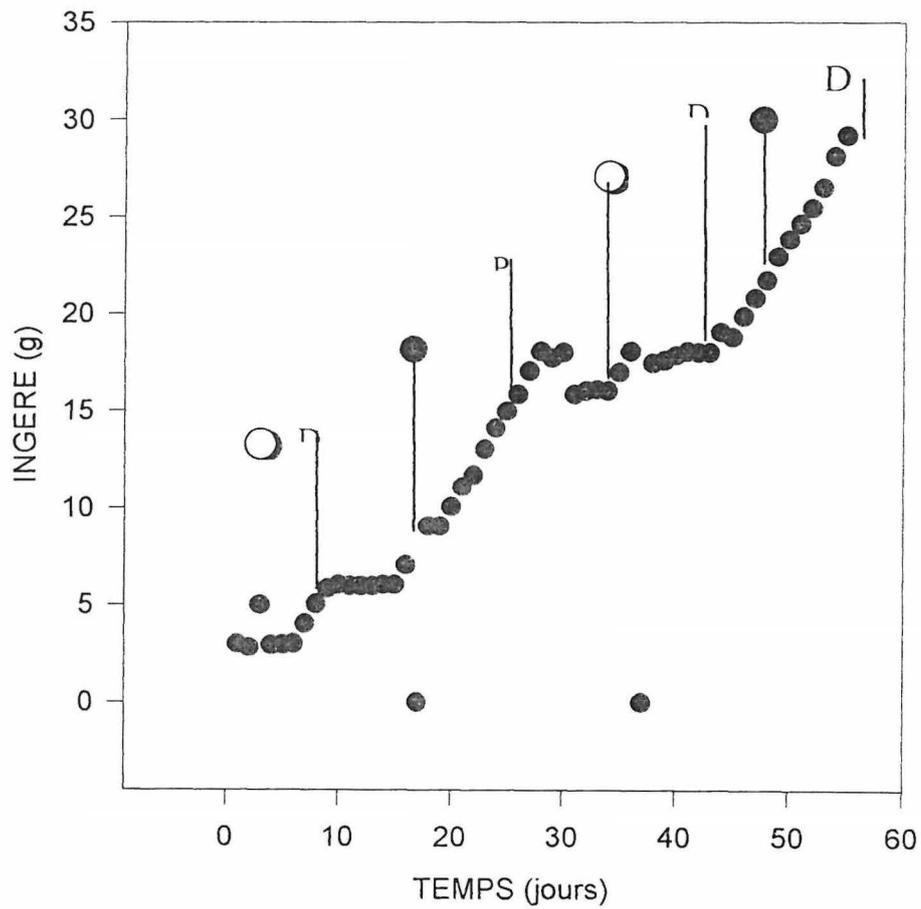
### LE PRINCIPE ADIABATIQUE

Pour conserver la chaleur de combustion et pour que l'influence de l'environnement sur le système de mesure soit le plus faible possible, le récipient d'eau est placé dans une enceinte calorimétrique bien isolée. L'isolation doit éviter les pertes de chaleur et en même temps rendre la mesure indépendante de l'influence de l'environnement.



## ANNEXE 5

Ingéré en fonction du temps chez le silure alimenté à 23 h à 1,5 % de son poids initial



