



THESIS / THÈSE

MASTER EN SCIENCES BIOLOGIQUES DES ORGANISMES ET ÉCOLOGIE

**Contribution à l'étude de l'ingéré et des rythmes alimentaires de la perche commune, *Perca fluviatilis* L., élevée en cages flottantes
mise au point méthodologique**

Collignon, Yannick

Award date:
1998

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

FACULTES UNIVERSITAIRES
NOTRE-DAME DE LA PAIX



NAMUR

Faculté des Sciences

Contribution à l'étude de l'ingéré et des rythmes alimentaires de la perche commune, *Perca fluviatilis* L., élevée en cages flottantes.

Mise au point méthodologique

**Mémoire présenté pour l'obtention du grade
de Licencié en Sciences
biologiques**

Collignon Yanick
Septembre 1998

Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix
Faculté des Sciences
Rue de Bruxelles 61 - 5000 Namur
Tél. 081/72.41.11. - télex 59222 Facnam-b - télex 081/72.44.20

Abstract :

**Contribution à l'étude de l'ingéré et des rythmes alimentaires de la perche commune, *Perca fluviatilis* L., élevée en cages flottantes.
Mise au point méthodologique.**

Dans le cadre des conventions de recherche (3063 et 3066) établies entre le Ministère de la Région Wallonne (Direction Générale de la Technologie, de la Recherche et de l'Energie), les Facultés Universitaires N.D. de la Paix (Unités de Recherches en Biologie des Organismes) et de l'Université de Liège (Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Aquaculture), nous avons réalisé une étude sur l'influence des facteurs environnementaux sur l'ingéré, la croissance et l'activité alimentaire chez la perche commune, *Perca fluviatilis* L., élevée en cages flottantes. Cette étude s'est réalisée au lac de la Platte-Taille (Cerfontaine) où l'étude de l'élevage expérimental de ce poisson se réalise depuis 1997. Nous avons pour cela utilisé deux types de technique: la méthode des rayons X et l'utilisation d'antennes destinées à enregistrer l'activité du poisson dans la cage.

La technique des rayons X est facilement adaptable à l'étude du système cage. Les résultats de l'expérience d'ingéré montrent une forte variabilité journalière de l'ingéré non reliée aux facteurs environnementaux. L'ingéré et la croissance des poissons ont sans doute été fortement influencés par les conditions météorologiques et les pathologies. Nous avons également pu observer l'existence d'une voie de nourrissage naturelle préférentiellement utilisée par certains individus.

L'étude de l'activité a nécessité une période de mise au point. Elle a été jugée facilement adaptable aux cages, moyennant quelques précautions. Elle nous a permis d'observer un rythme journalier d'activité alimentaire de type bimodal, avec un pic d'activité en début et en fin de journée. Elle nous a également permis de soupçonner l'existence, dans les cages, d'une hiérarchie alimentaire basée sur la compétition entre des individus de classes de tailles proches.

Mémoire de licence en Sciences biologiques
Septembre 1998
Promoteur : **Prof. J.-C. MICHA**
Co-promoteur : **Dr P. KESTEMONT**

Au terme de ce mémoire, je tiens à remercier le Professeur Jean-Claude Micha pour m'avoir accueilli dans son laboratoire.

Merci à monsieur le Docteur Patrick Kestemont,

Un grand merci à monsieur le Docteur Etienne Baras, pour son attention, son savoir et sa patience.

A Delphine, Patricia, Marc, Mike, Laurent, François et Gino, ainsi que les autres membres du laboratoire. Qu'ils sachent, qu'ils m'ont beaucoup appris.

Merci à Murielle, Thierry, Pierre, Clint et André. Sans eux, rien ne serait comme maintenant

A Caro, Fanny, Denis, David et Yannick pour leur bonne humeur, leur aide, et leur compréhension

Bonjour à Denis le pêcheur et Eric le batelier

A Fabrice, en souvenir.....

Je réserve mes remerciements les plus tendres et les plus attentionnés à Delphine.....

Merci à mes parents et amis. A bientôt

Merci a tous.

A tout ce que j'ai cassé....

Table des matières.

Introduction.....	1
-------------------	---

Première partie : Synthèse bibliographique

1. Croissance chez les téléostéens

1.1. Principes généraux.....	2
1.2. Courbes de croissance	3
1.3. Contrôle hormonal.....	4
1.4. Cyclicité de la croissance	5

2. Paramètres influençant la croissance et l'activité alimentaire

2.1. Diversité des paramètres	8
2.2. Facteurs internes.....	8
2.2.1. Différences inter – ou intra- spécifiques	9
2.2.2. Etat physiologique.....	9
2.3. Facteurs externes.....	11
2.3.1. Ration alimentaire	11
2.3.2. Densité.....	12
2.3.3. Facteurs météorologiques.....	14
2.3.3.1. Lumière	14
2.3.3.2. Vent	17
2.3.3.3. Précipitations.....	17
2.3.4. Facteurs physico-chimiques.....	18
2.3.4.1. Température	18
2.3.4.2. Concentration en oxygène.....	20
2.3.4.3. Turbidité.....	22
2.3.4.4. Flux	23
2.3.4.5. pH.....	24
2.3.4.6. Ions.....	25
2.3.5. Facteurs trophiques	26

3. Spécificité de la problématique alimentaire liée à l'élevage de poissons en cages flottantes

3.1. Essor et intérêt de ce type d'élevage	27
3.2. Problèmes spécifiques	29
3.2.1. Densité d'élevage.....	29
3.2.2. Alimentation	30
3.2.2.1. <i>Quantité</i>	31
3.2.2.2. <i>Distribution</i>	31
3.2.3. Fouling	34
3.2.4. Evacuation des déchets.....	35

Deuxième partie : Matériel et méthodes

1. Description du site

1.1. Le complexe de l'Eau d'Heure	37
1.2. Description des installations	37
1.2.1. Description du système du ponton flottant.....	37
1.2.2. Description des cages	37

2. Description de l'espèce étudiée.....38

3. Etude de l'ingéré

3.1. Alimentation des poissons	39
3.2. Description de la méthode utilisée	39
3.2.1. Introduction.....	39
3.2.2. Principes de la méthode.....	40
3.3. Mesure de l'ingéré individuel.....	40
3.3.1. Préparation de la nourriture marquée	40
3.3.2. Calibration de la nourriture	41
3.3.3. Radiographie des poissons	41
3.3.4. Analyse des contenus stomacaux	42
3.3.4.1. <i>Prélèvement et conservation</i>	42
3.3.4.2. <i>Analyse</i>	42

4. Mesures physico-chimiques42

5. Mesures de l'activité

- 5.1. Marquage des poissons 43
- 5.2. Description du matériel utilisé..... 43
- 5.3. Capacités, implications et limites d'utilisation 44
 - 5.3.1. Orientation des antennes 44
 - 5.3.2. Capacité de détection, vitesse de passage.. 44
 - 5.3.3. Saturation du système de détection:
utilisation d'une paire d'antenne 45

6. Analyse statistique.....45

Troisième partie : Résultats

1. Paramètres physico-chimiques46

2. Etude de l'ingéré et de la croissance

- 2.1. Courbes d'étalonnage 47
- 2.2. Evolution temporelle de la prise de nourriture 47
- 2.3. Evolution du nombre d'individus se nourrissant 48
- 2.4. Evolution temporelle du poids
des individus prélevés 48
- 2.5. Ingéré moyen (% poids du corps) en fonction des
différents paramètres environnementaux suivis..... 49
- 2.6. Aspect pathologique 49
- 2.7. Etude de l'ingéré total..... 50
 - 2.7.1. Essais préliminaires 50
 - 2.7.2. Evolution temporelle de l'ingéré total..... 50

3. Etude de l'activité

- 3.1. Mise au point..... 51
 - 3.1.1. Positionnement des antennes 51
 - 3.1.2. Etude des différentes séquences d'environnement..... 51
 - 3.1.2.1. Etude de la séquence du 30 juin..... 51

3.1.2.2. Etude de la séquence du 2 juillet	52
3.1.2.3. Etude de la séquence du 9 juillet	52
3.1.2.4. Etude de la séquence du 14 juillet	54
3.1.2.5. Etude de la séquence du 23 juillet	54
3.1.3. Etude du cycle de 24h	55
3.1.4. Suivi de la survie et de la croissance dans les trois cages	57

Quatrième partie : Discussion

1. Méthodologie	58
------------------------------	-----------

2. Etude de l'ingéré.....	58
----------------------------------	-----------

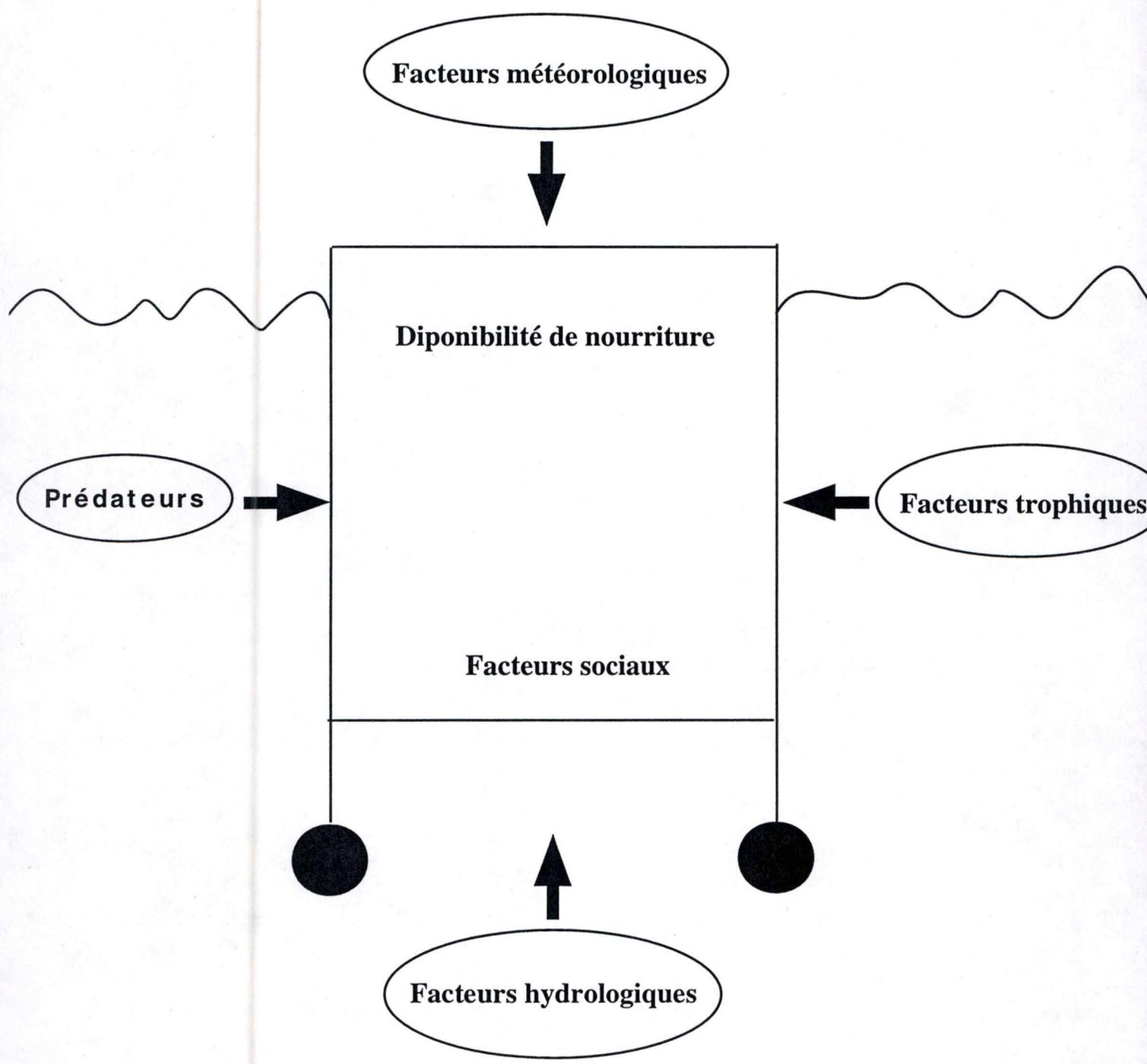
3. Marquage des poissons et suivi de l'activité...60	
---	--

Conclusions et perspectives.....	62
---	-----------

Références bibliographiques

Annexes

Introduction



La croissance des poissons est régulée par des paramètres génétiques, comportementaux et environnementaux. En élevage, l'homme essaie depuis longtemps de contrôler ces facteurs dans le but d'augmenter la production.

L'élevage en cages, bien que relativement récent par rapport aux autres techniques, occupe une part importante de l'élevage de poissons dans le monde. Nous connaissons surtout l'élevage de salmonides en Ecosse, en Scandinavie, voire au Chili. Cette technique tend à se diversifier. A cet égard, la perche (*Perca fluviatilis* L.) apparaît comme une espèce potentiellement exploitable en élevage en cage.

Le coût de la nourriture est, surtout en cage, très élevé. Dans le cadre de l'élevage expérimental de ce poisson effectué au lac de la Plate-Taille (Cerfontaine), nous avons essayé de mettre au point une technique permettant d'étudier l'influence de certains paramètres environnementaux et sociaux sur l'ingéré et l'activité alimentaire.

Deux types de techniques totalement expérimentales seront utilisées : d'une part la technique des rayons X et d'autre part celle du micromarquage. Utilisées en combinaison, ces 2 techniques permettent d'identifier les individus qui se nourrissent, de mesurer la fréquence de nourrissage et d'estimer la quantité de nourriture ingérée.

Synthèse bibliographique

1. Croissance chez les téléostéens

1.1. Principes généraux

Comme tout vertébré supérieur, le poisson a besoin d'un apport régulier d'énergie pour effectuer toutes les fonctions de son cycle de vie. L'essentiel de cette énergie provient de la nourriture. Certains constituants sont utilisés pour le catabolisme et l'anabolisme (les carbohydrates, les graisses et les protéines), d'autres ne fournissent aucune énergie mais sont essentiels pour la survie du poisson (les minéraux, les vitamines, l'eau, l'oxygène). Cette prise d'énergie est répartie en différentes fonctions. Ce phénomène est souvent décrit via un flux énergétique :

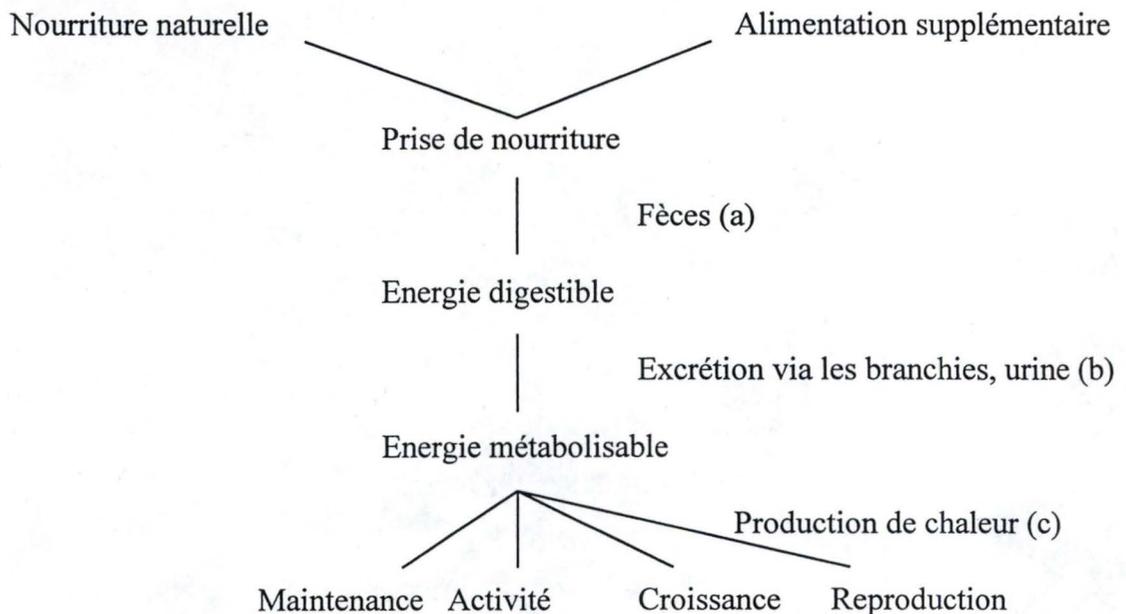


Fig. 1.1. : répartition de l'énergie disponible à partir de l'alimentation naturelle et anthropique dans un flux énergétique chez le poisson et principales utilisations de cette énergie ; a, b et c représentant les principales pertes énergétiques.

L'équation globale de la répartition énergétique dans le système animal est (in FIOGBE, 1996) :

$$E1 = EF + EBr + EU + EG + ES + EH + ER \text{ où}$$

$E1$ = énergie totale contenue dans l'aliment ingéré (MJ);

EF = énergie fécale (MJ) représente les éléments indigestes comme la cellulose;

EBr = énergie perdue par les branchies (MJ);

EU = énergie perdue par les urines (MJ);

EG = énergie perdue sous la forme de gaz (CO_2 , N_2 , NH_4) (MJ). Elle est

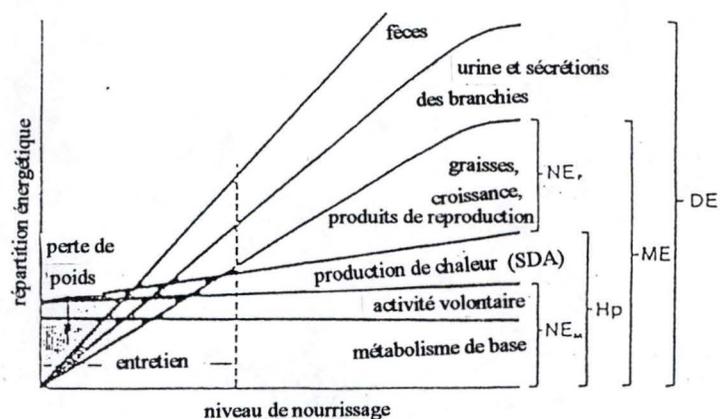


Fig. 1.2. : Distribution de l'énergie de l'aliment suivant différents besoins et processus; NE_p : réserve énergétique pour la croissance, la reproduction et l'engraissement, NE_m : perte de chaleur due au métabolisme basal et activités volontaires, SDA : activités dynamiques spécifiques, H_p : production de chaleur, ME : énergie métabolisable, DE : énergie digestible (traduit d'après SMITH, 1989 in FIOGBE, 1996).

négligeable chez le poisson.

ES = énergie perdue par transpiration ou par mues (MJ);

EH = production de chaleur (MJ). C'est la partie de l'énergie métabolisée par le poisson qui est utilisée pour maintenir une certaine température à l'intérieur de son tube digestif afin de faciliter la digestion (SMITH, 1989 in FIOGBE, 1996). Elle assure également le déplacement, la migration, les combats du poisson, le catabolisme et l'anabolisme de ses cellules, etc. Cette énergie chaleur intègre le métabolisme basal qui est, par définition, la production de chaleur du corps dans un état post-absorbatif et au repos dans un milieu thermoneutre (FREEDLAND et BRIGGS, 1977 ; WATANABE, 1988 ; DE SILVA et ANDERSON, 1995 in FIOGBE, 1996).

ER = énergie retenue dans les tissus (croissance ou produits de reproduction tels que les gamètes, le lait, etc.) (MJ). Ainsi, lorsque l'énergie consommée excède l'énergie dépensée, il y a stockage et donc gain de poids. Au contraire, lorsque l'énergie ingérée est inférieure à l'énergie dépensée, les substances corporelles compensent le déficit et il y a perte de poids.

Le rôle du nutritionniste est de maximiser ER et de minimiser EF, EU, EG, EBr, ES et EH. La répartition énergétique dépend du niveau de nourrissage. Le poisson a besoin d'un certain niveau de nourrissage pour assurer ses besoins de maintenance. Endessous de ce niveau de maintenance, il risque de perdre du poids. Lorsque les apports sont suffisants, cette énergie sert à la croissance et à la reproduction. Ceci est résumé dans la figure 1.2.

1.2. Courbes de croissance

La croissance résulte de l'assimilation de nutriments et de l'incorporation de ces nutriments dans les tissus. Chez les poissons, cette croissance est continue durant toute la vie de l'animal, rapide au début, passant par un maximum, puis ralentissant pour devenir presque nulle à la fin de la vie de l'animal. Le taux de croissance spécifique (T.C.S. ou Specific Growth Rate (S.G.R.)), ici en augmentation de poids, s'exprime généralement par la formule générale :

$$TCS = (\ln W2 - \ln W1) / (t2 - t1)$$

W1 représente le poids du poisson au temps t1;

W2 représente le poids du poisson au temps t2.

Il existe différents moyens de mesurer la croissance. On mesure généralement l'augmentation de biomasse au cours du temps mais on peut également mesurer la croissance en longueur, les courbes de croissance ayant des formes différentes :

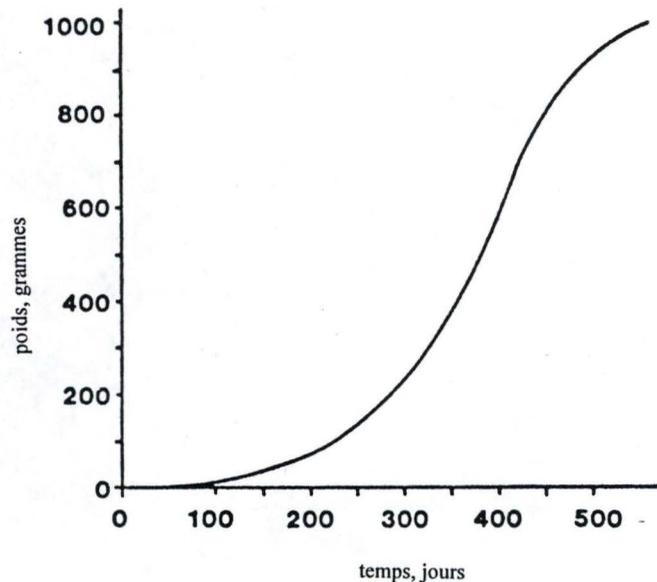


Fig. 1.3. : Croissance individuelle : courbe de croissance chez le poisson (traduit d'après THONON, 1992).