○ Pleine lune

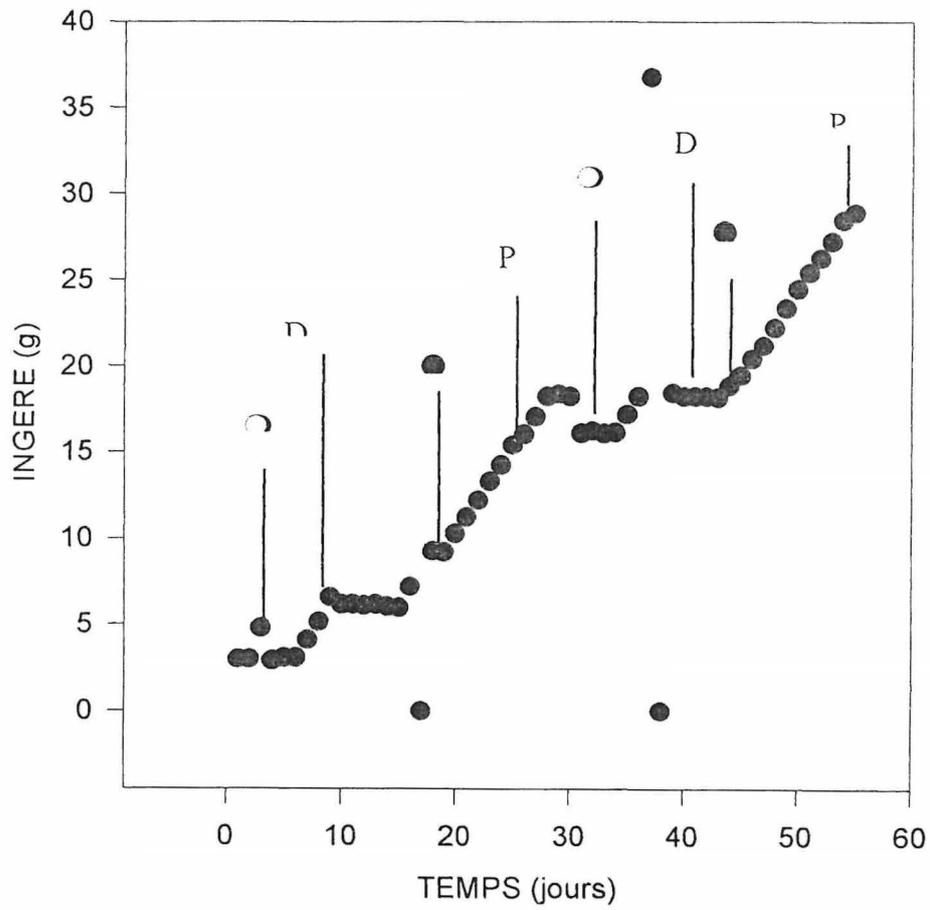
● Pas de lune

P Premier quartier

D Dernier quartier

## ANNEXE 6

Ingré en foction du temps chez le silure alimenté à 14 h 30 à 1,5 % de son poids initial



- Pas de lune
- Pleine lune
- P Premier quartier
- D dernier quartier

## ANNEXE 7

Paramètres zootechniques du silure alimenté à 14 h 30 et 23 h à un taux de rationnement de 1,5 % du poids initial et *Ad libitum*

	Ingéré	Gain	CS	IC	Cvf/Cvi
23 h 1,5 %	756,16	1333,90	1,28	0,57	2,39
23 h 1,5 %	759,82	1381,50	1,31	0,55	1,53
23 h 1,5 %	791,99	1397,00	1,28	0,57	2,23
23 h 1,5 %	773,65	1320,70	1,26	0,59	3,55
23 h 1,5 %	776,48	1388,60	1,29	0,56	3,56
Moy	771,62	1364,34	1,29	0,57	2,65
SE	14,33	34,57	0,02	0,01	0,89
<hr/>					
23 h ad lib	1041,68	1773,80	1,53	0,59	3,99
23 h ad lib	1012,45	1691,70	1,49	0,60	2,47
23 h ad lib	865,16	1476,60	1,36	0,59	3,81
23 h ad lib	1053,49	1866,60	1,54	0,56	2,52
23 h ad lib	1150,61	1964,70	1,58	0,59	2,50
Moy	1024,68	1754,68	1,50	0,58	3,06
SE	103,17	185,94	0,08	0,01	0,77
<hr/>					
14 h 30 ad lib	953,33	1652,90	1,43	0,58	1,51
14 h 30 ad lib	1075,42	1822,50	1,53	0,59	2,02
14 h 30 ad lib	889,56	1472,30	1,36	0,60	2,86
14 h 30 ad lib	1016,21	1709,70	1,46	0,59	2,23
14 h 30 ad lib	1001,24	1715,80	1,46	0,58	2,35
Moy	987,15	1674,64	1,45	0,59	2,19
SE	69,83	128,65	0,06	0,01	0,49
<hr/>					
14 h 30 1,5 %	771,13	1397,30	1,30	0,55	2,36
14 h 30 1,5 %	754,84	1348,90	1,28	0,56	2,24
14 h 30 1,5 %	750,37	1348,80	1,30	0,56	1,75
14 h 30 1,5 %	759,05	1318,80	1,27	0,58	2,85
14 h 30 1,5 %	764,56	1370,40	1,30	0,56	2,95
Moy	759,99	1356,84	1,29	0,56	2,43
SE	8,14	29,14	0,01	0,01	0,49