1.3. Contrôle hormonal

Il existe chez les téléostéens, comme chez tous les animaux supérieurs, une régulation hormonale de la croissance. Les hormones les plus importantes pour la croissance sont les hormones de croissance et les stéroïdes anaboliques des gonades (WEATHERLAY, 1987). A cet égard, les changements physiologiques et les variations saisonnières de croissance sont associés à la production d'hormones, surtout les hormones de croissance (GH). Trois mécanismes principaux déclenchent la sécrétion de GH chez les mammifères :

- 1) Une baisse du niveau de substrat énergétique (par exemple, une hypoglycémie);
- 2) Des variations d'acides aminés plasmatiques;
- 3) Un état de stress comme une excitation émotionnelle, une anesthésie, l'exercice, etc.

Tous ces stimuli agissent à travers l'axe hypothalamo-hypophysaire par activation du système adrénergique du cerveau. La régulation est principalement effectuée par l'axe somatotrophe (IGF-1)-GH-hypophyse. En effet, une hypophysectomie stoppe la croissance. Si on réinjecte de la GH, la croissance reprend. Le contrôle de la GH peut se faire à différents niveaux (PENG et PETER, 1997). La sécrétion hormonale de GH est régulée de façon saisonnière par des activateurs et des inhibiteurs à la suite des changements de facteurs environnementaux (comme la température). Par exemple, le fondule (*Fundulus fundulus*) hypophysectomisé recevant une injection de GH grandit bien à 20-25°C mais difficilement à température inférieure à 15°C (PICKFORD, 1957, 1959 in WEATHERLAY, 1987). D'autres hormones influencent la croissance

(WEATHERLAY, 1987) :

- *Les stéroïdes anaboliques* : ces hormones incluent les hormones sexuelles androgènes (testostérone) et oestrogènes (oestradiol, oestrone, oestriol). Chez la plupart des poissons, les androgènes ont plus d'effet sur la croissance que les oestrogènes. Ces hormones favorisent la croissance des tissus sexuels mais aussi de tous les tissus corporels. Elles augmentent l'efficacité de conversion, le taux d'efficacité protéique, l'assimilation protéique, la digestion et l'assimilation. Les stéroïdes ont aussi un effet anabolique combiné via leur effet sur la thyroïde, l'interrénale et le pancréas du poisson. La taille du poisson, la température et la salinité sont importantes dans le déterminisme de la réponse du poisson à l'hormone.

- *Les hormones thyroïdiennes* : elles peuvent influencer la croissance. Cependant leur chemin d'action n'est pas encore entièrement connu. Elles agissent soit via un effet direct, soit via une activation de l'effet anabolique d'autres hormones (particulièrement la GH) ou via une influence généralisée sur le métabolisme. Les deux hormones principales sont la T3 et T4. La T4 a des effets importants sur la métamorphose des poissons ainsi que sur la croissance du système nerveux et osseux. La T3 a des effets beaucoup plus importants sur la croissance osseuse et cartilagineuse. Les hormones thyroïdiennes agissent via la stimulation de l'appétit, l'augmentation de l'efficacité de conversion et de l'anabolisme protéique, en connexion avec la GH.

- *L'insuline* : peu d'études ont été réalisées sur les poissons mais un effet essentiel dans le métabolisme du glucose a été observé chez les mammifères. ABLETT *et al.* (1981 in WEATHERLAY, 1987) montrent qu'un traitement à l'insuline augmente le contenu protéique dans les muscles squelettiques chez la truite arc-en-ciel (*Onchorynchus mykiss* WALBAUM), suggérant une stimulation de la synthèse protéique par l'insuline.

De plus, ces hormones, par leurs effets combinés, influencent la croissance via la stimulation de l'appétit, l'augmentation de l'efficacité de conversion, de digestion, d'assimilation des nutriments et de la synthèse protéique.

1.4. Cyclicité de la croissance

Chez les poissons, l'activité trophique suit un rythme nyctéméral qui persiste même lorsque la nourriture est disponible en permanence. Cette rythmicité d'activité se situe à deux échelles complémentaires : le cycle nyctéméral et le cycle annuel (in BARAS, 1992). Ces rythmes sont marqués par une acrophase nocturne, diurne ou crépusculaire. Ils se caractérisent par leur périodicité au cours du cycle journalier, leur mode (unimodal ou plurimodal), leur durée et/ou leur intensité (BARAS, 1992).

Des preuves de cycles endogènes sont montrées chez la perche (*Perca fluviatilis* L.) (SANDSTRÖM, 1983). Les variations saisonnières dans le nourrissage et la croissance ont été rapportées pour un certain nombre d'espèces (BROWN, 1946 ; SWIFT, 1955 ; HOGEMAN, 1968 ; KARAS, 1990 in SEATHER *et al.*, 1996) dont l'omble chevalier (*S. alpinus*) (PALSSON *et al.*, 1992 ; TVEITEN *et al.*, 1996 in

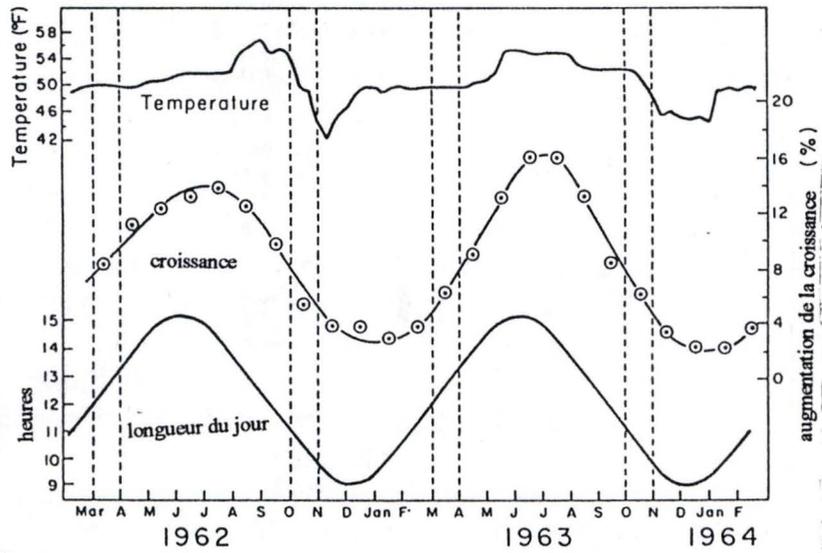


Fig. 1.4. : Changements annuels dans la vitesse de croissance mensuelle du corégone (*Coregonus chupeiformis*), en relation avec les températures et la photopériode saisonnière. Les poissons élevés en eau naturelle dans les bassins (traduit d'après HOGEMAN, 1968 in BRETT, 1979).

SEATHER *et al.*, 1996), le parr de saumon atlantique (*Salmo salar* L.) (SMITH *et al.*, 1993) et la perche (KARAS, 1990). BEGOUT ANRAS (1995) montre les rythmes journaliers et les changements saisonniers du comportement alimentaire du bar (*Dicentrarchus labrax*). Ses plus fortes demandes alimentaires sont faites en juillet, puis elles déclinent jusqu'en octobre. Pour NARUSE et OISHI (1994), les rythmes des poissons sont très variables par rapport aux mammifères. Le cycle annuel comporte deux phases. Il y a généralement une augmentation de la croissance en été et une baisse de la croissance en automne (GRIFFITHS et KIRKWOOD, 1995 in SEATHER *et al.*, 1996). Ces cycles annuels sont le reflet de cycles endogènes circannuels qui sont contrôlés par des facteurs abiotiques externes, surtout la photopériode qui agit comme synchroniseur (SMITH *et al.*, 1993 ; SEATHER *et al.*, 1996) et la température (ERIKSON et LUNQVIST, 1982 in SEATHER *et al.*, 1996) qui agit sur le niveau d'activité. Des photopériodes croissantes ou longues en été stimulent la croissance tandis que les courtes photopériodes ou photopériodes décroissantes la diminuent. La figure 1.4. montre les changements annuels dans la croissance moyenne mensuelle chez le corégone (*Coregonus clupeoformis*), en relation avec la photopériode et la température, dans des bassins (HOGEMAN, 1968 in BRETT, 1979). On remarque que la croissance augmente jusqu'en été puis diminue. Elle semble plutôt corrélée à la longueur du jour qu'à la température et est très rapide en période de réchauffement des eaux mais diminue lors du refroidissement. Les réserves énergétiques stockées pendant l'été sont consommées pendant l'hiver causant parfois la mort lorsque cette saison est trop marquée (GRIFFITHS et KIRKWOOD, 1995). Chez le saumon atlantique, on observe une rapide augmentation de l'appétit avant la fin de l'hiver en élevage en cages en mer, premier signe de la croissance compensatoire (SMITH *et al.*, 1993).

L'organe pinéal des poissons joue un rôle dans la régulation des cycles physiologiques saisonniers en reliant la photopériode aux différents processus physiologiques affectant la croissance. La pinéalectomie affecte le niveau plasmatique d'hormones métaboliques chez le poisson rouge (*Carassius auratus*) (WEATHERLAY, 1987). Chez beaucoup de vertébrés, la glande pinéale convertit l'information photique en rythmes circadiens de sécrétion de mélatonine et chez certains mammifères l'augmentation du temps d'obscurité détermine le moment d'événements saisonniers. RANDALL *et al.* (1994) soulignent l'importance des patterns saisonniers de sécrétion de mélatonine dans la perception des changements saisonniers de longueur du jour chez le saumon atlantique. L'existence d'un lien entre le taux de croissance et les conditions de longueur du jour suggère une relation directe entre photopériode, niveau d'hormones de croissance et la croissance. La photopériode influence le taux de croissance chez les poissons qui s'élève avec l'augmentation de longueur du jour et lors des conditions de jours longs. KARAS et NEWMAN (in KARAS, 1990) démontrèrent une relation positive dans des intervalles de température de 10°C à 20°C entre le taux d'augmentation de longueur et la température, menant à des variations saisonnières de croissance. Ils n'observèrent pas de croissance sous 10°C, la faible température hivernale restreignant donc la saison de croissance. Cependant, dans des eaux chauffées, ils observent une réduction du taux de croissance entre mi-octobre et mi-avril non reliée à la température, suggérant un effet de la longueur du jour sur la régulation de la croissance saisonnière. Une réduction similaire est observée dans le taux de métabolisme standard durant la

période hivernale avec réduction de 50% du taux de croissance des conditions de jours longs. Ces observations suggèrent une altération profonde du métabolisme chez la perche en période hivernale. Sachant que la perche est un chasseur visuel, il est facilement concevable que les courtes journées d'hiver à haute latitude en Suède entraînent une perte de ration journalière de l'ordre de 50% à 75% par rapport à la ration maximale en milieu expérimental (KARAS, 1990). Ces restrictions amènent des pertes de poids, voire la mort. Les juvéniles de perche peuvent toutefois ajuster leurs taux métaboliques pour faire face à la faible quantité de nourriture disponible, permettant leur survie mais réduisant fortement la croissance.

L'activité conjuguée de ces paramètres permet d'expliquer la plasticité des rythmes au cours du cycle annuel : les différences entre les rythmes saisonniers sont en effet d'autant plus marquées que l'amplitude de variation de ces variables est importante, avec un maximum au niveau des cercles polaires (ANDREASSON et MÜLLER, 1969 ; ANDREASSON, 1973 in BARAS, 1992).

L'activité alimentaire est capable de synchroniser la rythmicité de certaines fonctions métaboliques. Le moment de nourrissage peut agir comme synchroniseur et compléter l'effet de l'alternance jour/nuit (BOUJARD et LEATHERLAND, 1992b). En particulier, lorsque l'accès à la nourriture n'est pas constant ou si la nourriture est distribuée en un ou plusieurs repas réguliers, on assiste à une modification des rythmes nyctéméraux (comme les rythmes d'activité ou les rythmes hormonaux) (NOESKE et SPIELER, 1984 ; BOUJARD et LEATHERLAND, 1992a).

Parmi les salmonides, ces modes de croissance peuvent être influencés par les cycles annuels de transformation parr-smolt et la reproduction (HIGGINS et TALBOT, 1985 ; METCALFE *et al.*, 1988 ; JOBLING et BAARDVIK, 1991 ; BERGLUND *et al.*, 1992 ; TVEITEN *et al.*, 1996 in SEATHER *et al.*, 1996). La maturation sexuelle peut inhiber la consommation et la croissance. De tels effets sont considérés comme déclenchés par une action hormonale (par exemple, l'oestradiol) dans les derniers stades du cycle gonadal (BERGLUND *et al.*, 1992 in SEATHER *et al.*, 1996). L'effet inverse est visible au printemps et au début de l'été lorsque des niveaux élevés de stéroïdes sexuels stimulent la prise de nourriture et la croissance, par exemple chez le saumon atlantique (HUNT *et al.*, 1982 ; JORGENSEN *et al.*, 1988 in SEATHER *et al.*, 1996). Il faut donc adapter le nourrissage aux rythmes nyctéméraux et saisonniers d'activité de nourrissage. Or, comme les variations saisonnières du rythme alimentaire sont plus reliées à la longueur du jour et aux changements dans la longueur du jour qu'à d'autres variables comme la température, adapter la ration alimentaire uniquement à la température de l'eau entraîne des pertes en automne et au début de l'hiver ainsi qu'un sous nourrissage à la fin de l'hiver et au début de l'été chez le saumon atlantique élevé en cages (SMITH *et al.*, 1993). Les changements saisonniers de température et de longueur du jour coïncident souvent, surtout en automne, tandis qu'en été, on a un décalage entre augmentation de longueur du jour et augmentation de température qui arrive plus tard, retardant la croissance.

On peut donc conclure que lorsque la disponibilité en nourriture ne change pas, la température de l'eau et la longueur du jour influencent grandement la saisonnalité de la croissance et les taux de métabolismes standards et, de ce fait, la saison de croissance. Un rythme endogène, avec la photopériode agissant comme synchroniseur, régule la

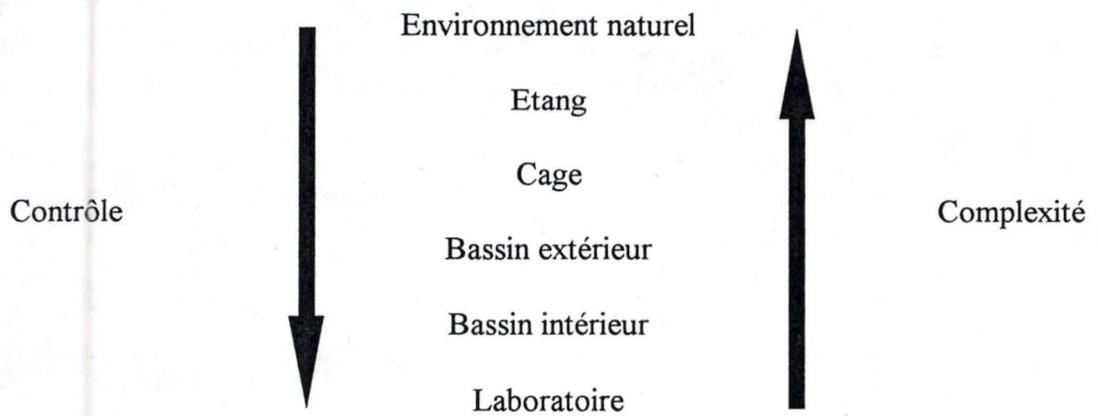


Fig. 1.5. : Echelle de complexité et de contrôle de facteurs environnementaux dans différents systèmes d'élevage (traduit d'après JUELL, 1998).

transition entre une faible croissance en hiver et un taux plus élevé en été et *vice et versa*, tandis que la température contrôle l'intensité du taux de croissance.

2. Paramètres influençant la croissance et l'activité alimentaire

2. Diversité des paramètres

De nombreux paramètres biotiques et abiotiques influencent la croissance des poissons (BRETT, 1979 ; BUREL, 1996). La prise de nourriture est régulée à long terme (température, état de maturation, etc.) et à court terme (remplissage de l'estomac, prédateurs) par un certain nombre de facteurs. Ces facteurs peuvent être classés en facteurs internes et externes, facteurs limitant et déterminant, ou en facteurs biotiques et abiotiques. Les variations environnementales vont générer des modifications comportementales et physiologiques, par exemple, via des modifications d'activité, des migrations verticales et horizontales ainsi que par des changements du mode respiratoire. Le taux de croissance est un des paramètres les plus importants déterminant l'efficacité économique en pisciculture. Deux buts primordiaux de l'aquaculture sont maximiser l'efficacité de production et produire des poissons de tailles uniformes (NOAKES et GRANT, 1992 in KADRI *et al.*, 1996). En milieu d'élevage, les facteurs intervenant dans la croissance prennent plus d'importance car les mouvements des poissons sont limités. Le nombre de ces facteurs intervenant dans la croissance dépend de la complexité du système d'élevage (JUELL, 1998, figure 1.5.). Dans ce schéma, JUELL (1998) montre la difficulté croissante à contrôler les paramètres dans un environnement de plus en plus complexe.

Certains paramètres, notamment environnementaux, sont utilisés par l'homme dans des buts de production ou plus simplement d'expérimentation. Les manipulations de conditions environnementales comme la température, la salinité, la lumière, la disponibilité en oxygène et la vitesse du courant sont utilisées couramment pour moduler la croissance (par exemple, l'élevage des salmonides). De plus, en aquaculture, la santé et l'état physiologique du poisson auront aussi une grande influence sur la prise de nourriture, et donc sur la croissance.

2.2. Facteurs internes

L'activité alimentaire et la croissance sont sous la dépendance de facteurs internes qui peuvent eux-mêmes être modulés par les facteurs abiotiques externes. Ces facteurs internes peuvent être liés à l'espèce, au groupe d'individus ou aux caractéristiques génétiques de l'individu (notamment son sexe) et à son état physiologique. Pour

MAGNURAN (1993 in JUELL, 1995), les variations interindividuelles de comportement sont le reflet de la taille, du sexe, de l'état de maturation ou de la capacité compétitrice du poisson.

2.2.1. Différences inter- ou intra- spécifiques

On distingue des différences interspécifiques de la croissance. Chaque espèce a, dans son milieu, des besoins bien définis. Les espèces plus actives ont besoin de plus d'énergie pour le métabolisme et auront une croissance plus lente (BARNABE, 1991). En milieu d'élevage, s'ils s'adaptent, ces poissons demandent un temps d'élevage plus long avec les conséquences économiques qui en découlent. Les espèces à activité réduite, à taux de conversion alimentaire et taux de croissance élevés sont plus productives et sont donc préférables en pisciculture. A cet effet, l'activité de nage contribue peu aux dépenses énergétiques chez les poissons sédentaires, comme le brochet (*Esox lucius*), mais chez les poissons plus actifs les coûts de nage sont considérés comme plus grands et plus variables, comme par exemple la truite (*Salmo trutta*). Cependant, il faut nuancer ce point : la perche à activité réduite par rapport à la truite présente une croissance plus lente que cette dernière (NEWMAN *et al.*, 1996). En milieu d'élevage, il faut tenir compte des caractéristiques propres de l'espèce dans le choix du système d'élevage. Certaines espèces sont mieux adaptées à certains types d'élevage.

Il existe des différences sexuelles dans la croissance liées aux caractéristiques physiologiques et comportementales des deux sexes. Chez certaines espèces, la croissance est plus rapide chez le mâle (par exemple, chez le tilapia (*Oreochromis spp*)), chez d'autres, c'est la femelle qui a le taux de croissance le plus élevé (par exemple, la truite arc-en-ciel), d'où l'importance de la sélection en élevage et des manipulations liées au sexe couramment pratiquées en aquaculture. La figure 1.6. montre quelques exemples de différenciation sexuelle dans la croissance. Ces différences peuvent apparaître dès la naissance ou se développer au cours de la croissance des individus.

Il existe des variations interindividuelles dans le nourrissage et la croissance chez la truite arc-en-ciel (JOBILING et KOSKELA, 1996). Les populations de poissons comportent souvent des individus dominants et des individus dominés. Les dominants ont un meilleur accès à la nourriture et seront susceptibles d'avoir un meilleur taux de croissance, entraînant une hétérogénéité de taille dans le système d'élevage. La taille et l'âge du poisson sont importants dans les phénomènes de croissance. En effet, il existe une relation inverse entre la taille (ou poids) et la croissance. Les taux métaboliques varient inversement avec le poids du corps (YAGGER et SUMMERFELT, 1993). La croissance est rapide chez les jeunes car ils ont des taux métaboliques élevés, puis elle ralentit car les besoins de maintenance augmentent. La formule décrivant le phénomène est :

$$Y = A * X^{expB}$$

Y= besoins métaboliques

A = cst

X= taille

B varie en général entre 0,47-1,00.

La prise alimentaire augmente avec la taille des poissons (ELLIOT, 1975 ; BRETT, 1979 ; FÄNGE et GROVE, 1979 in PALSSON *et al.*, 1992). Chez l'omble chevalier, le coefficient B est égal à 0,575, ce qui est dans l'intervalle rapporté pour différentes espèces de poissons (BRETT, 1979 ; FÄNGE et GROVE, 1979 in PALSSON *et al.*, 1992). Les facteurs comportementaux comme l'appétit, la territorialité ou la dominance hiérarchique peuvent avoir des effets importants sur le polymorphisme de croissance. Les résultats suggèrent que chez la perche, le polymorphisme de croissance ne provient pas exclusivement de caractéristiques génétiques mais d'une inhibition sociale (MELARD *et al.*, 1995). Pour limiter les effets dus à l'hétérogénéité de taille, on peut faire un tri. L'effet de ce tri dépend de l'espèce. Chez certaines espèces (par exemple, l'omble chevalier), un tri fréquent ne donne pas de gain de croissance mais casse la hiérarchie de groupe et peut même provoquer un déficit de croissance. Pour PORELLO *et al.* (1993), l'homogénéité de taille entraîne une croissance homogène et l'absence de cannibalisme. On obtient des résultats semblables chez le doré (*Stizostedion vitreum*) (MALISON et HELD, 1995).

2.2.2. Etat physiologique

Les poissons sont soumis à des variations de leur environnement et s'adaptent aux changements graduels de celui-ci. Le confinement, la densité élevée, les manipulations, une mauvaise qualité de l'environnement d'élevage, les maladies et les interactions sociales sont susceptibles de modifier l'appétit, réduisant la croissance. Des changements rapides se répercutent sous la forme de stress s'accompagnant d'une dépense d'énergie accrue au niveau de l'organisme avec, en particulier, une accélération cardiaque et une augmentation de la pression artérielle. L'organisme réagit rapidement via deux types d'hormones, l'adrénaline (action rapide) et les corticoïdes (action prolongée) (DEMAËL, 1974). Les conséquences sont une croissance réduite, une reproduction diminuée et une augmentation de la susceptibilité à la maladie. En aquaculture, le stress résulte souvent de la méthode d'élevage. Certains types d'élevage nécessitent le transport des poissons. Ce transport est stressant, il entraîne des changements physiologiques (perte d'écaillés, de mucus, etc.) mais aussi des changements dans la composition sanguine (augmentation ou diminution de la quantité de GH, hausse de la concentration en cortisol), une augmentation de la consommation d'oxygène, des problèmes d'osmorégulation et une augmentation des risques de maladie chez les poissons n'acceptant pas les transports, comme c'est le cas chez la carpe argentée (*Hypophthalmichthys molitrix*) (BEVERIDGE, 1987), le sandre (*Stizostedion lucioperca*) et, dans une moindre mesure,

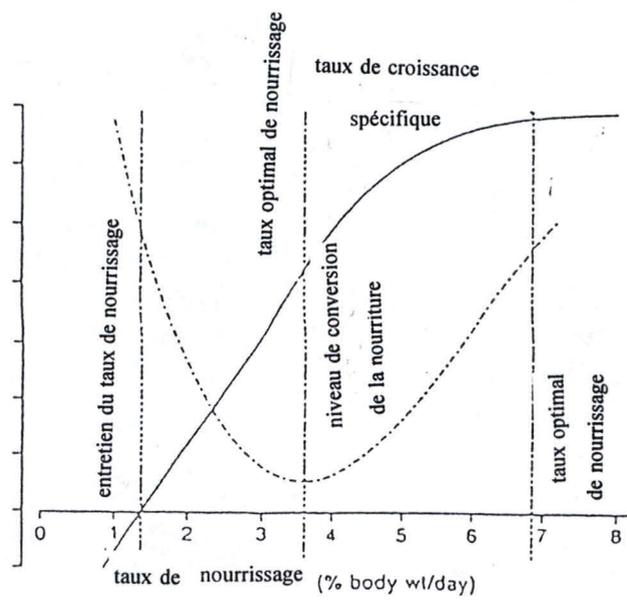


Fig. 1.6 : Relation théorique entre le taux de croissance spécifique (SGR), le taux de conversion alimentaire (TC) et le niveau d'alimentation chez le poisson (d'après De Silva et Anderson, 1995 in Fiogbé, 1996).

la perche. De plus, comme décrit dans le chapitre concernant la cyclicité de la croissance, le développement des gonades et la proximité de la reproduction affectent l'activité de nutrition, de même que les phénomènes migratoires non liés à la reproduction

2.3. Facteurs externes

D'après BRETT (1979), le système métabolique général concerné par la croissance comprend des sources d'entrées (nourriture et oxygène) et de sorties (croissance, S.D.A. ou action dynamique spécifique, travail, excrétion) avec des facteurs internes et externes affectant le système. Les facteurs externes comprennent :

- des facteurs abiotiques comme la pression, la température, la salinité, l'oxygène, le dioxyde de carbone, l'ammoniaque (NH₃), le pH, la lumière et la saison.
- des facteurs biotiques telles l'abondance de nourriture, la disponibilité, la composition, la digestibilité et la compétition.

2.3.1. Ration alimentaire

Il existe une relation positive entre la consommation et la croissance (KECKEIS et SCHIEMER, 1992). En milieu naturel, le poisson est soumis à des variations dans la quantité de nourriture disponible et s'y adapte (SIMPSON et THORPE, 1997). Par exemple, le saumon juvénile s'adapte aux proies disponibles par modification de son appétit. En pisciculture, l'alimentation représente jusqu'à 50% des coûts de production (JUELL *et al.*, 1994b). En élevage intensif, il est nécessaire de connaître à la fois les besoins nutritionnels, les pratiques de nourrissage et les stratégies d'exploitation du nourrissage (THORPE et HUNTINGFORD, 1992 ; GODDARD, 1996 ; JORGENSEN *et al.*, 1996 in KOSKELA *et al.*, 1997a). La rentabilité dépend donc de l'efficacité à laquelle le poisson utilise la nourriture, donc un taux de conversion optimum. Le S.G.R. (taux de croissance spécifique) est corrélé avec la ration alimentaire jusqu'à un optimum, puis diminue (BRETT, 1979 ; REDDY *et al.*, 1994).

On distingue la ration d'entretien, la ration optimum et la ration maximum (figure 1.6. in BRETT, 1979 et DE SILVA et ANDERSON, 1995 in FIOGBE, 1996). La taille de la ration qui optimise l'utilisation de la nourriture (R opt.) est un peu plus basse que la ration qui donne le plus haut taux de croissance (R max.). La ration alimentaire (R) doit être ajustée en accord avec les variations d'appétit pour éviter les restrictions de croissance et les déchets de nourriture qui réduisent l'utilisation de l'aliment (BRETT, 1979). L'appétit peut varier à l'échelle de la journée, des jours ainsi qu'à des échelles plus longues, semaines et mois (ALANÄRÄ, 1992). Ces variations sont difficiles à prédire. Les pisciculteurs utilisent souvent la ration maximum. Le problème, c'est que le nourrissage avec une ration maximale à haute énergie pendant une longue période entraîne l'engraissement du poisson (STOREBAKKEN, 1991), particulièrement au

niveau du foie et des muscles. La prise alimentaire est modifiée par un grand nombre de facteurs (JUELL, 1995) et la connaissance des interactions entre les variables est très utile pour que les pisciculteurs déterminent la fréquence optimale, la quantité de nourriture, ainsi que la composition alimentaire. Le déclin de l'efficacité à niveau élevé de ration alimentaire peut être attribué à une augmentation du S.D.A. (PARENT et VELLAS, 1990), principalement par augmentation de déamination par acides aminés (IWATA, 1970 in PARENT et VELLAS, 1990), à une baisse de l'efficacité d'assimilation (AVARETT, 1969, in PARENT et VELLAS, 1990) et à l'augmentation de l'activité du poisson (KERE, 1971 in PARENT et VELLAS, 1990). L'excès de nourriture conduit en outre à des pertes de nourriture et à une baisse de la qualité d'eau, conduisant au stress et aux problèmes pathologiques. Le sous-nourrissage réduit le taux de croissance, avec perte de production et de profit. Lorsque les conditions d'alimentation baissent, le poisson réagit par une augmentation de l'efficacité d'assimilation (KECKEIS et SCHIEMER, 1992) et par une diminution d'activité (NEWMAN *et al.*, 1996). Abaisser la ration en dessous de R opt. va réduire le taux de croissance et abaisser l'utilisation alimentaire car une plus grande proportion de l'énergie consommée est utilisée pour d'autres tâches que la croissance. Après une période de restriction, une croissance compensatoire est observée chez différentes espèces de salmonides (BILTON et ROBINS, 1973 ; WEATHERLAY et GILL, 1981, 1987 ; DOBSON et HOLMES, 1984 ; KINDSHI, 1988 ; MIGLAVS et JOBLING, 1989 ; QUINTON et BLAKE, 1990 ; JOBLING *et al.*, 1993 in JOBLING et KOSKELA, 1996). La croissance résultant de la reprise du nourrissage est souvent de courte durée et peut être accompagnée d'hyperphagie passagère par augmentation de la capacité gastrique et hypertrophie des tissus de l'oesophage (FABY, 1969 in KOSKELA *et al.*, 1997b).

En général, les poissons d'élevage ont des modes de nourrissage assez flexibles et s'adaptent facilement à une alimentation artificielle mais le moment du nourrissage peut influencer un grand nombre de paramètres physiologiques de production (ALANÄRÄ, 1992 ; BOUJARD *et al.*, 1992 ; JOBLING *et al.*, 1995). L'élevage en groupes entraîne des réponses différentes selon les poissons. Plus les apports en nourriture sont faibles, plus la compétition pour les ressources augmente, et plus la disparité dans la prise de nourriture entre individus augmente (Mc CARTHY *et al.*, 1992 ; GRANT, 1993 ; JOBLING, 1995 in JOBLING et KOSKELA, 1996). Certains individus monopolisent la nourriture et consomment suffisamment pour maintenir de bons taux de croissance, tandis que d'autres individus, ne pouvant obtenir de nourriture, vont s'affamer et perdre du poids. Ces inégalités provoquent une augmentation de la différence de taille entre individus (JOBLING, 1995). Lors du retour à des conditions alimentaires normales, ces individus n'auront pas de croissance compensatoire car ils seront encore plus dominés.

2.3.2. Densité

Les densités d'élevage sont des densités anormales en milieu naturel. Ces densités sont indissociables du débit (BEVERIDGE, 1987). Le renouvellement de l'eau peut avoir une importance significativement plus élevée que la densité en elle-même. La

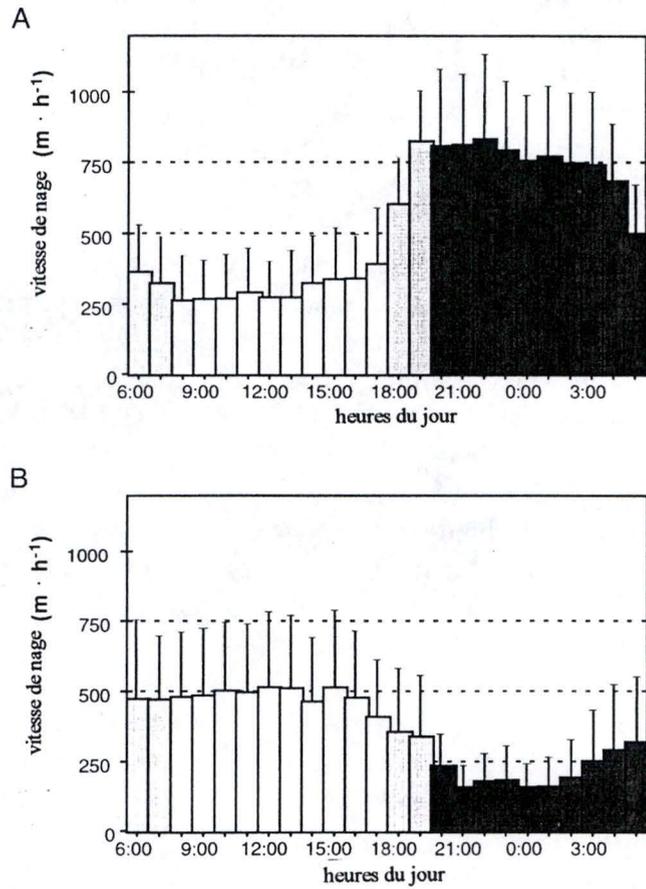


Fig. 1.7. : Vitesse de nage et intervalle de confiance ($\alpha = 0,05$) calculés pour chaque heure de la journée par (A) poisson seul ($N = 7$) poissons en groupe ($N = 6$) (traduit d'après BEGOUT ANRAS *et al.*, 1997).

densité affecte à la fois la croissance et le milieu de production. La densité de stockage est corrélée négativement au niveau d'oxygène dans l'eau et corrélée positivement avec le niveau de produits d'excrétion (CO₂, ammoniacque, demande en oxygène).

L'augmentation de densité entraîne des changements dans le comportement pouvant avoir des effets positifs ou négatifs suivant l'espèce. Les espèces grégaires, vivant d'habitude en groupes, acceptent l'élevage à haute densité. La croissance et la survie du poisson-chat africain (*Clarias gariepinus* BURCHELL, 1822 ou *Heterobranchius longifilis*) sont fortement influencées par la densité de stockage (HECHT, 1982 ; HECHT et APPELBAUM, 1987 in HOSSEIN *et al.*, 1988). Ces auteurs observent qu'une faible densité de stockage donne toujours un plus haut taux de croissance chez des alevins de 25 jours (densité 5-20 poissons par litre). Cependant, de plus faibles densités de stockage augmentent le taux de cannibalisme, améliorant la croissance. Chez les espèces sédentaires, comme le brochet, l'élevage à haute densité est impossible à partir de la sixième semaine. La contagion est favorisée par la promiscuité. Chez les juvéniles de perche, une augmentation de la densité de 400 à 1000 alevins de taille 0,5-1g/m³ entraîne une augmentation de croissance de 67%, avec diminution de l'hétérogénéité de taille (KESTEMONT *et al.*, 1995). Ceci serait dû à une diminution des tendances agonistes et territoriales limitant l'accès à la nourriture. De plus, le taux d'apprentissage du nourrissage à la demande chez la truite arc-en-ciel est augmenté par la présence de congénères. Le poisson nourri en groupe s'alimente plus facilement et s'adapte plus aux changements alimentaires que les individus seuls (KESTEMONT *et al.*, 1995). Dans d'autres cas, l'augmentation de densité entraîne, au contraire, une augmentation du comportement agressif et un haut niveau de compétition résultant en une augmentation de l'hétérogénéité de taille, voire de suppression de croissance chez certains individus. C'est le cas chez l'omble chevalier (JOBLING, 1995) mais une relation négative entre croissance et densité existe aussi chez les juvéniles de salmonides, comme le saumon atlantique, la truite arc-en-ciel ou l'ombre arctique (*Thymallus thymallus*) (Mc KINLEY, 1994). Chez le saumon de fontaine (*Salvelinus fontinalis*), on observe une relation positive entre augmentation de densité et croissance, par diminution des comportements territoriaux d'agression, comme chez la perche). Les effets de groupes se ressentent au niveau de l'activité circadienne chez le fondule, ainsi que chez le mulot (*Mugil cephalus*) (BEGOUT ANRAS, 1995). Ces effets de groupes modifient les patterns et l'amplitude de nage. Le bar seul a une activité nocturne (pour éviter la prédation). Chez les juvéniles en groupes, il y a un changement vers une activité diurne (figure 1.7.). La connaissance de ces moments d'activité peut avoir de l'importance en pisciculture pour la distribution de nourriture. En élevage intensif, les interactions sociales et, en particulier, les comportements agressifs peuvent altérer la production. Des différences de croissance, pour lesquelles de grandes différences de taille se développent parmi des poissons initialement de même taille, sont rapportées pour un grand nombre d'espèces importantes commercialement, comme la truite arc-en-ciel (METCALFE, 1986 in ALANÄRÄ et BRÄNNÄS, 1993), le saumon coho (*Oncorhynchus kitsutch*) (FAGERLUND *et al.*, 1981 in METCALFE *et al.*, 1990), le saumon atlantique (METCALFE *et al.*, 1990), l'omble chevalier (JOBLING et BAARDVIK, 1994). Ces différences de croissance dépendent en grande partie d'interactions agressives parmi les poissons, résultant en certains dominants consommant

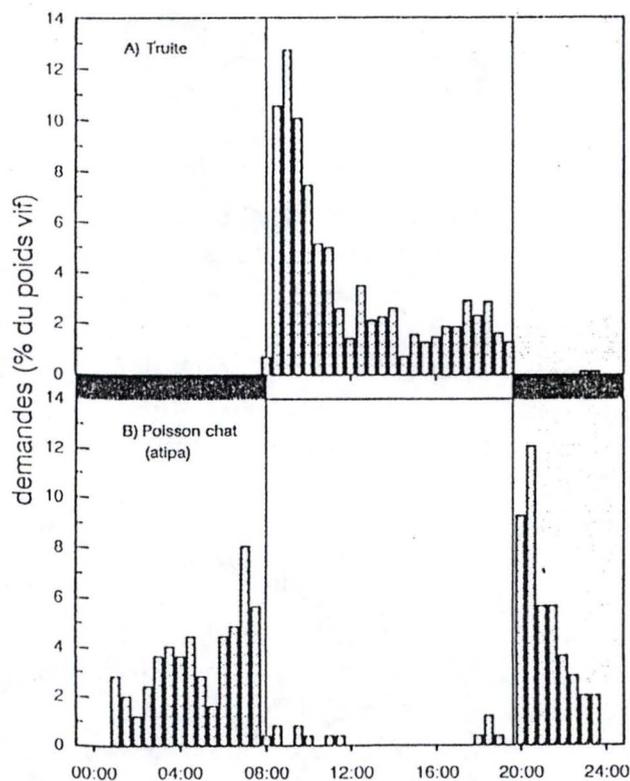


Fig. 1.8. : Exemples de rythme d'activité trophique enregistrés à l'aide d'un distributeur d'aliments à la demande couplé à un ordinateur. A = chez une espèce diurne, la truite arc-en-ciel, *O. mykiss* (BOUJARD et LEATHERLAND, 1992a). B = chez une espèce nocturne, l'atipa, *H. littorale* (BOUJARD *et al.*, 1992a) (d'après BOUJARD, 1994).

la majorité de la nourriture disponible (Mc CARTHY *et al.*, 1992 ; JOBLING et BAARDVIK, 1994). Ces dominants ont un meilleur accès à la nourriture et empêchent les autres de se nourrir. HUNTINGFORD *et al.* (1990) trouvent que la taille est un faible indice de l'état social de l'individu (marqué par la monopolisation de la nourriture et l'intimidation) chez le saumon atlantique. Ces résultats contrastent avec les résultats rapportés pour d'autres salmonides (JENKINS, 1963 in HUNTINGFORD *et al.*, 1990), comme chez la truite arc-en-ciel et chez la truite commune. On a parfois une perte de cette hiérarchie alimentaire et des combats entre individus lors du passage à l'âge adulte. C'est le cas chez le poisson-chat africain, ce qui permet l'élevage de ce poisson à haute densité (kg/m³). On a plus souvent une intimidation qu'une agression ouverte. METCALFE (1986 in ALANÄRÄ et BRÄNNÄS, 1993) suggère que la stratégie optimale pour une truite subordonnée est de minimiser les pertes d'énergie plutôt que de maximiser la prise de nourriture. La prise de nourriture chez les subordonnés est donc imprévisible et le taux de consommation journalier est erratique. Des similarités de comportement sont décrites par CARTER *et al.* (1992) chez la carpe herbivore (*Ctenopharyngodon idella*), chez l'omble chevalier (JOBLING *et al.*, 1993 in JOBLING et BAARDVIK, 1994) et la truite commune (Mc CARTHY *et al.*, 1992).

2.3.3. Facteurs météorologiques

2.3.3.1. Lumière

La lumière est quantifiable via trois paramètres : la photopériode, l'intensité lumineuse et le spectre lumineux. Elle intervient dans la synchronisation du cycle de la croissance (voir point 1.4.). Les études sur l'influence de la lumière révèlent souvent des résultats variables, complexes et confus (BRETT, 1979). Ceci est dû à la multiplicité des chemins par lesquels la lumière peut agir (qualité, quantité et périodicité) et aux interactions avec d'autres facteurs environnementaux, surtout la température, ainsi que l'harmonie ou la disharmonie avec les rythmes journaliers et saisonniers du poisson. En général, les réponses comportementales sont déterminées par l'intensité, la périodicité et la composition spectrale de la lumière incidente (ALI, 1961 ; CLARKE *et al.*, 1978 ; BATTY, 1987 ; Mc CORMICK *et al.*, 1987 ; STEFFANSSON *et al.*, 1989a et b, 1990b ; GISKE *et al.*, 1990 in MORK et GULBRANDSEN, 1994) ainsi que par l'état physiologique du poisson.

L'activité du sujet dépend de différents facteurs de son système sensoriel et entre autre de l'activité rétinienne. La glande pinéale est aussi un détecteur de luminosité. Les animaux peuvent être classés en diurnes, nocturnes ou crépusculaires. La figure 1.8. montre 2 exemples de rythme d'activité trophique, enregistrés à l'aide d'un distributeur d'aliments à la demande couplé à un ordinateur, chez une espèce diurne, la truite arc-en-ciel (BOUJARD et LEATHERLAND, 1992a) et chez une espèce nocturne, l'atipa (*Hoplosternum littorale*) (in BOUJARD *et al.*, 1992b).