## ANNEXE 8

Pesées intermédiaires du silure alimenté à 14 h 30 et 23 h à un taux de rationnement de  
1,5 % du poids initial et *Ad libitum*

BACS	PI	P1	P2	PF
1,5 % 23 h	60,14	122,88	210,34	321,80
1,5 % 23 h	60,46	123,88	212,70	328,50
1,5 % 23 h	62,99	121,92	205,75	321,78
1,5 % 23 h	61,37	118,87	200,75	315,20
1,5 % 23 h	61,79	122,67	209,10	324,73
Ad lib 23 h	58,55	148,08	258,07	402,95
Ad lib 23 h	58,83	146,27	253,10	387,56
Ad lib 23 h	60,30	145,27	234,00	344,88
Ad lib 23 h	61,27	149,83	259,83	404,65
Ad lib 23 h	61,30	148,45	276,51	420,51
Ad lib 14 h 30	61,78	151,02	270,64	367,55
Ad lib 14 h 30	60,61	152,45	293,35	400,69
Ad lib 14 h 30	60,42	152,10	261,01	343,68
Ad lib 14 h 30	61,94	151,19	268,97	376,03
Ad lib 14 h 30	61,75	151,09	270,61	377,86
1,5 % 14 h 30	61,40	123,78	222,31	327,57
1,5 % 14 h 30	60,81	123,83	218,22	321,82
1,5 % 14 h 30	59,72	123,58	220,19	325,85
1,5 % 14 h 30	60,53	123,24	217,41	317,86
1,5 % 14 h 30	60,86	126,03	220,18	325,17

PI : Pesée initiale

P1 : Pesée au bout de trois semaines

P2 : Pesée au bout de 9 semaines

PF : Pesée finale (au bout de 12 semaines)

## ANNEXE 9

Compositions corporelles du silure alimenté à 14 h 30 et 23 h à un taux de rationnement de 1,5 % du poids initial et *Ad libitum*

BAC	MS	Energie	Lipides	Protéines
Lot initial	95,32	23,97	19,25	62,03
23 h 1,5 %	96,88	25,68	27,50	57,98
23 h 1,5 %	95,66	25,82	28,58	57,27
23 h 1,5 %	96,22	25,85	27,20	57,00
23 h 1,5 %	97,38	26,32	30,18	54,40
23 h 1,5 %	97,31	26,04	28,20	57,01
MOY	96,69	25,94	28,33	56,73
SE	0,74	0,25	1,17	1,37
23 h ad lib	97,08	26,13	31,35	54,26
23 h ad lib	96,02	27,07	31,25	54,42
23 h ad lib	95,88	25,69	27,99	57,45
23 h ad lib	97,73	25,78	27,54	59,75
23 h ad lib	97,11	26,53	33,63	51,80
MOY	96,76	26,24	30,35	55,53
SE	0,79	0,57	2,55	3,09
14 h 30 ad lib	96,08	26,11	29,65	56,52
14 h 30 ad lib	96,32	26,39	32,89	52,56
14 h 30 ad lib	95,65	26,40	30,22	55,62
14 h 30 ad lib	97,56	26,27	29,90	55,62
14 h 30 ad lib	96,42	26,71	29,35	55,30
MOY	96,41	26,38	30,40	55,12
SE	0,71	0,22	1,43	1,50
14 h 30 1,5 %	96,23	26,10	29,79	57,07
14 h 30 1,5 %	97,49	25,76	27,38	57,00
14 h 30 1,5 %	96,89	26,14	28,17	57,31
14 h 30 1,5 %	96,42	25,77	28,87	54,60
14 h 30 1,5 %	97,73	25,46	27,14	56,92
MOY	96,95	25,85	28,27	56,58
SE	0,65	0,28	1,09	1,12

Ces valeurs sont rapportées à la matière sèche.