La photopériode régule l'activité journalière et saisonnière du poisson. Son importance en tant que synchroniseur dans le cycle de la croissance et de la reproduction

est bien connue (voir point 1.4.). Généralement, des périodes de jours longs et, spécialement, les périodes d'augmentation de la longueur du jour stimulent la croissance tandis que la baisse de longueur du jour a souvent des effets négatifs. HUH *et al.* (1976 in FERMIN et SERONAY, 1997) ont démontré, en laboratoire, un taux de croissance 3 fois plus rapide chez les juvéniles de perchaude sous conditions de jours longs (16 L/8D) que sous jours courts (8L/16D) et concluent que la lumière est un des grands facteurs régulant la croissance. Le cas s'illustre aussi chez les salmonides pour lesquels la croissance, la maturation et la smoltification sont sous l'effet de la longueur du jour. Il existe une relation positive entre la longueur du jour et la croissance, en particulier chez le saumon atlantique. Ceci est dû à une augmentation de l'appétit et de la prise de nourriture lorsque les jours deviennent plus longs (JORGENSEN et JOBLING, 1992). La truite arc-en-ciel, nourrie en hiver, mange plus, grossit plus et a une meilleure conversion alimentaire lorsque elle est soumise à une photopériode de 16h/jour qu'à une période de luminosité plus courte. La plupart des espèces sont actives de jour avec un maximum d'activité au lever et au coucher du soleil. En conséquence, la durée de la période d'activité est corrélée à la longueur du jour, tandis que le niveau d'activité et de vitesse de nage sont plutôt reliés à la température. Chez la perche, les activités journalières de déplacement et de capture de proies varient avec la photopériode saisonnière. Cependant les transitions entre obscurité et lumière sont importantes dans la synchronisation des rythmes jour-nuit

La lumière permet l'établissement d'une structure de groupes, y compris en cages (JUELL et BJORDAL, 1988 non publié in JORGENSEN et JOBLING, 1994). On observe un effet de la lumière sur la distribution verticale de poissons en cages, les poissons descendant dans le fond de la cage lorsque l'intensité lumineuse augmente et remontant à l'obscurité (FERNÖ *et al.*, 1995), avec des différences saisonnières dans la profondeur de nage (HUSE et HOLM, 1993 in FERNÖ *et al.*, 1995). Lorsque l'intensité lumineuse est très élevée, le poisson évite la surface où les ultra-violets risquent de provoquer des dommages cutanés. Beaucoup d'espèces changent leur activité verticale après la phase de transition de la lumière vers l'obscurité. La truite de mer (*Salmo trutta fario*) et la truite commune ne sont pas effrayées par l'obscurité et nagent vers le haut de la colonne d'eau. La truite de mer augmente son activité à l'obscurité. STEFFANSSON *et al.* (1990 in MORK et GULBRANDSEN, 1994) montrent qu'une longueur de jour continue ou croissante augmente l'activité alimentaire et la croissance chez le saumon atlantique tandis que les jours courts ou décroissants entraînent un temps de nourrissage restreint qui résulte en une inhibition de la croissance. Les activités de nage et de nourrissage de larves de bar européen stoppent lors de longues périodes sombres (9L/15D) en comparaison avec les poissons élevés à luminosité constante (RONZONICERQUEIRA et CHATAIN, 1991 in FERMIN et SERONAY, 1997). Dans cette étude (FERMIN et SERONAY, 1997), des conditions d'obscurité à une sous-alimentation et à des mortalités. BARLOW *et al.* (1995 in FERMIN et SERONAY, 1997) observent que chez le bar asiatique (*Lates calcarife*), les juvéniles ont un pattern de nourrissage journalier constant et distinct qui cesse totalement en cas d'obscurité. Le transfert rapide de saumons atlantiques de photopériode courte (9L/15D en décembre) vers une lumière continue sous faible température peut mener à une suppression de nourrissage et de croissance, car les juvéniles de saumon et de truite tendent à devenir nocturnes lorsque la

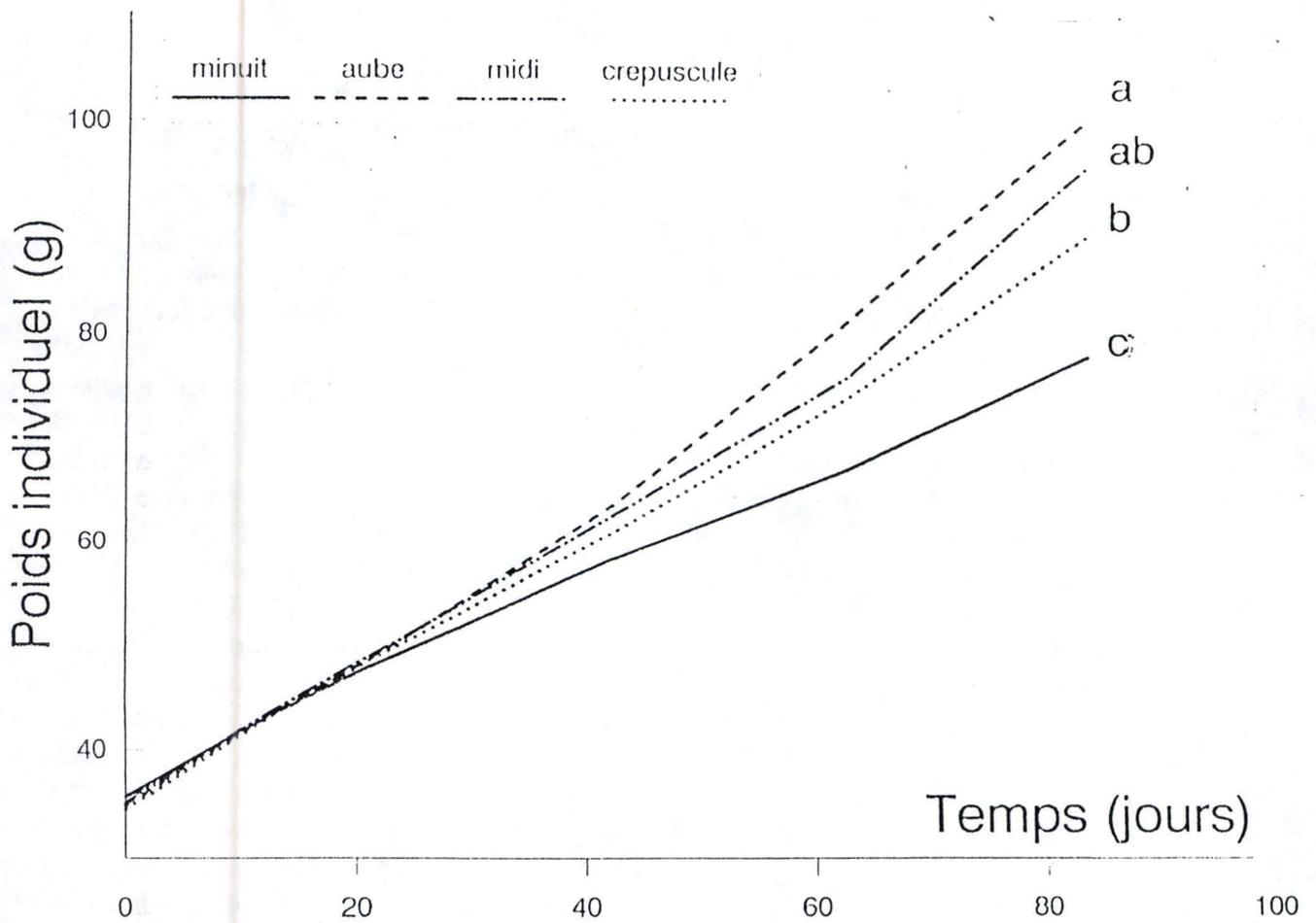


Fig. 1.9. : Croissance chez les truitelles (*O. mykiss*) nourries à l'aube, à midi, au crépuscule et à minuit, à une ration de 1,5% et à une température maintenue entre 8 et 12°C (d'après BOUJARD, 1994).

température est basse (FRASER *et al.*, 1993, 1995 ; HEGGENES *et al.*, 1993 in KOSKELA *et al.*, 1997d et e). L'adaptation pour une activité à un niveau lumineux conduit à une efficacité réduite à une autre (BEGOUT ANRAS *et al.*, 1997). La figure 1.9. montre la croissance plus forte chez des truitelles nourries à l'aube à 1,5% de leur poids par rapport à une distribution à midi ou à minuit, à une température maintenue entre 8°C et 12 °C (BOUJARD, 1994).

A faible densité, les changements de luminosité permettent de diminuer, voire supprimer les agressions liées aux hiérarchies entre poissons et améliorent donc le taux de croissance. C'est notamment le cas chez l'omble chevalier (JORGENSEN et JOBLING, 1994) où le taux de croissance est supérieur lorsque le poisson est soumis à une photopériode 8L/16D par rapport à des poissons soumis à une lumière continue. De très petites intensités lumineuses peuvent réduire la croissance. Les changements soudains de lumière déclenchent une réponse anti-prédateur chez les poissons (KEENLEYEIDE, 1976 ; CLARK et LEVY, 1988 ; GISKE *et al.*, 1990 in MORK et GULBRANDSEN, 1994) avec une fuite vers le fond puis une immobilisation. Pour éviter le stress, des changements graduels d'intensité lumineuse doivent être appliqués. Même si utiliser une lumière faible pour la production de salmonides a un effet positif, le manque de luminosité montre des effets négatifs. Les poissons évitent en général une lumière trop intense qui a un effet négatif sur la croissance. En cages, il existe un compromis entre la peur de la lumière en surface et l'attraction de la nourriture chez le saumon atlantique (FERNÖ *et al.*, 1995). Néanmoins, OPPEDAL *et al.* (1997) observent une augmentation de la croissance chez le saumon atlantique élevé à de fortes intensités lumineuses en cages. Ils signalent aussi que les seuils d'intensité lumineuse nécessaires pour assurer la croissance ou la maturation sexuelle sont différents. En surface, les poissons sont soumis aux prédateurs, aux températures élevées, aux larves de poux de mer, ainsi qu'aux ultra-violets. Les ultra-violets sont riches en photons à haute énergie qui brûlent les cellules épidermiques des poissons, créant des blessures susceptibles d'être infectées par des pathogènes. On donne un effet positif à la croissance en bâchant les cages en été ou en mettant des filets plus profonds. L'effet de forte illumination se fait surtout sentir près de la surface. Les longueurs d'onde supérieures à 700 nm (IR lointains et proches) sont très importantes dans le transfert de chaleur, et, du fait de leur haut coefficient d'extinction, sont absorbées dans les deux premiers mètres. Des transitions brutales entre lumière et obscurité peuvent réduire l'activité totale de la truite de mer et de l'omble chevalier, mais pas du saumon atlantique. Chez le bar, le nourrissage se déroule surtout sous faible illumination, autour de 20 à 30 uw par cm². En septembre, cependant, le nourrissage tend à se dérouler à de plus hautes illuminations, autour de 70 uw par cm², ce qui est peut-être dû aux perturbations du comportement par les averses et le vent qui supplantent alors l'effet de la lumière. Une diminution de l'intensité lumineuse par rapport à la lumière diurne entraîne une baisse des activités alimentaires chez les alevins de perche (FIOGBE, 1996). En milieu naturel, on observe des changements de régime alimentaire à différentes intensités lumineuses. MILLS *et al.* (1984) ont observé que les jeunes de perchaude se nourrissent de grosses daphnies sous faible intensité lumineuse et changent de régime vers de plus petites proies lorsque l'intensité lumineuse augmente.

En aquaculture, la lumière peut être utilisée pour attirer le zooplancton dans les

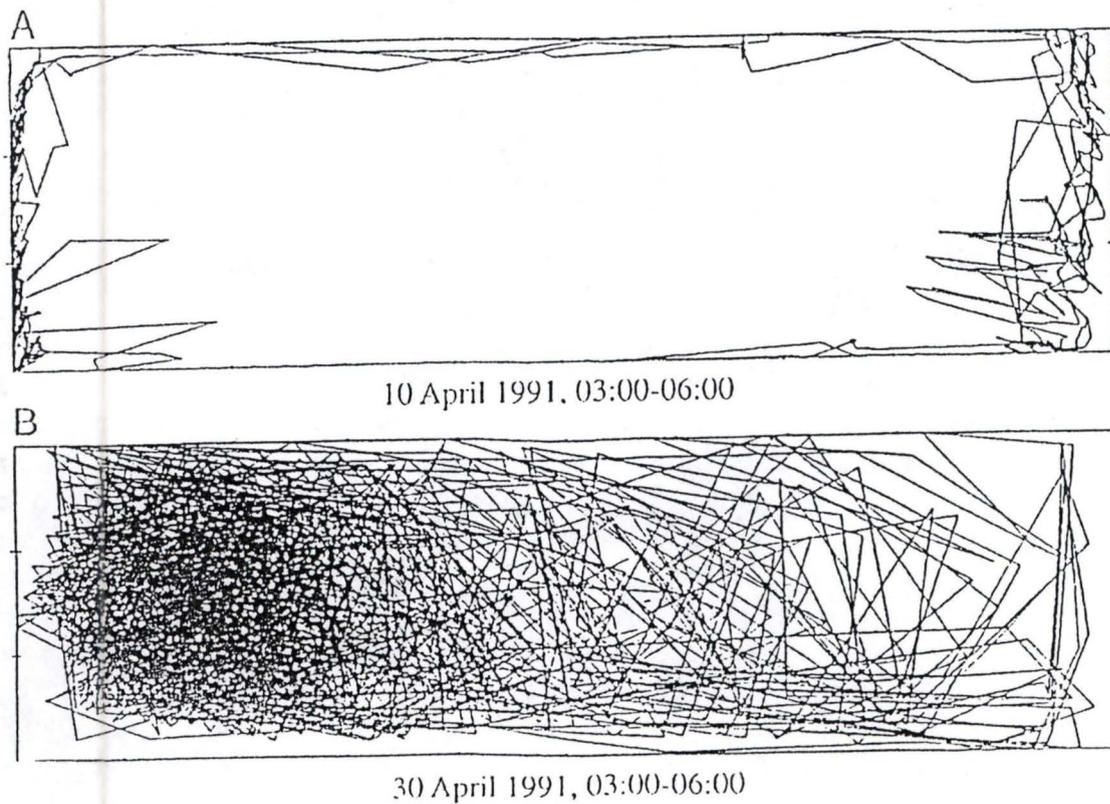


Fig. 1.10 : Mouvements de nuit d'une sole (*Solea solea* L.) dans une cage de 30m² dans un marais salin. A = les mouvements d'un individu cherchant sa nourriture. B = les mouvements d'un individu réagissant à un vent d'Ouest fort (traduit d'après LAGARDERE *et al.*, 1996).

cages (CHAMPIGNEULLE *et al.*, 1986 ; FERMIN *et al.*, 1996) ou pour concentrer les poissons sous les distributeurs automatiques (MALISON et HELD, 1995). Certaines larves de poissons, comme le bar asiatique, sont élevées en cages à l'aide d'une illumination artificielle. La croissance, la survie et la qualité de la chair sont significativement améliorées dans des cages illuminées 12h pendant la nuit. La lumière permet non seulement d'attirer le zooplancton mais permet aussi de localiser cette nourriture. Dans cette étude, les larves de bar exposées à une lumière continue consomment 40% de plus que celles soumises à un régime lumineux de 12L/12D (BARLOW *et al.*, 1995 in FERMIN et SERONAY, 1997).

MALISON et HELD (1991) rapportent qu'un éclairage interne du bac d'élevage facilite l'habituation de la perchaude à une nourriture préparée. Un nourrissage efficace résulte d'une bonne distribution et d'un bon contraste lumineux. NICKUM (1978 in MALISON et HELD, 1991) montre qu'une luminosité uniforme ou intense près du centre des bacs augmente l'acceptation de nourriture.

2.3.3.2. Vent

Le vent est un facteur météorologique qui, quoique peu cité en aquaculture, peut s'avérer d'une certaine importance dans les lacs de grande dimension. Sa variabilité est importante (fréquence, vitesse, direction journalière et saisonnière). Il assure la circulation de l'eau permettant une aération et une égalisation de la température et favorise les phénomènes de convection. Il peut aussi jouer un rôle important dans les infrastructures hors sol (le colmatage des mailles provoque le mouvement des infrastructures hors sol). Les vagues provoquées par le vent diffèrent en fréquence et en amplitude et influencent directement l'environnement dans la cage, ce qui peut affecter le comportement du poisson (SRIVASTAVA *et al.*, 1991). BEGOUT ANRAS (1995) cite l'importance de la direction du vent et de la pluie dans les rythmes journaliers et les changements saisonniers de ces rythmes dans le comportement alimentaire du bar notamment en modifiant la température de l'eau. Le vent peut, lorsqu'il est très fort, modifier le comportement du poisson, notamment en augmentant le comportement locomoteur (figure 1.10. in LAGARDERE *et al.*, 1996).

2.3.3.3. Précipitations

Les précipitations étant très variables dans le temps et l'espace, leur importance en aquaculture peut, elle aussi, être variable. En règle générale, les fluctuations sont d'ordre saisonnier mais aussi parfois d'ordre annuel. La pluie affecte à la fois le milieu et le poisson qui s'y trouve. La pluie entraîne des modifications de visibilité, affecte la productivité naturelle des étangs, abaisse sa température, modifie l'alcalinité et la quantité de phosphore total mais surtout effraie les poissons (lors des précipitations ou d'un temps couvert, le poisson ne se nourrit pas ou peu). L'influence de la pluie est d'un intérêt particulier agissant simultanément en inhibant le nourrissage et en amplifiant le comportement locomoteur (BEGOUT et LAGARDERE in BEGOUT ANRAS, 1995). Elle doit donc être prise en compte dans les stratégies de nourrissage.

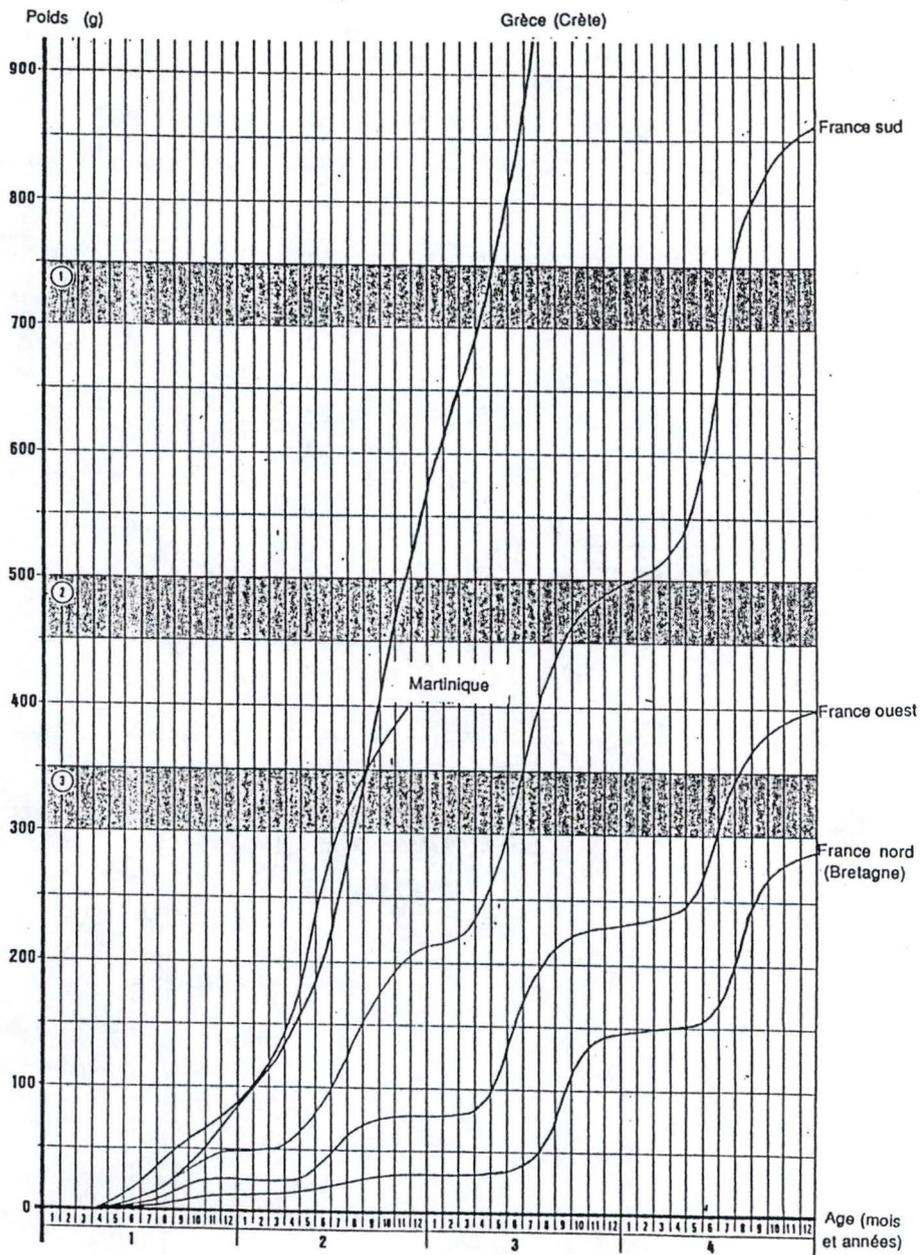


Fig. 1.11. : Courbes de croissance du loup, *Dicentrarchus labrax*, en élevage. 1, 2 et 3 représentent les meilleurs poids pour la vente (d'après DIVANACH, 1990 comm. pers. in BARNABE, 1991).

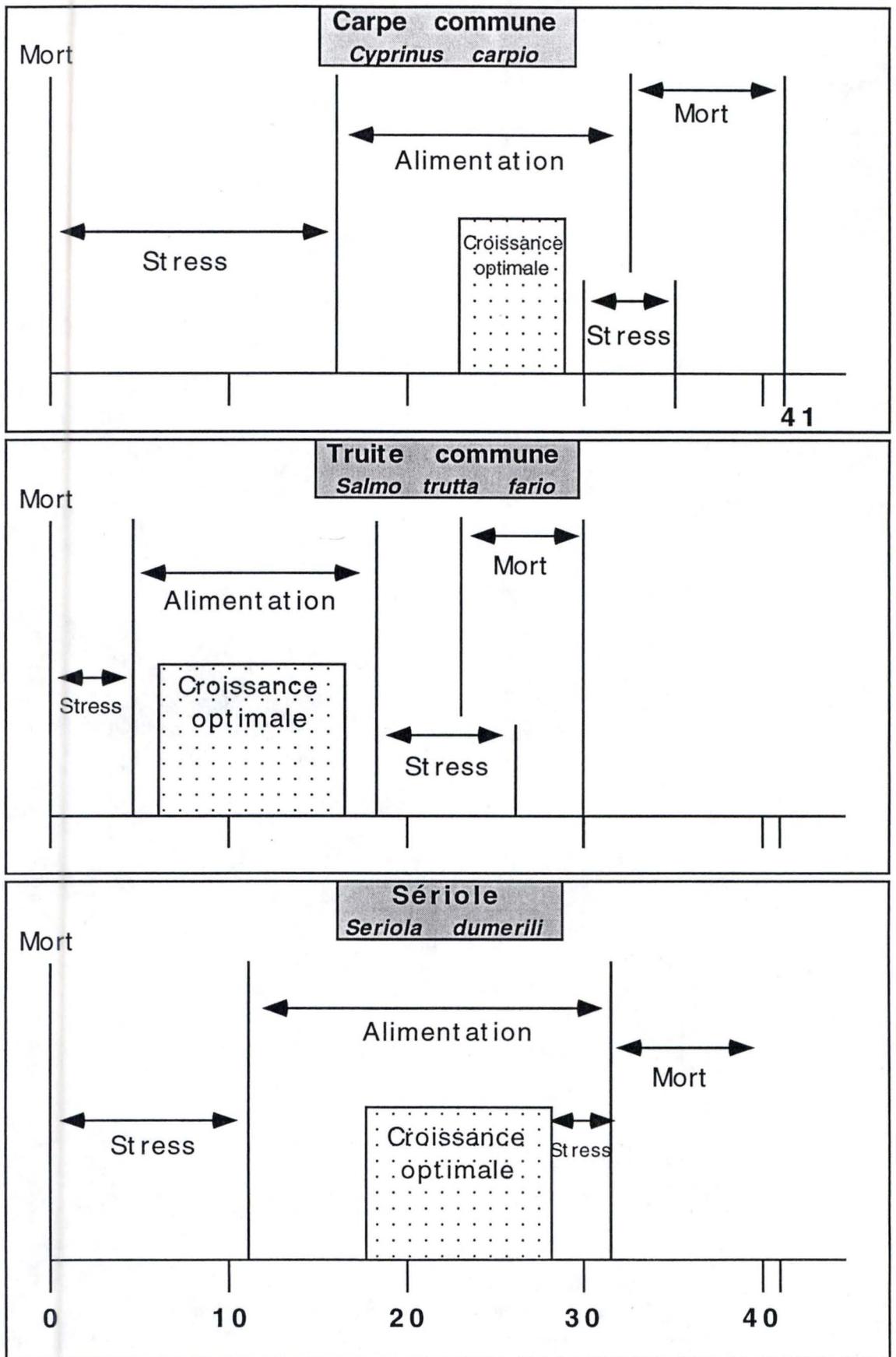


Fig. 1.12. : Besoin en température de la carpe commune (*C. carpio*), de la truite commune (*S. trutta*) et de la sériole (*S. dumerili*) (traduit et modifié d'après BEVERIDGE, 1987 et ELLIOT, 1981 in GODDARD, 1996).

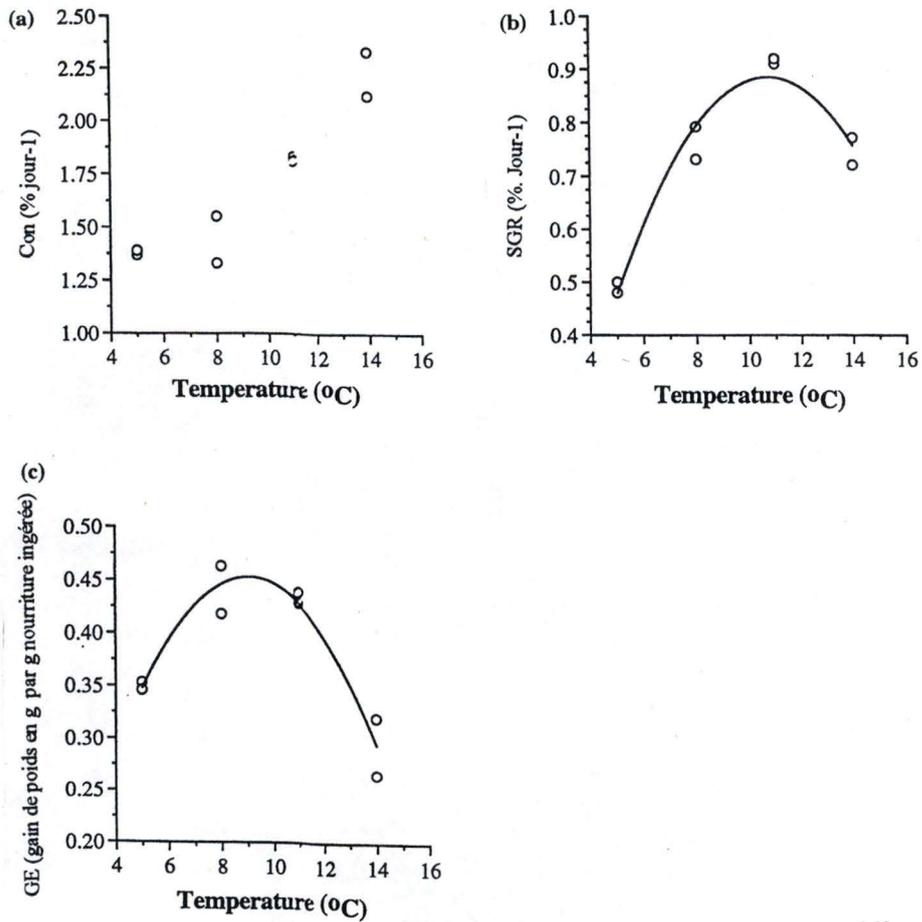


Fig. 1.13. : Relation entre la température de l'eau et (A) la consommation (Con, % par jour), (B) le taux de croissance spécifique et (C) l'efficacité de croissance (gain de poids en g par g nourriture) (d'après Mc CARTHY, 1998).

2.3.4. Facteurs physico-chimiques

2.3.4.1. Température

Les poissons, à quelques exceptions près (certains représentants des thunnidés), ne peuvent réguler leur température. Ils suivent donc les variations environnementales (0,5°C de plus par rapport au milieu). Toute baisse de température dans le milieu ambiant entraîne une diminution de leur température interne et, au contraire, un échauffement du milieu accroît la température corporelle, très rapidement dans les 2 cas. Les poissons peuvent être classés en sténothermes d'eau froide et d'eau chaude supportant mal les changements de température et en eurythermes supportant de plus grandes variations de température (annexe 1). Lorsque la température diminue, on observe un comportement de fuite, puis une immobilité de plus en plus léthargique (MOSNERON DUPIN et LAGARDERE, 1990). La température est corrélée négativement avec la quantité d'oxygène dans l'eau. Il existe 3 possibilités de réaction face aux changements de température (REQUENA *et al.*, 1997) :

- l'adaptation du métabolisme à la nouvelle température (REQUENA *et al.*, 1997);
- des migrations;
- une modification des rythmes d'activité.

L'étude réalisée par HIND (1977 in DIDIER, 1990) sur les perches de Finlande montre une croissance plus lente que celle observée pour les perches des Açores (GOUBIER *et al.*, 1983 in DIDIER, 1990). Une application directe en aquaculture est la disposition des sites d'élevage à différentes latitudes. DIVANACH (1990 comm. pers. In BARNABE, 1991) montre les différences de croissance chez le loup en élevage. Dans les élevages grecs et martiniquais, les poissons atteignent 400g dans leur deuxième année. En France, on observe un ralentissement dans la croissance dû à des eaux plus froides et à un effet saisonnier d'autant plus important que la latitude est élevée. Dans le sud et l'ouest de la France, il faut attendre respectivement la troisième année et la quatrième année pour atteindre 400 g, tandis que ce poids n'est que de 300g après 4 ans dans le nord de la France (figure 1.11.). BRETT (1979) cite l'existence d'un optimum de température sur la croissance. Au-delà de cet optimum, la croissance diminue. La figure 1.12. (traduit et modifié d'après ELLIOT, 1981 et BEVERIDGE, 1987 in GODDARD, 1996) montre les effets de la température chez 3 espèces, la carpe, la truite arc-en-ciel et la sériole (*Seriola dumerili*).

En général, la température optimale de croissance se situe quelques degrés plus bas que la température à laquelle la prise de nourriture est maximale (BUREL *et al.*, 1996). La figure 1.13. montre la relation entre la température de l'eau et (A) la consommation (Con, % par jour), (B) le taux de croissance spécifique et (C) l'efficacité de croissance (gain de poids en g par g nourriture) ingérée chez le juvénile de loup (*Anarhichas sp.*). On remarque que les optimum de l'efficacité de croissance et de taux de croissance sont différents (respectivement 11 et 9°C). La température régule la croissance à différents niveaux. Elle affecte :

- la prise alimentaire (ANDREWS, 1972 ; REQUENA *et al.*, 1997 ; BARNABE, 1991 ; BUREL, 1996);
- la vitesse de passage dans l'oesophage (BUREL *et al.*, 1996);

- le taux de digestion gastrique (BRETT et HIGGS, 1970);
- le taux de sécrétion d'enzymes gastriques (BRETT et HIGGS, 1970);
- les processus enzymatiques (DEMAËL et PERES, 1974 ; BARNABE, 1991);
- le taux d'absorption intestinale (BRETT et HIGGS, 1970);
- l'excrétion (BUREL *et al.*, 1996). La température, à travers ses effets sur les taux métaboliques, est directement reliée aux taux d'excrétion d'ammoniaque chez le poisson. Les taux d'excrétion de la carpe commune (OGINO *et al.*, 1973) et de la plie (*Pleuronectes platessa*) (JOBLING, 1981) augmentent à des températures élevées (in FORSBERG et SUMMERFELT, 1992). Dans l'étude de FORSBERG et SUMMERFELT (1992), le juvénile de doré a un taux d'excrétion significativement plus élevé à 25°C qu'à 20°C;
- les taux métaboliques (JOBLING, 1980 ; REQUENA *et al.*, 1997). Les processus métaboliques incluent la consommation alimentaire, la digestion (activité enzymatique), la croissance, l'excrétion ammoniacale et la consommation d'énergie.

Une manière de décrire les effets de la température sur les taux métaboliques est l'équation Q 10 (SCHMIDT-NIELSEN, 1983) :

$$Q 10 = (R2/R1)^{10/(T2-T1)}$$

R1 et R2 sont les taux métaboliques à température T1 et T2.

Cette équation est néanmoins limitée dans les larges gammes de température (KROGH, 1914 in FORSBERG et SUMMERFELT, 1992).

- synthèse protéique (BARNABE, 1991 ; KRUMSHNABEL *et al.*, 1997).
- besoins de maintenance (REQUENA *et al.*, 1997).
- diffusion des petites molécules (BARNABE, 1991).
- fonctionnement des membranes (BARNABE, 1991 ; KRUMSHNABEL *et al.*, 1997).
- maturation sexuelle (SANDSTRÖM *et al.*, 1995).
- taux de conversion (BORGHETTI et CANZI, 1993).

L'élévation de température augmente les besoins de maintenance (WINBERG, 1960 in PARENT et VELLAS, 1990). Les poissons s'adaptent aux différences de température, notamment en cas de stratification thermique. SUTTERLIN et STEVENS (1992) observent le comportement de la truite commune élevée en cages dans une plume thermique. Selon eux, 3 facteurs déterminent la distribution du poisson dans une cage en mer dans une eau stratifiée : la température préférentielle, la salinité préférentielle et les facteurs sociaux (densité, tendances agrégatives, compétition pour la nourriture et l'agression). Certaines truites montrent des cycles journaliers (d'une période de 12h) dans un *preferendum* thermique de 3-4°C. SPIGARELLI *et al.* (1983 in SUTTERLIN et STEVENS, 1992) rapportent des comportements similaires chez la truite commune à proximité de plumes thermiques et notent que les variations ne sont pas les mêmes pour chaque individu de jour en jour. Ils montrent que la truite commune exposée à des variations de température grossit mieux mais à la même efficacité de conversion que

celles gardées à température constante. Les poissons tendent à s'acclimater aux plus hautes températures de leur cycle, digèrent plus rapidement la nourriture à haute température mais l'assimilent mieux à faible température au moment où les poissons sont moins actifs. De tels cas permettent d'utiliser des gradients thermiques à des fins commerciales en optimisant des phénomènes tels le nourrissage, la digestion, l'assimilation et le métabolisme. Cet environnement stratifié permet au poisson de sélectionner des conditions optimum et permet une saison de croissance plus longue. Cependant, l'utilisation de cet environnement nécessite un volume de cage élevé. Par exemple, en conditions expérimentales et à densité faible, les ombles chevaliers nagent à 2-3m de profondeur et occupent seulement 13% de la cage. On adapte la ration alimentaire en fonction de la température et de la taille. Il faut faire un compromis entre l'augmentation de l'activité alimentaire et la diminution d'oxygène. Les températures extrêmes ont des effets très différents en fonction de l'espèce étudiée sur la prise alimentaire et la croissance. Certaines espèces sont capables de se nourrir à des températures très basses de l'ordre de 3°C et 4°C. C'est le cas de l'omble chevalier. Les processus métaboliques sont sensibles aux baisses de température. Une température en dessous de l'optimum résulte en une baisse de la prise alimentaire et de la croissance. Les poissons perdent l'appétit et la croissance cesse, dans la partie la plus basse de l'intervalle de tolérance (BRETT, 1979 ; ELLIOT, 1991 ; JOBLING, 1994 in KOSKELA *et al.*, 1997b).

Au-dessus de l'optimum de température, on a d'abord une augmentation du métabolisme standard qui laisse moins d'énergie disponible pour la croissance (DEMAËL et PERES, 1974). La mort thermique provient de changements dans les couches lipidiques des membranes et des variations de réactivité des enzymes.

Il existe des interférences avec d'autres facteurs, notamment la lumière. La température optimale de croissance chez le juvénile de doré dépend de l'intensité lumineuse (HOKANSON et KOENST, 1986 in CAI et SUMMERFELT, 1992). Elle est de 22°C à 230 lux (SMITH et KOENST, 1975 in CAI et SUMMERFELT, 1992), 26°C à 5 lux et CAI et SUMMERFELT (1992) donnent, eux, une valeur calculée de 25,3°C à 45 lux à partir de l'équation :

$$T_{opt} = 26,09 - 0,0178 \text{ lux}$$

2.3.4.2. Concentration en oxygène

Les poissons, dans leur milieu naturel ou dans les élevages, sont confrontés pendant des périodes plus ou moins longues à des baisses du taux d'oxygène dissous dans l'eau. D'une manière générale, un déficit en oxygène provoque une diminution de la consommation de nourriture et de la croissance (STEWART *et al.*, 1967 ; SMITH et HEATH, 1980 ; BRETT et BLACKBURN, 1981 ; BAHAMONDES, 1982 ; FRADKINE, 1985 ; MEDALE, 1985 in PARENT et VELLAS, 1990). La réduction de l'activité motrice observée correspond à un phénomène adaptatif chez les animaux aquatiques confrontés à des conditions anoxiques, dans le but de limiter les dépenses énergétiques (KUTTY, 1968 ; LOMHOLT et JOHANSEN, 1979 ; METCALFE et

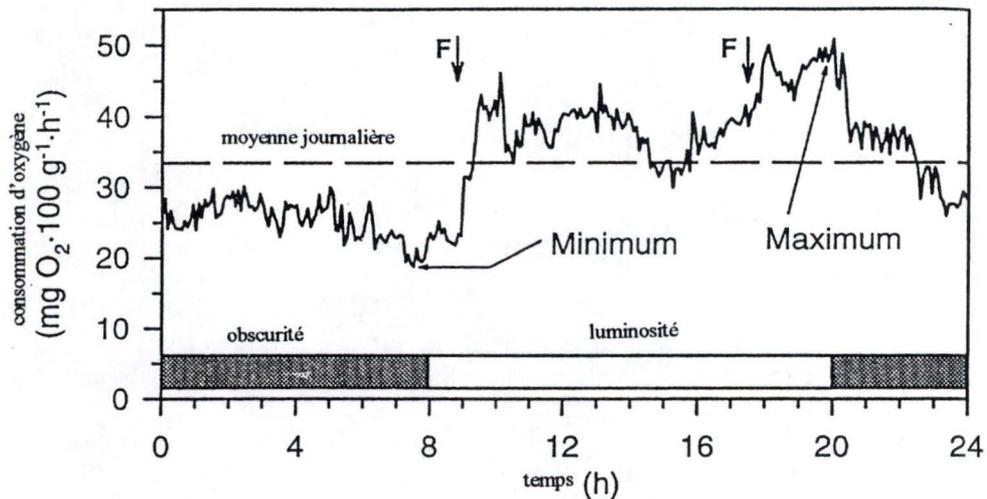


Fig. 1.14 : Rythmes journaliers de taux de consommation d'oxygène chez les juvéniles de dorade (*D. centrodonatus*) élevée à 20°C et 35°C.S. F indique l'apport de nourriture (traduit et modifié d'après Requena et al., 1997).

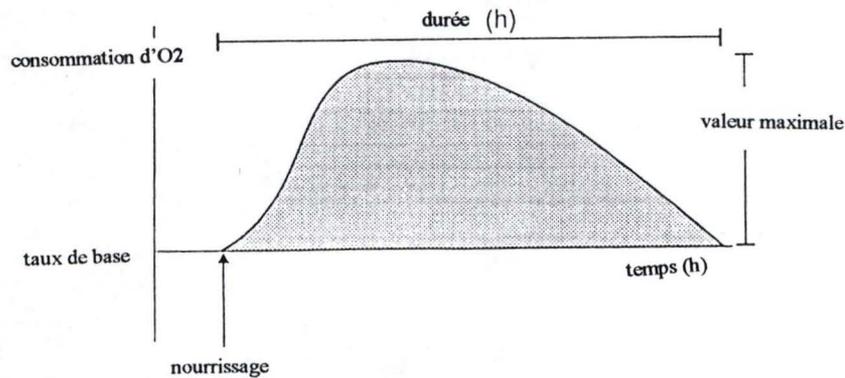


Fig. 1. 15. : Relation entre l'ingestion de nourriture et la consommation d'oxygène. La zone grise représente l'augmentation de la demande en oxygène suivant un nourrissage (traduit d'après JOBLING, 1981 in GODDARD, 1996).

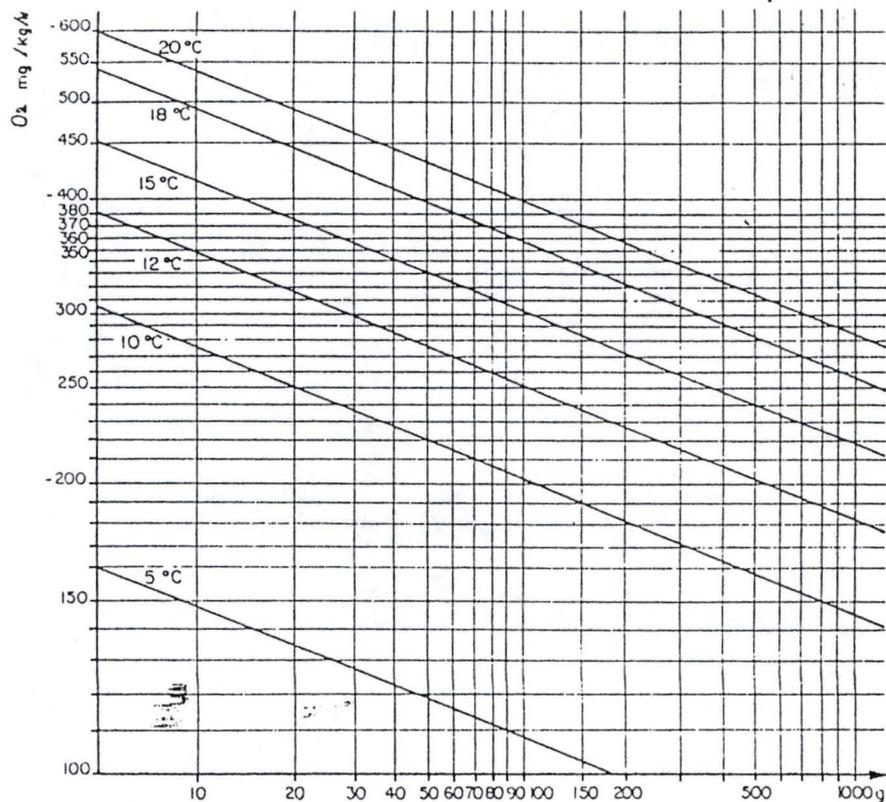


Fig. 1.17. : Consommation d'oxygène : influence de la température et du poids individuel chez la truite (*O. mykiss*) (d'après LIAO in BARNABE, 1991).

Espèce	nom scientifique	besoins en oxygène(mg/l)
	Chanos	1,5
mulet	Mugil	2,5-7,0
poisson-chat africain	Chlarias	5(larves),0,0(adultes)
poisson-chat nord-américain	Ictalurus punctatus	0,8-2
Tilapia	Oreochromis	0,2-2,0
Carpe Européenne	Cyprinus carpio	0,2-2,8
Carpe herbivore	Ctenopharyngodon idella	0,2-0,6
Carpe argentée	Hypophthalmichthys molitri	0,3-1,1
Carpe indienne	Catla catla	0,7-1,0

Fig. 1.16 : Besoins en oxygène chez quelques espèces d'élevage.

BUTLER, 1984 in PARENT et VELLAS, 1990). OTT et HEISLER (1980), pour la truite arc-en-ciel, et HUGHES *et al.* (1983 in PARENT et VELLAS, 1990), pour la carpe, montrent une diminution de la consommation d'oxygène avec une réduction du taux d'oxygénation de l'eau. D'après WEBER et KRAMER (1983 in PARENT et VELLAS, 1990), les poissons ajustent leur prise alimentaire en ingérant seulement la quantité de nourriture que leur approvisionnement en oxygène leur permet de transformer. Ces résultats sont confirmés par PARENT et VELLAS (1990) chez la truite arc-en-ciel.

En étang ou en lac, la concentration en oxygène peut varier dans le temps de façon saisonnière à la suite de la dynamique de mélange des eaux et aux variations de climat (température, vent, activité biologique) mais aussi de façon quotidienne liée aux activités biologiques périodiques, en particulier la photosynthèse. La consommation d'oxygène par les poissons est proportionnelle à leur degré de métabolisme et à leur consommation d'énergie qui dépendent de nombreux facteurs comme la température, le niveau d'activité, le niveau et la fréquence de nourrissage, etc.

L'oxygène est donc nécessaire pour toute fonction métabolique comme la digestion, l'assimilation de nourriture, la maintenance de la balance osmotique, ainsi que pour toute activité. La consommation d'oxygène augmente après le repas en fonction de la quantité d'aliments consommés, de sa valeur énergétique et de sa qualité (BRETT, 1979 ; BARNABE, 1991). Les figures 1.14. et 1.15. montrent l'augmentation de la consommation d'oxygène après un repas par rapport au taux de consommation normal. Cette augmentation est très rapide, passe par un maximum puis revient lentement à son niveau de base. Les taux de consommation varient selon les espèces (tableau 1.16.), la taille (inversement à la taille - illustrant le principe universel qui dit que le taux métabolique par unité de poids diminue lorsque la masse du poisson, à l'intérieur d'une espèce et parmi les différentes espèces animales, augmente (SCHMIDT-NIELSON, 1979 in CAI et SUMMERFELT, 1992) - et selon l'état de maturité (BARNABE, 1991)). Un exemple, montré à la figure 1.17., souligne l'importance de la température et de la taille dans la consommation d'oxygène chez la truite (LIAO, in BARNABE, 1991). Certaines espèces s'adaptent particulièrement comme l'anguille (*Anguilla anguilla*), qui possède une hémoglobine saturée pour des pressions partielles très basses, ou les poissons à organes supra-branchiaux comme les poissons-chats africains. En général, les poissons ajustent leur prise alimentaire en ingérant seulement la quantité de nourriture que l'approvisionnement en oxygène leur permet de transformer (PARENT et VELLAS, 1990). Lorsque la concentration diminue, le poisson peut réagir de différentes façons par :

- une migration;
- une augmentation des mouvements respiratoires via les branchies;
- une baisse de l'activité motrice pour limiter les dépenses d'énergie. Chez la carpe, on observe une baisse de la consommation d'oxygène lorsque la concentration diminue (PARENT et VELLAS, 1990).

Dans le milieu cage, l'aération dans et autour des cages peut aider au maintien de la concentration en oxygène mais aussi à la dissipation de gaz sursaturés provoquant des mortalités via des maladies, comme l'embolie (Bubble disease) et l'évacuation des déchets hors de la cage. Il faut aussi tenir compte du fait que, si l'ajout d'oxygène permet

l'intensification, cette intensification augmente les concentrations en métabolites dans l'eau qui limitent, à leur tour, la production (YAGGER et SUMMERFELT, 1993).

2.3.4.3. Turbidité

La turbidité se marque par une diminution de la transparence de l'eau. Cette turbidité peut avoir différentes origines (BEVERIDGE, 1987) :

- des solides organiques ou inorganiques en suspension dans la colonne d'eau, solides résultant à la fois de facteurs naturels (érosion, etc.) et anthropiques (effluents, déchets, etc.).

- un développement important du phytoplancton (bloom);

- un gaspillage d'aliments lorsque la quantité des aliments distribués excède les besoins des poissons;

- les pertes fécales liées à la capacité digestive de l'animal et à la composition de la matière première.

Le milieu d'élevage est donc la source de matières en suspension. L'effet primaire de la turbidité est de limiter la production primaire par restriction de la pénétration lumineuse. On a une relation inverse entre turbidité et production primaire, ce qui limite la production d'oxygène. Au Honduras, la productivité primaire et la récolte journalière de tilapias est plus basse qu'au Panama du fait de la turbidité argileuse du lac étudié (TEICHERT-CODDINGTON, 1992).

BOISCLAIR (1996) cite une relation positive entre l'activité, le taux de consommation et la transparence de l'eau chez certaines espèces. Lorsque la transparence baisse, les chasseurs à vue, comme la perche ou le brochet, ont du mal à repérer leurs proies, ce qui limite, voire empêche, la croissance. Les rejets de pisciculture, au-delà de l'aspect visibilité, entraînent des modifications dans la chaîne trophique du fait des rejets d'azote et de phosphore. De plus, certaines M.E.S. sont toxiques (sels de métaux) tandis que la dégradation des matières organiques consomme de l'oxygène. Chez la perche, la croissance et le taux de consommation sont liés négativement à l'eutrophisation (BOISCLAIR, 1996). Ceci est dû à la modification des proies disponibles et aux changements de comportement (la motivation ou la capacité à chercher ou capturer les proies baisse). Lors de l'eutrophisation, le taux de consommation baisse plus rapidement que les taux d'activité, laissant graduellement moins d'énergie pour la croissance. De plus, ce milieu très productif est souvent porteur de bactéries et autres pathogènes, entraînant aussi des modifications de l'épithélium branchial (la prolifération cellulaire pouvant parfois entraîner la mort). Il est important de signaler l'importance de l'espèce élevée dans la production de matières en suspension (comme les poissons fouisseurs ou crevettes par exemple). Cependant, les effets de la turbidité peuvent parfois être positifs. HECHT et PIENNAR (1993 in RIEGER et SUMMERFELT, 1997) citent une baisse du comportement territorial et du cannibalisme chez le poisson-chat africain élevé en eaux troubles. Chez le doré, élevé en conditions expérimentales, la turbidité, entraînant une baisse de la réflexion lumineuse, diminue l'attraction phototactique des larves vers les bords et réduit le problème du collage des larves sur les bords. Les larves sont alors uniformément réparties dans les bacs. De plus, elle augmente la vitesse de nage,

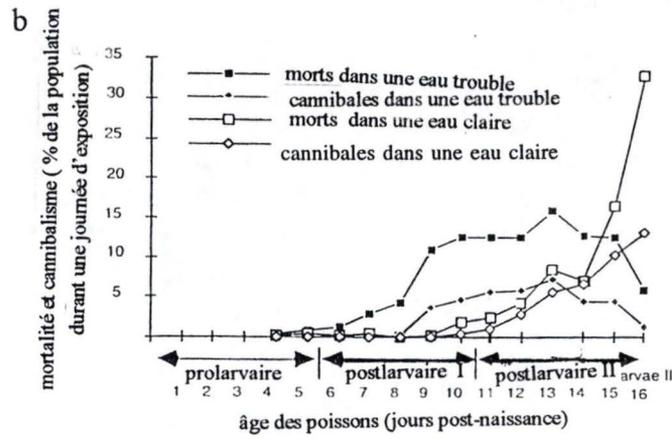
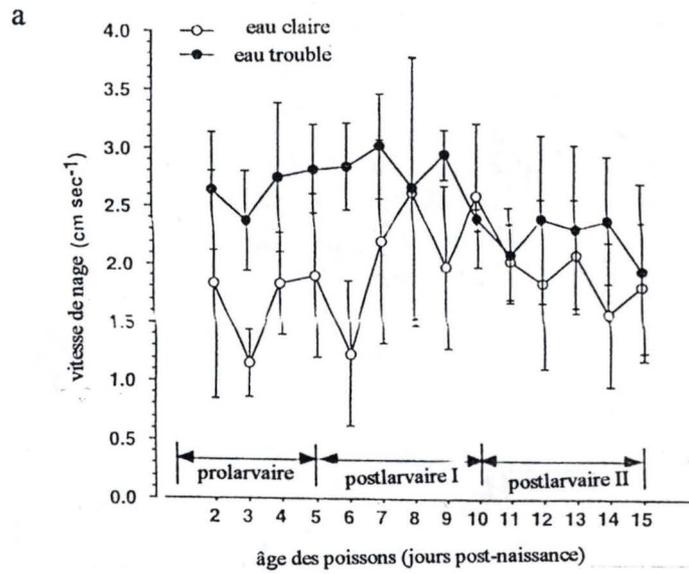


Fig. 1.18.a et 1.18.b : Changements temporels du cannibalisme journalier et de la mortalité des larves du sandre américain (*S. vitreum*) élevé en eau trouble ou en eau claire (traduit d'après RIEGER et SUMMERFELT, 1997).

l'inflation de la vessie natatoire (G.B.I. ou inflation gaz bladder), la croissance ainsi que la survie et diminue le cannibalisme ou son moment d'émergence (figure 1.18.). BRISTORM *et al.* (1996 in RIEGER et SUMMERFELT, 1997) rapportent une diminution du cannibalisme chez les larves de doré élevées dans des eaux troubles.

2.3.4.4. Flux

Les flux d'eau sont essentiels en élevage intensif. Ils permettent la réaération du milieu et l'évacuation des déchets et empêchent la stratification thermique et chimique. Les flux naturels sont liés aux vents et aux changements thermiques. Les flux d'eau à travers les enclos sont affectés par les forces de résistance exercées par la structure et les filets (INOUE, 1972 ; WHEATON, 1977 ; MILNE, 1979 ; BEVERIDGE, 1984 in SRIVASTAVA *et al.*, 1991). La réduction du flux dans un cage dépend d'un grand nombre de variables incluant le taux de circulation, la densité de l'eau, la taille de l'enclos et sa forme, le type de maille et de matériel, le degré de colmatage des mailles et de densité de stockage (MILNE, 1970, 1979 ; INOUE, 1972 ; WHEATON, 1977 ; KILS, 1979 ; BEVERIDGE, 1984 in SRIVASTAVA *et al.*, 1991). Un certain nombre d'études montre que l'exposition de salmonides, dont le saumon atlantique, à des courants modérés pendant des périodes prolongées, stimule la croissance somatique par diminution du stress induit par une hiérarchie sociale et un comportement agonistique (TOTLAND *et al.*, 1987 ; JORGENSEN et JOBLING, 1993 ; JOBLING *et al.*, 1993 in JORGENSEN et JOBLING, 1994). Il en résulte une augmentation de la prise de nourriture mais pas de l'efficacité de conversion (EAST et MAGNAN, 1987 ; CHRISTIANSEN et JOBLING, 1990 in JORGENSEN et JOBLING, 1994), sauf chez l'omble chevalier et le saumon atlantique (CHRISTIANSEN et JOBLING, 1990 ; CHRISTIANSEN et JOBLING, 1992 ; JORGENSEN et JOBLING, 1993 in JORGENSEN et JOBLING, 1994). Un régime d'exercices facilite la remise en forme après le stress des manipulations (LACKNER *et al.*, 1988 in JORGENSEN et JOBLING, 1994). Par exemple, KHOVANSKY *et al.* (1993 in JORGENSEN et JOBLING, 1994) montrent qu'un programme d'exercices de 2 mois mène à une réduction de la mortalité et à une augmentation de la capacité osmorégulatrice chez les juvéniles de saumon chum (*Oncorhynchus keta*) dans les 72 heures après le transfert en eau de mer. La dynamique de flux à l'intérieur de la cage influencera le comportement des poissons dans la cage. Par exemple, SRIVASTAVA *et al.* (1991) montrent que le comportement des truites arc-en-ciel diffère dans les eaux calmes et turbulentes dans 2 types de cage, rigide et non rigide. Dans des eaux calmes, les poissons nagent et se nourrissent. En eaux turbulentes, les truites réagissent d'abord en augmentant leur activité puis acquièrent une position stationnaire. Dans la nature, sous des conditions de turbulence, le poisson peut essayer de nager pour éviter cette turbulence (par exemple, nager vers des eaux plus profondes). En milieu confiné, il essaiera de faire la même chose puis se calmera et maintiendra sa position. Les eaux turbulentes participent au maintien de la structure de groupes. ROSENTHAL (1987 in SRIVASTAVA *et al.*, 1991) montre que le taux de circulation, la vitesse et la direction du courant influencent la cohésion et l'apprentissage de groupes de saumons et truites. En milieu marin,

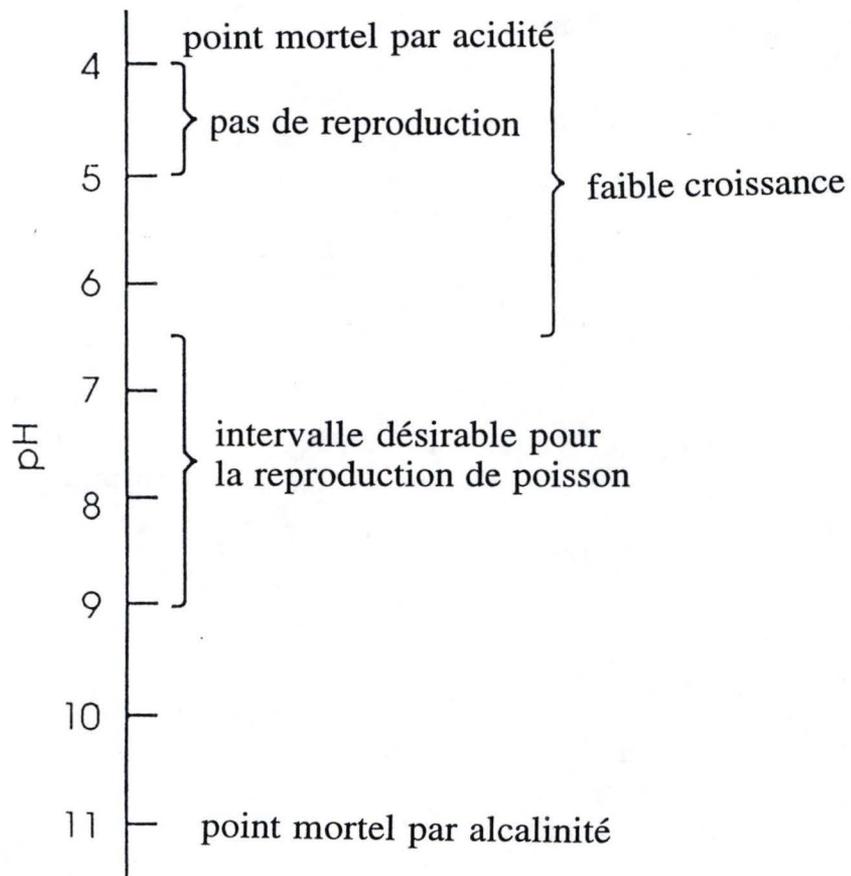


Fig. 1.19. : Relation pH/élevage de poissons (traduit d'après BOYD, 1990).

l'influence de la fréquence des vagues et de la hauteur sur la nage, et les interactions entre individus sont plus grandes dans des cages à filets que dans des cages rigides. La structure de la cage rigide dissipe une partie de l'énergie des vagues avec, pour conséquence, un stress moins important pour le poisson. De plus, en cas de fortes turbulences, le volume de la cage est réduit, ce qui laisse moins d'espace de nage et stresse encore plus le poisson. La turbulence de l'eau et le type de cage peuvent donc influencer le comportement du poisson. Le poisson ne se nourrit plus et les interactions comportementales et les distances entre poissons sont réduites. Les courants sont parfois utilisés pour augmenter la croissance et faciliter le transfert en eau salée, notamment chez les salmonidés. Des courants trop importants peuvent provoquer des déformations de squelette. C'est le cas chez la carpe (BEVERIDGE, 1987).

2.3.4.5. pH

La plupart des eaux naturelles ont un pH entre 5 et 10 (3 et 11 pour BEVERIDGE, 1987), avec les plus grandes fréquences entre 6, 5 et 9, ce qui semble être une fourchette idéale pour l'élevage de poissons. Le pH n'est pas stable mais varie durant la journée en fonction de la photosynthèse, avec un minimum à l'aube. Il existe aussi des variations saisonnières de pH surtout dans les eaux peu tamponnées (où l'augmentation de la biomasse phytoplanctonique entraîne une augmentation de la photosynthèse avec baisse du pH). Il existe une relation pH/élevage de poissons. On distingue en général des zones de pH faibles responsables d'une faible croissance, d'une faible reproduction, voire de la mort par acidité trop importante, une zone de pH favorable à une bonne production et une zone de pH élevé pouvant entraîner la mort par alcalinité trop importante (figure 1.19.). Les pH extrêmes ont un effet direct et indirect sur la croissance et la santé des poissons. L'acidification des lacs pose des problèmes importants en pisciculture dans certaines régions d'Europe et d'Amérique du Nord. En milieu naturel, les effets de l'acidification sont attribués à une fertilisation moindre, à une survie plus faible des embryons et des larves et à une baisse du succès de l'éclosion (LEIVESTAD *et al.*, 1976 ; RUNN *et al.*, 1977 ; PETERSON *et al.*, 1980 ; ROSSELAND *et al.*, 1980 ; RASK, 1983 ; DAYE et GLEBE, 1984 ; CLEVELAND *et al.*, 1986 ; TUUNAINEN *et al.*, 1987, 1988 in VUORINEN *et al.*, 1990). De plus, l'acidité cause des mortalités chez les adultes. A faible pH, le poisson est soumis à un stress acide qui va interférer avec la régulation ionique des branchies (DOCKRAY *et al.*, 1988). La quantité de mucus sur les surfaces branchiales augmente et interfère avec l'échange de gaz respiratoire et d'ions à travers les branchies. En conséquence, la chute dans la balance acide-base entraîne un stress respiratoire et une baisse de la concentration en NaCl dans le sang causant des perturbations osmotiques symptômes d'un stress acide. Certaines études montrent une baisse de la croissance à pH faible liée à une consommation moindre (larves de saumon de fontaine) à pH 4,5 ont une durée d'activité plus faible qu'à 5,5 (CLEVELAND *et al.*, 1986, in DOCKRAY *et al.*, 1988). Cependant DOCKRAY *et al.* (1988) montrent une meilleure conversion alimentaire et une augmentation de croissance à pH 5,2 chez la truite arc-en-ciel poussée par le besoin d'acquérir du NaCl.

L'augmentation de pH peut aussi endommager les branchies et stresser les

Espèce	pH léthal	pH évité	pH optimal
Perchaude (<i>Perca flavescens</i>)		4,1	
Meunier noir (<i>Catostomus commersoni</i>)		4,5	
Saumon atlantique (<i>Salmo salar</i>)		4,5	
Omble de fontaine (<i>Salvelinus fontinalis</i>)	4	4,7	5;7
Fondule barré (<i>Fundulus diaphanus</i>)	4;5	5,1	7,5;8,5
Omble chevalier (<i>Salvelinus alpinus</i>)	4;5	5,2	
Common shiner (<i>Notropis cornutis</i>)	4	5,4	8
Méné à nageoire rouge (<i>Rhinichthys diatulus</i>)	4	5,4	7;8
épine à trois épines (<i>Gasterosteus aculeatus</i>)	4	5,5	8;9
Mulet à cornes (<i>Semotilus atromaculatus</i>)	4	5,7	10
Truite commune (<i>Salmo trutta</i>)	4;5	5,9	9

Fig. 1.20. : *Preferendum* de pH chez quelques espèces et poissons (traduit et modifié d'après PETERSON *et al.*, 1988).

poissons. Les valeurs léthales d'acidité et d'alcalinité sont approximativement 4 et 11. Des eaux très douces (concentration en calcium inférieure à 8 mg/l) peuvent affaiblir la production piscicole (ARRIGNON, 1976 in PARENT et VELLAS, 1990) en potentialisant l'effet stressant des chocs thermiques (PARENT et CREANCH, 1977 in PARENT et VELLAS, 1990) et diminuent la résistance des poissons aux métaux lourds (AILLABASTER et LLOYD, 1980 in PARENT et VELLAS, 1990). Cependant, il existe des variations interspécifiques dans la tolérance aux variations de pH (PETERSON, 1988 figure 1.20.). Les résultats de PETERSON (1988) indiquent peut-être que la plupart des espèces n'ont pas de *preferendum* de pH étroit, comme pour la température. Le pH ambiant peut agir plus comme un facteur de contrôle, comme la température (FRY, 1947 in PETERSON, 1988).

En aquaculture, les effets directs sont moins importants que les effets indirects. A l'intérieur des limites acceptables, le pH influence la toxicité ou la disponibilité de certaines substances en modifiant leur degré de dissociation. A faible pH, la concentration en aluminium augmente dans l'eau, celle de phosphore diminue. Les pH élevés augmentent la proportion de l'azote ammoniacal toxique dans l'eau. En effet, l'équilibre $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{NH}_4\text{OH} = \text{NH}_4^{++} + \text{OH}^-$ est déplacé vers la gauche. L'élévation de pH est rare en aquaculture car le recyclage a tendance à abaisser le pH. De plus, on peut éliminer l'ammoniaque par biofiltration, échange ionique ou injection d'air (LUCHETTI et GRAZ, 1988 in CAI et SUMMERFELT, 1992).

2.3.4.6. Ions

L'ammoniaque est le principal produit d'excrétion azotée chez le poisson et résulte du catabolisme protéique. Les taux d'ammoniaque influencent la prise de nourriture et la croissance, augmentent la concentration en azote plasmatique et l'excrétion journalière. Les poissons s'affaiblissent, avec en plus des perturbations branchiales accompagnées de pertes d'équilibre ou des convulsions lorsque le niveau est élevé (PERSON- LE RUYET *et al.*, 1995 in PERSON- LE RUYET *et al.*, 1997).

On distingue souvent des variations journalières dans l'excrétion ammoniacale. Le pic d'excrétion ammoniacale dépend du moment du nourrissage et de la fréquence à laquelle est effectué le nourrissage. Lorsque les concentrations en ammoniaque deviennent trop élevées, le poisson est stressé, ce qui résulte en une réduction de la croissance (MEADE, 1985 in FORSBERG et SUMMERFELT, 1992). Une réduction de croissance significative a été rapportée pour des concentrations allant de 50 à 200 $\mu\text{g/l}$ d'ammoniaque (COLT et AMSTRONG, 1981 in CAI et SUMMERFELT, 1992). Peu de recherches ont été réalisées sur l'influence de la salinité sur la consommation alimentaire, la croissance et le budget énergétique (WANG *et al.*, 1997). Des juvéniles de carpe herbivore exposés à des salinités de 3%, 5%, 7% et 9% grandissent à un taux 2 fois inférieur à celui des poissons élevés en eaux douces (S.G.R. de 0,07 pour 1000 au lieu de 0,21% par jour). DAI GUIZHEN (1993 in WANG, 1997) rapporte que la carpe commune, la carpe à grosse tête (*Aristichthys nobilis*) et les alevins juvéniles de carpe herbivore grossissent vite et peuvent subir de faible concentration en oxygène lorsque la salinité fluctue autour de la limite supérieure de la salinité optimale de croissance (0-2

pour mille). Ceci indique que la salinité optimale pour la croissance du poisson, comme la température de l'eau, n'est pas un seul point mais un ensemble car le poisson s'adapte aux variations de l'environnement. Le taux de métabolisme standard est supérieur pour les juvéniles en eaux douces que dans une salinité à 2,5 pour 1000 (53,9% contre 51,1%). Ceci est probablement relié à une augmentation de la consommation alimentaire, incluant les pertes énergétiques du S.D.A. Les résultats de WANG *et al.* (1997) indiquent que la salinité optimale pour la croissance du poisson, comme la température, n'est pas un point fixe mais un ensemble car les poissons s'adaptent à des niveaux de salinité différents. L'adaptation à de nouvelles salinités dépend de la vitesse de changement de salinité. Tout comme les manipulations et les interactions sociales interspécifiques, un transfert abrupt d'eau douce vers une eau salée peut interférer avec la transformation parr-smolt (JOBLING et JORGENSEN, 1994). Pour USHER *et al.* (1991 in JOBLING et JORGENSEN, 1994), l'appétit et la croissance sont stoppés pendant plus de 30 jours après transfert de smolts de saumon atlantique.

2.3.5. Facteurs trophiques

Le phytoplancton est responsable de la production d'oxygène dans l'eau et des variations de concentration de l'oxygène pendant la journée, avec minimum à l'aube (entraînant parfois des conditions anoxiques). On a généralement un développement printanier d'algues phytoplanctoniques à la suite de l'augmentation du climat lumineux, du niveau élevé de nutriments et de l'augmentation de température. Ce bloom provoque une diminution de la pénétration lumineuse et de la visibilité responsables de la baisse de production dans les étangs où les poissons se nourrissent d'organismes naturels. De plus, il y a des risques de dommages aux branchies, de mauvais goût pour la consommation et de toxicité envers les poissons à la suite du développement de certaines formes de phytoplancton (par exemple, les cyanobactéries) (BEVERIDGE, 1987).

En milieu naturel, la plupart des poissons se nourrissent de zooplancton, au moins pendant certaines périodes de leur vie. Le zooplancton constitue la première nourriture des larves de poissons après le développement de l'appareil buccal. Le comportement alimentaire (vision, sélection, consommation) varie d'une espèce à une autre en fonction de la taille à l'éclosion, de la densité et de la diversité spécifique des proies (FIOGBE, 1996). L'importance de ce type de nourriture diminue lors du développement à la suite de la diversification des proies disponibles. Lors du réchauffement printanier, le développement important du zooplancton peut être utilisé par les pisciculteurs notamment en cages (CHAMPIGNEULLE *et al.*, 1986). L'alimentation en cages doit alors être adaptée. Il faut néanmoins tenir compte de la faible valeur énergétique de ces organismes naturels qui limite la croissance par rapport à une nourriture étudiée pour assurer une croissance optimale.

Il existe 2 types de comportement distinct chez les poissons se nourrissant de zooplancton : le nourrissage particulaire et le nourrissage par filtration. Dans la nature, le changement de comportement de nourrissage particulaire vers un comportement filtreur est fonction de différents facteurs comme la densité de proies et la taille des proies

disponibles (LAZZARO, 1987 in CHAKRABARTI et JANA, 1991). Il est établi que chez les alevins de carpe, une petite taille de bouche agit comme une contrainte dans la taille des organismes ingérés durant les premiers stades (WERNER, 1974 ; DABROWSKY et BARDEGA, 1984 in CHAKRABARTI et JANA, 1991). Les post-larves de carpe survivent et grossissent mieux lorsqu'elles sont nourries de petites formes planctoniques comme les protozoaires et rotifères tandis que les juvéniles grossissent mieux s'ils sont nourris de plus grands organismes aquatiques, comme les cladocères et les copépodes (JHINGRAM et PULLIN, 1985 in CHAKRABARTI et JANA, 1991). KADKA et RAO (1986 in CHAKRABARTI et JANA, 1991) montrent que la proportion de larges proies augmente dans la nourriture des larves de carpe commune avec l'âge, et qu'à tout âge, la sélection des proies est reliée à la taille de celles-ci. D'après CHANG *et al.* (1983) et JHINGRAM et PULIN (1985 in CHAKRABARTI et JANA, 1991), la carpe herbivore, la carpe argentée, la carpe à grosse tête et la plupart des carpes indiennes (*Catla catla*) requièrent toutes initialement une nourriture composée de microzooplancton, puis en grandissant se nourrissent de proies de plus en plus grosses, avec une transition graduelle des juvéniles vers une alimentation d'adultes. La stratégie d'élevage influence la composition planctonique et leur abondance. Il y a une relation directe entre la prise de plancton et le poids moyen de la carpe commune (CHAKRABARTI et JANA, 1991). L'augmentation de la concentration planctonique est due à l'augmentation de la qualité d'eau (notamment le pH qui, lorsqu'il est élevé, augmente la vitesse de reproduction de certaines formes de zooplancton constituant la plupart de l'alimentation des carpes communes).

3. Spécificité de la problématique alimentaire liée à l'élevage de poissons en cages flottantes

3.1. Essor et intérêt de ce type d'élevage

L'élevage en cages est une méthode d'élevage du poisson généralement depuis le stade juvénile jusqu'à la taille commerciale, dans des enclos flottants, dans un étang, un lac, en mer ou dans l'océan. Les avantages par rapport à l'élevage en étang ouvert (BEVERIDGE, 1987) sont ceux-ci :

- 1) Les cages permettent l'utilisation d'eau non utilisable en aquaculture du fait de la taille, de la configuration du fond, du manque de drainage ou d'obstructions rendant le drainage impossible;
- 2) Il est facile de suivre la santé et la croissance du poisson;
- 3) Certains comportements antagonistes (hiérarchiques ou territoriaux) disparaissent en cages. De plus en cages, il est facile d'enlever les plus gros poissons pour empêcher le cannibalisme;
- 4) L'élevage en cages demande moins de travail (construction). L'investissement au départ est peu élevé et la maintenance demande peu de moyens financiers;

- 5) La récolte est aisée et rapide;
- 6) Il est plus facile de faire face à la demande de marché;
- 7) Le traitement des maladies et des parasites est souvent simple et est plus économique qu'en milieu ouvert tels les étangs;
- 8) De nombreuses espèces peuvent être élevées en cages. De nombreuses études ont confirmé que le poisson élevé en cages est souvent supérieur à celui élevé dans d'autres systèmes et même dans la nature en termes de facteurs de condition, d'apparence et de goût.

Les désavantages peuvent être liés à la complexité du système d'élevage et de la difficulté, voire à l'impossibilité de contrôler les différents paramètres d'élevage :

- 1) Une nourriture complète à distribuer;
- 2) L'oxygénation de l'eau parfois basse peut causer des mortalités, le phénomène étant accentué par l'absence de possibilité de déplacement;
- 3) Le confinement et le surpeuplement dans la cage favorisent le stress et les maladies. De plus, dans cet espace confiné, les maladies se dispersent rapidement, à la fois dans et à l'extérieur des cages;
- 4) Les cages sont susceptibles de braconnage et de vandalisme;
- 5) Comme tout élevage, les cages peuvent provoquer des modifications environnementales qui peuvent, dans certains cas, s'avérer très néfastes.

A l'origine, les cages avaient un rôle de stockage lors de longues pêches (BEVERIDGE, 1987). L'aquaculture en cages s'est d'abord développée en Asie du Sud-Est à la fin du siècle dernier, puis dans le delta du Mékong, au Vietnam et en Indonésie. Une technique particulière s'est développée en Indonésie vers 1940. On élevait des carpes communes dans des cages en bambou que l'on nourrissait grâce aux déchets et invertébrés charriés par les canaux et rivières pollués. La culture en cages traditionnelle est encore pratiquée en Indonésie et Indochine. Les méthodes modernes utilisent des matériaux synthétiques et des métaux. Ces méthodes débutèrent probablement au Japon vers 1950. En Norvège, les cages furent utilisées pour l'élevage du saumon atlantique au début des années soixante et en Ecosse vers 1965. La culture en cages de tilapias débuta à la fin des années soixante. Le développement croissant de l'élevage en cages est donc récent (1970-1980). Il existe différents types de cages adaptées à différents types de cultures. En milieu d'élevage, il faut tenir compte des caractéristiques propres de l'espèce dans le choix du système d'élevage. Certaines espèces sont bien adaptées à ce type d'élevage. Par exemple, la sériole, par ses caractéristiques biologiques, est mieux adaptée à l'élevage en cages qu'à l'élevage en bacs (PORRELLO *et al.*, 1993). Un cas particulier est l'anguille qui, du fait de ses besoins environnementaux et de la forme de son corps, ne s'adapte pas aux cages.

Espèces	Taille du poisson (g)	Taux de stockage
poisson-chat nord-américain (<i>I. punctatus</i>)	1g	150-500 poissons
tilapia (<i>O. spp</i>)	1-14	35kg
carpe à grosse tête (<i>A. nobilis</i>)	100	10 poissons
truite arc-en-ciel (<i>O. mykiss</i>)	70	10-20kg
salmonidés	non spécifié	10-35kg
dorade japonaise (<i>Archosargus rhomboidalis</i>)	non spécifié	6-8kg
bar (<i>D. labrax</i>)	non spécifié	10-50 poissons
mérou (<i>Epinephelus morio</i>)	150	10-20 poissons
turbot (<i>Scotophtalmus maximus</i>)	50	240 poissons

Fig. 1.21. : Niveaux de stockage en cages pour différents poissons (traduit et modifié d'après MASSER, 1988 in WEBSTER, 1986).

3. 2. Problèmes spécifiques

En cages, les poissons sont soumis à des stimuli artificiels et naturels (JUELL, 1995). Les poissons sont soumis à des variations de paramètres météorologiques et physico-chimiques, se trouvent à haute densité par rapport au milieu naturel, sont nourris à l'aide de nourriture artificielle et sont soumis aux manipulations. Les mouvements sont restreints à un petit volume d'eau, ce qui modifie le comportement de nourrissage et de reproduction. Par exemple, la vie du saumon sauvage diffère fortement de celle du saumon d'élevage. Pour avoir une bonne efficacité de production, les stratégies d'élevage doivent prendre en compte les traits comportementaux des poissons (par exemple, l'agression) ainsi que leur capacité adaptative.

3.2.1. Densité d'élevage

L'élevage en cages se caractérise par des biomasses au m³ très élevées par rapport au milieu naturel mais faibles par rapport à l'élevage en raceways ou en bassins. Le tableau 1.21. reprend différentes densités de stockage utilisées pour différentes espèces élevées en cages. La capacité de chargement est fonction de la consommation d'oxygène et de la production de métabolites, ces paramètres étant proportionnels à la quantité de nourriture métabolisée par les poissons. La densité de stockage en cages dépend du site, de l'espèce, de la taille et de la méthode d'élevage (WEBSTER, 1996). Ici, le problème de densité accentue le déséquilibre avec le milieu, conduisant à une pollution du milieu et une altération des caractéristiques biotiques et abiotiques. L'effet de la densité sur le poisson dépend de la taille initiale, de la densité initiale, de la durée, du comportement et de la physiologie des espèces. La densité optimale varie selon les espèces, le but étant de stocker des poissons d'une taille suffisante pour atteindre la taille commerciale en fin de saison. En cages, on peut avoir une hétérogénéité de croissance très importante causée par un grand nombre de facteurs sociaux entre individus, d'où l'importance du tri des poissons, suivi d'un transfert vers d'autres cages avec de plus grandes mailles assurant ainsi une bonne circulation de l'eau. Chez le poisson-chat nord-américain élevé en cages, le tri en fonction de la taille a un effet positif sur la conversion alimentaire et le poids moyen des individus (LAZUR, 1996).

Le niveau d'interactions sociales peut être réduit en augmentant la densité de poissons (BROWN *et al.*, 1992 in ALANÄRÄ et BRÄNNÄS, 1992) mais peut dans certains cas stresser le poisson et réduire la croissance, notamment chez la truite arc-en-ciel (BAKER et AYLES, 1992 in ALANÄRÄ et BRÄNNÄS, 1992). Le comportement de nage des saumons élevés en cages est très fortement relié à la structure du groupe. Pendant les heures de jour, le poisson nage en groupe, la plupart des individus nageant dans la même direction, à mi distance entre les filets et le centre (SUTTERLIN *et al.*, 1979 ; FERNÖ *et al.*, 1988 in ALANÄRÄ et BRÄNNÄS, 1992). Un comportement similaire est observé chez la truite arc-en-ciel (KILS, 1989 in ALANÄRÄ et BRÄNNÄS, 1992). La vitesse de nage varie avec la saison (FERNÖ *et al.*, 1988 in ALANÄRÄ et BRÄNNÄS, 1992) et le moment de la journée, le rythme journalier de

vitesse de nage étant surtout relié au niveau lumineux (JUELL et WESTERBERG, 1993 in ALANÄRÄ et BRÄNNÄS, 1992) et à l'appétit. La structure de groupe tend à diminuer après le coucher du soleil (FERNÖ *et al.*, 1988), ce qui indique que le contact visuel est l'information sensorielle la plus importante dans la structure de groupe et qu'en dessous d'un certain niveau, les poissons se dispersent. Le comportement de groupe de saumons dépend de l'adaptation à la densité dans l'environnement en cages. Lorsqu'on augmente la densité de 30 à 530 individus dans des cages de 500m³, des poissons inactifs à nage non structurée passent à une nage continue circulaire (JUELL et WESTERBERG, 1993 in ALANÄRÄ et BRÄNNÄS, 1992). La truite arc-en-ciel et l'omble chevalier montrent un comportement de groupe lorsqu'on augmente la densité (KILS, 1989 ; CHRISTIANSEN *et al.*, 1992 in ALANÄRÄ et BRÄNNÄS, 1992), permettant une augmentation de l'efficacité de croissance par diminution du stress d'élevage. De plus, des poissons forcés à nager à contre courant forment des groupes et grandissent mieux (CHRISTIANSEN, 1991 in ALANÄRÄ et BRÄNNÄS, 1992), par diminution des phénomènes d'agression qui entraînent une augmentation d'appétit (FERNÖ *et al.*, 1988 in ALANÄRÄ et BRÄNNÄS, 1992). On peut donc manipuler la vitesse du courant (CHRISTIANSEN *et al.*, 1992 in ALANÄRÄ et BRÄNNÄS, 1992) ou les flux (THORPE et WANKOWSKI, 1979 in ALANÄRÄ et BRÄNNÄS, 1992) pour modifier les effets liés à la densité.

3.2.2. Alimentation

Il faut minimiser les pertes de nourriture en présentant la nourriture dans les meilleures conditions possibles lorsque le poisson est très motivé à se nourrir (SPIELER, 1977 ; PAARKER, 1984 ; SEYMOUR et BERGHEIM, 1991 ; POXTON, 1991 ; HANDY et POXTON, 1993 in BEGOUT ANRAS, 1995).

L'alimentation en cages dépend du type d'élevage (BEVERIDGE, 1987). L'élevage semi-intensif demande une nourriture peu protéique fabriquée à partir de matériaux locaux à petit prix. L'élevage intensif couvre tous les besoins nutritionnels qualitatifs et quantitatifs en protéines, en graisses, en carbohydrates, en minéraux et en vitamines. JOHANSEN et JOBLING (1998) citent l'influence du régime alimentaire sur la croissance du saumon atlantique (JOHANSEN et JOBLING, 1998).

En aquaculture en cages, le mode de distribution d'un aliment requiert une connaissance des variations journalières et saisonnières d'appétit et de compétition pour la nourriture parmi les poissons. Différents aspects du régime alimentaire peuvent être importants, en addition à la quantité de nourriture, comme la distribution spatiale et temporelle de nourriture (SMITH *et al.*, 1993). Si ces aspects ne sont pas optimisés, ceci conduit à des pertes de nourriture à la fois économiques et environnementales avec un taux de croissance faible ou parfois nul. Après le nourrissage, les poissons augmentent habituellement leurs taux métaboliques, ce qui se visualise par une augmentation de la consommation d'oxygène (TANDLER et BEAMISH, 1981 ; JOBLING, 1983 in CAI et SUMMERFELT, 1992) et d'excrétion ammoniacale (BRETT et ZALA, 1975 ; KAUSHIK et DABROWSKY, 1983 in CAI et SUMMERFELT, 1992). Ceci peut

parfois entraîner un pic de consommation d'oxygène 100% supérieur au niveau préférentiel et conduire à une augmentation de 500% de l'excrétion moyenne ammoniacale (BRETT et ZALA, 1975 in CAI et SUMMERFELT, 1992). Ces valeurs sont néanmoins extrêmes et des valeurs de 10% pour la consommation d'oxygène et de 30% pour l'excrétion ammoniacale sont plus typiques.

La digestibilité d'un aliment dépend de la qualité (des matières premières, du traitement, du goût), des capacités de l'appareil digestif des poissons, de leur condition et état physiologique ainsi que des conditions du milieu aquatique. La connaissance des interactions entre différentes variables peut être très utile pour déterminer la fréquence optimale de nourrissage, la quantité de nourriture et la composition alimentaire (WEIGEL, 1994).

3.2.2.1. Quantité

Pour BEVERIDGE (1987) et STOREBAKKEN (1991), le taux de nourrissage influence le gain de poids et l'efficacité alimentaire chez les poissons. Une faible utilisation de nourriture peut être due à de trop faibles (une croissance restreinte) ou trop hautes (des pertes de nourriture) rations alimentaires (JUELL, 1995). Il est donc essentiel d'adapter la taille de la ration. Les variations de croissance à l'intérieur de la cage sont en partie déterminées génétiquement mais peuvent aussi indiquer des conditions de nourrissage sub optimales chez certains poissons. D'un autre côté, le poisson ayant un accès illimité à la nourriture atteint un haut contenu de graisses viscérales ou atteint sa maturité précocement, ce qui réduit les bénéfices. Dans le but de déterminer le régime alimentaire qui va réduire ces problèmes, il est important de comprendre les mécanismes qui contrôlent le comportement de nourrissage et l'énergétique du poisson (le comportement de groupe, d'individu, le comportement de nage et de distribution). Le sous-nourrissage réduit le taux de croissance, ce qui réduit la production et le profit. Augmenter le taux de nourrissage entraîne une augmentation du pourcentage de graisses dans le foie, les muscles rouges et blancs, une augmentation du poids des viscères, du poids corporel mais pas des gonades, ainsi qu'une baisse des protéines viscérales.

3.2.2.2. Distribution

La distribution spatiale et temporelle influence la prise de nourriture et la croissance en cages. Une distribution localisée entraîne une monopolisation de la nourriture par les dominants et limite la prise de nourriture des subordonnés par intimidation (METCALFE *et al.*, 1992 ; OLLA *et al.*, 1992 in JUELL *et al.*, 1994a). Une faible intensité de nourrissage entraîne l'établissement d'une hiérarchie de dominance chez les salmonides. Cependant, l'intensité de nourrissage a un faible effet sur la prise de nourriture et la croissance de saumon atlantique en cages nourri par nourrisseur automatique dispensant l'aliment sur 15 à 20% de la surface de la cage (JUELL *et al.*, 1994 in JUELL, 1995). De faibles rations augmentent le comportement agressif (OLLA *et al.*, 1992 in JUELL *et al.*, 1994a) et les différences de croissance chez le juvénile de

saumon chum (DAVIES et OLLA, 1987 in JUELL *et al.*, 1994b). Des saumons en cages en mer s'adaptent à des niveaux variables de disponibilité alimentaire car en général le comportement du poisson est flexible. En cage, l'adaptation comportementale à l'intensité de nourrissage se marque par une faible profondeur de nage et une faible réponse initiale envers la nourriture dans des groupes de poissons nourris à faible ou forte intensité (JUELL *et al.*, 1994b). A ce niveau, l'expérience du poisson est importante (DILL, 1983 ; HUGHES *et al.*, 1992 in JUELL *et al.*, 1994b). L'apprentissage dépend du nombre de mise en condition et est réduit par la compétition et la présence de prédateurs (HUGHES *et al.*, 1992 in JUELL *et al.*, 1994b). Durant le nourrissage, le poisson passe d'une structure de groupe à la compétition pour la nourriture. Un nourrissage continu journalier peut affecter la structure de groupe. Au contraire, abaisser la période de nourrissage en élevant l'intensité des nourrissages peut augmenter le comportement de groupe. A ce niveau, la forme de la cage peut avoir un effet important. Les cages cubiques obligent le poisson à ajuster sa course lorsqu'il rencontre les bords de la cage, ce qui peut perturber la structure de groupe (KILS, 1989 in JUELL *et al.*, 1994b). Une solution serait d'utiliser des cages circulaires. La disponibilité alimentaire influence fortement la profondeur de nage au-delà de la période de nourrissage. Le poisson soumis à une faible intensité de nourrissage nage plus près de la surface qu'un poisson soumis à une forte intensité, pas seulement avant le nourrissage mais durant des cycles de 24 heures (FERNÖ *et al.*, 1995). Ce comportement varie, inversement à la ration alimentaire (JUELL *et al.*, 1994b). KADRI *et al.* (1996) montrent des différences de prise de nourriture marquées chez le saumon atlantique dans une cage en mer, indépendamment de la taille ou du sexe. Lorsque les poissons sont conditionnés à un moment de nourrissage, ce moment entraîne un nouveau rythme alimentaire. Dans ce cas, le poisson peut anticiper le prochain repas et compenser une opportunité de nourrissage en se nourrissant intensément lorsque la nourriture devient disponible. Par exemple, dans l'étude de SEATHER *et al.* (1996), lorsque la période de nourrissage est réduite à 5 heures, l'omble commune se nourrit plus que ce qui est prédit par le modèle de JOBLING *et al.* (1993). Le juvénile de saumon atlantique (METCALFE et THORPE, 1992) et l'omble chevalier (MIGLASS et JOBLING, 1989 in SEATHER *et al.*, 1996) montrent une augmentation d'appétit après des périodes de privation et la tendance à se nourrir apparaît comme étant inversement reliée au contenu lipidique du poisson (METCALFE et THORPE, 1992 ; JOBLING et MIGLAVS, 1993 in SEATHER *et al.*, 1996).

La distribution d'aliments à la demande limite les gâchis d'aliments. Elle offre au poisson la possibilité de se nourrir à satiété selon ses besoins, en fonction des conditions d'élevage et du contenu en énergie et en éléments nutritifs de l'aliment. Il permet de respecter les rythmes d'ingestion propres à chaque espèce (MEDALE *et al.*, 1994) et de contrôler les niveaux d'alimentation (COVES, 1998). Ce type de nourrissage est adaptable à différentes espèces, à différentes tailles, à différents types d'élevage (les bassins, les étangs, les cages) et permet de mesurer la prise de nourriture d'une population, d'un seul poisson ainsi que les rythmes à l'échelle d'un seul poisson et de la population (COVES, 1998). Le nourrissage à la demande est utilisé chez la truite arc-en-ciel, la truite de lac (*Salvelinus namaycush*) avec une période d'apprentissage de 45 jours, chez le tilapia (HARGREAVES *et al.*, 1988 in COVES, 1998) et la perche en

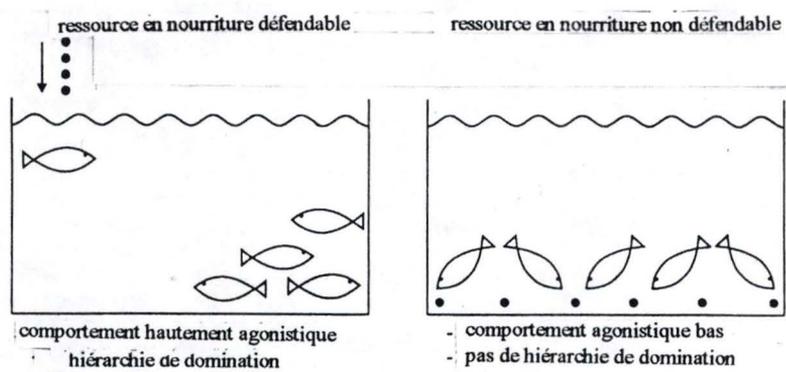


Fig. 1.22. : Comparaison des effets de ressource en nourriture défendable ou non sur le comportement agonistique de juvéniles de saumon chum (*O. keta*) (traduit d'après OLLA *et al.*, 1990 in GODDARD, 1996).

Type de nourrissage	Type de nourriture	de Usage	Avantages	Inconvénients
-nourrissage manuel	-tout type de nourriture supplémentaire et intensive	-utilisé dans des cultures semi-intensives. -méthode préférée de beaucoup de fermes intensives y compris la plupart des fermes de sériole (<i>S. dumerili</i>) au Japon	-pas de dépense de capitaux dans l'achat de nourrisseurs - et la surveillance de la santé des poissons -les poissons peuvent être nourris en fonction de leur appétit -permet une large distribution de nourriture	-peut devenir coûteux en heures de travail dans les grandes fermes -oblige l'éleveur à être présent -sous certaines circonstances, il peut mener à un sur-nourrissage -pauvre en valeurs de FCR et beaucoup de pertes
-nourrisseurs à demande	-granulés de nourriture sèche	-utilisé pour l'élevage semi-intensif et intensif de différentes espèces	-moins cher que les nourrisseurs automatiques -nécessite un travail moins intensif que le nourrissage manuel -les doses de nourrissage peuvent être ajustées aux conditions qui conviennent	-nécessite beaucoup d'attention pour éviter le sur-nourrissage -la plupart ne sont pas accessibles aux petits poissons (<10g) -les vagues peuvent déclencher certains nourrisseurs trop exposés à celles-ci -peut ne pas convenir à certaines espèces -mauvais schéma de distribution
-nourrisseurs automatiques (a) commandé par air	-granulés de nourriture sèche	-utilisé pour l'élevage intensif de salmonidés -utilisation peu courante pour l'élevage en cages	-l'éleveur peut préparer les doses de nourrissage ainsi que la durée de celui-ci -distribution de nourriture relativement bonne -nécessite un travail moins intensif que le nourrissage naturel	-bruyant, peut posséder des problèmes à des températures inférieures à 0°C -les valves peuvent geler -pas adaptable à tout type de cage -l'éleveur ne reçoit pas d'informations en provenance des poissons, ce qui peut entraîner un risque de sur-nourrissage
-(b) électriques	-granulés de nourriture sèche	-largement utilisé pour l'élevage intensif de poissons	-l'éleveur peut préparer des doses de nourrissage et la durée -nécessite un travail moins intensif que le nourrissage naturel	-l'éleveur ne reçoit pas d'informations en provenance des poissons, d'où risque de sur-nourrissage
-(c) actionnés hydrauliquement	-granulés de nourriture sèche ou humide	-utilisé principalement en Scandinavie pour l'élevage de saumons avec nourriture humide	-système informatisé répondant aux changements environnementaux -augmente les valeurs de FCR et réduit les changements de solides -adaptabilité aux différents types de nourriture utilisés -enregistrements informatiques détaillés	-possibilité de problèmes de perte de vitamines -installation très coûteuse

Fig. 1.23. : Principaux avantages et inconvénients de différents types de nourrissage utilisés en aquaculture et potentiellement en cages (traduit d'après BEVERIDGE, 1987).

cages (FONTAINE, 1997 et rapport F.A.I.R.1). ALANÄRÄ (1992) montre que les performances biologiques de la truite arc-en-ciel sont meilleures dans des conditions de nourrissage à la demande en cages. Le nourrissage à la demande n'est pas limité à la taille. Chez le bar, le nourrisseur à la demande peut être utilisé pour des tailles allant de 100mg à 250mg à des poids de 800g à 1500g. Chez cette espèce, la conversion alimentaire et le taux de croissance sont meilleurs (1, 36-1, 49) dans le cas d'un nourrissage à la demande. Les distributeurs à la demande ne se généralisent pas trop en intensif car ils accroissent la compétition interindividuelle et donc la dispersion des tailles. Cette technique augmente la qualité de l'eau et diminue les problèmes de maladie. Mais cette technique peut augmenter le stress et la compétition. THORPE *et al.* (1990) montrent que 18% des juvéniles de saumon atlantique consomment 41% de la nourriture en nourrissage automatique et sont responsables de la perte de 40,5% de la nourriture, contre 1,4% lorsqu'on les nourrit à la main. De plus, le courant peut parfois agiter la tige distribuant la nourriture. La figure 1.22. montre une comparaison des effets de ressource. ALANÄRÄ (1992) trouve qu'il est nécessaire de restreindre la ration alimentaire ou le temps d'accès à la tige pour avoir de bonnes performances de croissance chez la truite arc-en-ciel. Pour JUELL *et al.* (1994a), la distribution temporelle de nourriture influence les variations de taille et la croissance chez les salmonides. Il faut augmenter la fréquence de nourrissage pour diminuer l'effet des dominants. La réponse d'un poisson dépend fortement de la réponse des autres plutôt que de la vue de la nourriture. Le distributeur automatique, guidé par ordinateur et actionné par air comprimé, transfère l'aliment en quantité déterminée. Le distributeur automatique marche bien avec le poisson-chat nord-américain et la truite arc-en-ciel car ces espèces possèdent un estomac bien développé. Par contre, la carpe et le tilapia nécessitent un nourrissage fréquent et peu important. Cette nourriture délivrée à intervalle régulier ne tient pas compte de la santé des poissons. Une amélioration est un système qui mesure la température et ajuste la ration en fonction des variations de température (le F.C.R. est élevé et les déchets baissent). La nourriture flottante peut s'avérer plus intéressante que la nourriture coulante, comme pour le poisson-chat nord-américain mais n'est pas utilisable pour les poissons tactiles, comme l'esturgeon (*Acipenser spp*) ou se nourrissant sur le fond, comme le turbot. Une réponse faible peut être le signe d'un manque d'oxygène ou de problèmes de santé. A cet égard la distribution à la main est une bonne méthode car elle permet de visualiser le comportement alimentaire et d'adapter la ration à la demande. Si la présentation de nourriture est moins prévisible en termes de temps et d'espace, il est plus difficile pour les individus dominants de monopoliser cette nourriture. Par exemple, si le poisson dans une cage est nourri à la main avec une nourriture répandue sur toute la surface en quelques fois sur la journée, il y aura une meilleure distribution parmi les individus que si la même quantité de nourriture est délivrée en un seul point (THORPE *et al.*, 1990). Cette méthode de présentation de nourriture réduit les avantages de dominance sociale et assure de mêmes opportunités de nourrissage pour tous les individus dans une population, diminuant ainsi les différences de croissance. Le tableau 1.23. reprend les principaux avantages et inconvénients de différents types de nourrissage utilisés en aquaculture et potentiellement en cages.

3.2.3. Fouling

La plupart des informations de ce chapitre proviennent de BEVERIDGE (1987) et DUBOST *et al.* (1996). Le biofouling est le résultat de la colonisation et de la croissance d'organismes sédentaires et semi-sédentaires sur des structures artificielles placées dans l'eau (VENUGOPALAN et WAGH, 1990 in DUBOST *et al.*, 1996). Il se compose principalement d'organismes mais aussi de matériel organique ou minéral piégé dans l'enchevêtrement biologique. Le fouling est un problème important pour les surfaces immergées (READ et GORDON, 1991 in DUBOST *et al.*, 1996) et particulièrement en aquaculture (PORTER, 1981 ; HUSE *et al.*, 1990 in DUBOST *et al.*, 1996). Les cages flottantes utilisant des filets sont particulièrement vulnérables durant la saison chaude (MORING et MOURING, 1975 ; MILNE, 1976 in DUBOST *et al.*, 1996). Les conditions environnementales du site se dégradent rapidement et deviennent une cause de stress pour les poissons élevés (INOUE, 1972 ; LOVEGROVE, 1979 in DUBOST *et al.*, 1996). Le fouling est surtout étudié en milieu marin (MILNE, 1970 ; MILNE, 1976 ; LOVEGROVE, 1979 in DUBOST *et al.*, 1996) et peu en eaux douces où il pose généralement moins de problèmes (BILLARD, 1978 ; BEVERIDGE, 1987 in DUBOST *et al.*, 1996). La diversité des organismes colonisateurs augmente avec le temps et dépend du site. Elle est plus grande en milieu marin que dans les eaux courantes (lorsque la salinité diminue, le fouling diminue (CHEAH et CHUA, 1979 ; BEVERIDGE, 1987 ; VENUGOPLAN et WAGH in DUBOST *et al.*, 1996)). D'après BEVERIDGE (1987), la taille et la diversité de la colonisation sont grandement affectées par la température. Les matériaux utilisés pour les filets (le métal ou les matériaux synthétiques) ainsi que leur forme influencent le degré de fouling. MILNE (1976) et KUWA (1984) montrent que les cages en galvanisé développent moins de fouling que les fibres synthétiques (in DUBOST *et al.*, 1996). D'après FAURE (1986 in DUBOST *et al.*, 1996), plus la taille des mailles est petite, plus on a incrustation. Cependant, dans l'étude de DUBOST *et al.* (1996), le maximum de fouling se trouve à une taille intermédiaire (4-6mm), avec un maximum de développement entre 0,4 et 1 m de profondeur. Une surface et un temps d'immersion élevés augmentent le biofouling, diminuant les flux à travers la cage (MORING et MOURING, 1975 ; MILNE, 1976 ; FAURE, 1986 ; HUSE *et al.*, 1990 in DUBOST *et al.*, 1996) et la résistance aux flux (HUGENIN et ANSUINI, 1978 in DUBOST *et al.*, 1996). En conséquence, l'apport d'oxygène dissous (INOUE, 1972 ; OJEDA et STRAWN, 1980 ; LOLAND, 1993 in DUBOST *et al.*, 1996) et l'évacuation des déchets sont diminués. De plus, les risques de blessures et de maladies chez les poissons sont augmentés. Cependant, le biofouling peut avoir des aspects positifs. Par exemple, la colonisation par des invertébrés amphipodes et isopodes (CHEAH et CHUA, 1979 in DUBOST *et al.*, 1996) peut fournir une nourriture supplémentaire pour les poissons d'élevage et peut augmenter le taux de croissance et le taux de conversion primaire (MORING et MOURING, 1975 in DUBOST *et al.*, 1996). Cependant, le fouling est généralement considéré comme un des principaux problèmes liés à ce type d'élevage. Ce phénomène dépend du site, de la taille du filet et, parfois, de l'espèce élevée. Il provoque une diminution de la taille des mailles du filet, empêchant les flux d'eau à travers les cages. Les conséquences sont multiples :

- 1) une baisse des apports en oxygène;

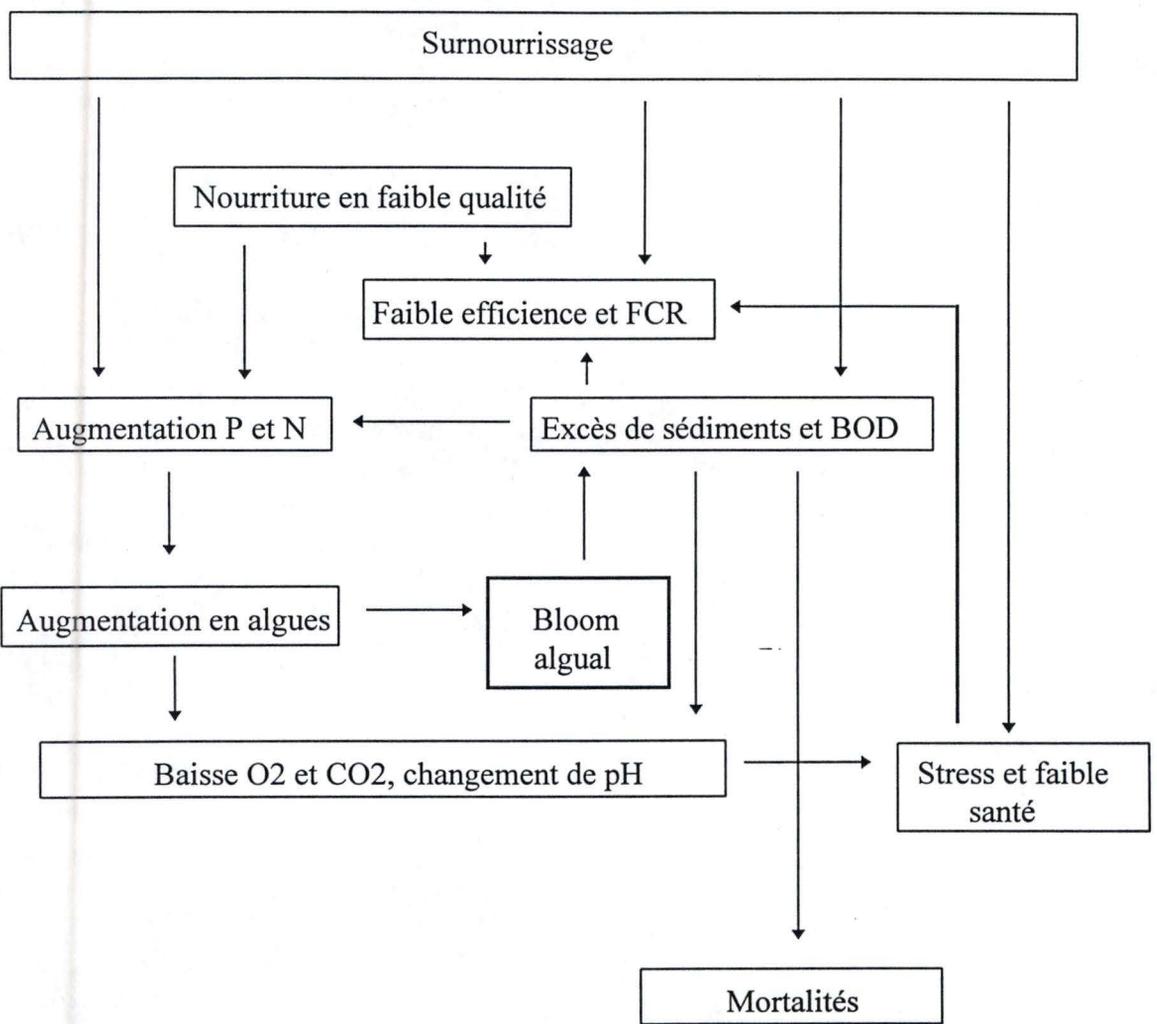


Fig. 1.24. : Déclin des conditions environnementales associées à l'élevage en cages en eau douce (in Salmon and trout farming, Editions L.M. LAIRD et NEEDHAM).

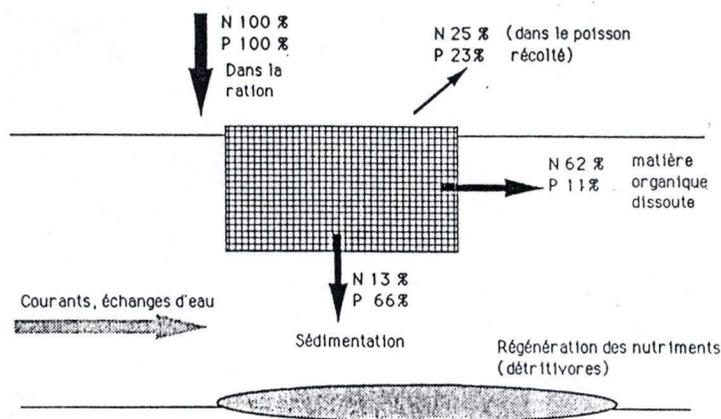


Fig. 1.25. : Devenir de l'azote et du phosphore au cours du cycle de culture dans une cage de salmonidés (d'après FOLKE et KAUTSKY, 1989 in BARNABE, 1991).

2) une limitation de l'évacuation des déchets hors de la cage. Ceux-ci se décomposent à l'intérieur, avec pour conséquences une baisse de qualité d'eau ainsi que des risques de développement bactérien;

3) une augmentation de la résistance aux flux, entraînant des déformations et une diminution du volume de la cage.

BEVERIDGE (1987 in DUBOST *et al.*, 1996) cite plus de 200 espèces de plantes et animaux s'attaquant même aux structures. La première étape est la formation d'un film primaire d'algues et de détritiques. L'évolution en taille, la diversité et le pattern de développement de ce foyer d'infections dépendent du matériel utilisé ainsi que des conditions environnementales (la température et la productivité de l'environnement). Il existe différentes solutions au problème :

1) un nettoyage chimique (mais cela pollue le milieu et rend les poissons malades);

2) un nettoyage mécanique;

3) un antifouling;

4) un stockage de poissons herbivores (XIONG BANGXI *et al.*, 1994 in DUBOST *et al.*, 1996).

3.2.4. Evacuation des déchets

En général, lorsque les poissons ont faim, on les retrouve près de la surface. Lorsque la motivation au nourrissage diminue, la nourriture coule vers de plus grandes profondeurs avant d'être ingérée et on a alors des pertes plus importantes (JUELL, 1988 ; JUELL *et al.*, 1992 in JUELL *et al.*, 1993). Les déchets d'origine alimentaire résultent d'aliments non consommés, de l'utilisation digestive et métabolique des composants du régime, c'est-à-dire qu'ils sont fonctions de ce que le poisson n'utilise pas pour sa croissance (figure 1.24.). La figure 1.25. reprend le devenir de l'azote et du phosphore au cours d'un cycle de culture dans une cage de salmonides. On y constate que 75% de l'azote ingéré et 77% du phosphore est perdu, et que seul 25% de l'azote et 23% du phosphore est réellement incorporé dans le poisson. JUELL *et al.* (1993) considèrent que 30% à 40% de la nourriture est perdue dans l'élevage de saumon norvégien. Cette nourriture se dépose en partie sur le fond mais sert aussi de nourriture aux poissons environnants. C'est pourquoi tout effort pour améliorer l'ingestion, la digestibilité et la rétention des composants du régime alimentaire a un effet bénéfique à la fois sur la qualité de l'environnement et la productivité de l'élevage. La non consommation résulte d'un excès de distribution par rapport à l'appétit du poisson qui varie au cours de la journée ou d'un jour à l'autre, en relation avec les besoins et la qualité de l'environnement (MEDALE *et al.*, 1994). La nourriture perdue (souvent très protéique en cages (YI *et al.*, 1996)), les fèces et l'excrétion d'ammoniaque ajoutent des nutriments à l'eau et peuvent provoquer une eutrophisation accélérée. Cela augmente la quantité d'algues, de macrophytes et potentialise la baisse en oxygène.

Les poissons en cages sont soumis à des nourritures très protéiques, les déchets dérivant de la nourriture étant directement ou indirectement relâchés dans

l'environnement causent une eutrophisation accélérée (YI *et al.*, 1996). Le dépôt de déchets dépend des conditions locales comme le courant, l'espèce, le type de nourriture, les conditions d'élevage, entraînant une pollution organique, une augmentation d'activité des macrophytes, des champignons, des bactéries, puis une chute du niveau d'oxygène dans l'hypolimnion. S'il y a déstratification, il peut y avoir des mortalités dans les cages. En cage, c'est par sédimentation (le matériel particulaire) ou diffusion dans l'eau (les substances dissoutes) que les déchets sont éliminés. Des problèmes proviennent de la non adaptation de la nourriture car les besoins varient selon l'espèce. Le manque de profondeur empêche l'accumulation des déchets et provoque le fouling (AWALUDDIN *et al.*, 1994). Les rejets polluants d'origine alimentaire peuvent être limités par une meilleure gestion de l'alimentation, par le choix de matières premières hautement digestibles et adaptées aux besoins des poissons et par le respect de l'équilibre entre nutriments dans le régime. L'utilisation extensive de différents produits chimiques pour traiter les pathologies et augmenter la productivité affecte la flore bactériologique (HUSEVAG *et al.*, 1991 in BUSCHMANN *et al.*, 1996), le phytoplancton et le zooplancton (GRANELI *et al.*, 1989 ; CARLSSON *et al.*, 1990 in BUSCHMANN *et al.*, 1996). L'introduction d'espèces, notamment de pathogènes ou d'espèces sélectives, est à prendre en considération. Les modifications sont souvent difficiles à quantifier car on n'a pas souvent de site propre pour comparer. Les courants sont responsables de la diffusion de nutriments et de leur dépôt. Pour minimiser l'impact écologique de l'élevage intensif en système ouvert, on peut utiliser des pompes, bouger les cages périodiquement ou utiliser une nourriture plus écologique (GOWEN et BRADBURY, 1987 ; BERGHERM et KELLY, 1993 ; BUSCHMANN *et al.*, 1993 in BUSCHMANN *et al.*, 1996). Pour éviter les pollutions génétiques, éviter les fuites de poissons et utiliser de systèmes de stérilisation (BERGAN *et al.*, 1991 in BUSCHMANN *et al.*, 1996). Le développement de maladies est un problème sérieux et entraîne des pertes de stocks et, en conséquence, l'augmentation de l'utilisation de médicaments. L'utilisation d'antibiotiques peut avoir des effets considérables sur la communauté microbienne dans les sédiments (HANSEN *et al.*, 1993 in BUSCHMANN *et al.*, 1996) et facilite le développement de bactéries résistantes aux antibiotiques, même dans des sites d'aquaculture abandonnés (HUSEVAG *et al.*, 1991 in BUSCHMANN *et al.*, 1996).

Des techniques d'intégration ont été proposées comme alternatives pour optimiser l'utilisation énergétique et minimiser les impacts écologiques de l'élevage en cages (FOLKE et KAUTSKY, 1992 in BUSCHMANN *et al.*, 1996) mais sont encore en stade de développement. On peut notamment citer l'élevage huître du Pacifique-saumon chinook (*Oncorhynchus tshawytscha*) (JONES-IWANA, 1991 in BUSCHMANN *et al.*, 1996) et du laminaire *Laminaria*-saumon (*S. salar*) en cages (PETRELL *et al.*, 1993 in BUSCHMANN *et al.*, 1996).

Matériel & Méthodes

1. Description du site

1.1. Le complexe de l'Eau d'Heure

Le complexe de l'Eau d'Heure est constitué de 2 grands barrages, la Plate-Taille et l'Eau d'Heure, et de 3 pré-barrages, Féronval, Falemprise et le Ry Jaune (figure 2.1). L'ensemble du site comprend 600 ha de lacs et plans d'eau à une vingtaine de kilomètres au sud de Charleroi, entre Philippeville et Beaumont.

Le lac de la Plate-Taille (347 ha, 66,5 millions de m³, altitude = 250m, pluviosité moyenne = 813 mm/an) présente pour l'aquaculture une potentialité d'exploitation intéressante (catégorie oligotrophe, concentration en chlorophylle a = 2g/m³) (DEHAVAY, rapport IHE 1981, KESTEMONT *et al.*, 1996). Cependant, ce lac est essentiellement utilisé à des fins touristiques (comme la voile, par exemple) et est soumis à des variations du niveau d'eau à la suite de l'exploitation du barrage :

	côte (m)	capacité (10 ⁶ m ³)	superficie (ha)
max. journalier	250	66,5	347
min. journalier	248	60	325
min. minimorum	230	16.2	162

Ces variations rapides de niveau imposent une installation du ponton contenant les cages loin du bord. Cet éloignement peut provoquer des problèmes lors des transports de poissons vers la berge. Ces transports seront dès lors réduits au plus strict minimum.

1.2. Description des installations

1.2.1. Description du système de ponton flottant

Le système de ponton flottant est constitué d'éléments assemblés creux de 0,68*0,68*0,4 m en polyéthylène haute densité (lupolène BASF 5261Z, Cubi Aquatechna, France). Ce système présente comme principaux avantages de pouvoir être facilement assemblé, modifié (en forme et en surface), de ne pas nécessiter de frais de maintenance et de posséder une très haute flottabilité (supérieure à 385 kg m⁻²). A la suite des problèmes pathologiques rencontrés à Féronval et après des essais très satisfaisants obtenus sur 4 cages installées en 1997 à la Plate-Taille, un transfert de la totalité des cages de Féronval vers la Plate-Taille fut réalisé fin 1997 et début 1998. Les nouvelles installations permettent d'installer 30 cages de 2m³ et 4 cages de 8m³.

1.2.2. Description des cages

Cinq cages de 2 m³ (1,3*1,3 m, hauteur 1,8 m dont 0,5 m hors de l'eau pour éviter l'échappement des poissons) furent utilisées dans le cadre de cette étude (figure 2.2.). Les mailles des filets utilisés (firme Ribola, Peschiera (Italie)) sont de 12 mm. Les cages C16 et C17 furent utilisées dans le cadre de l'étude de l'ingéré, et les cages C2, C3 et C4

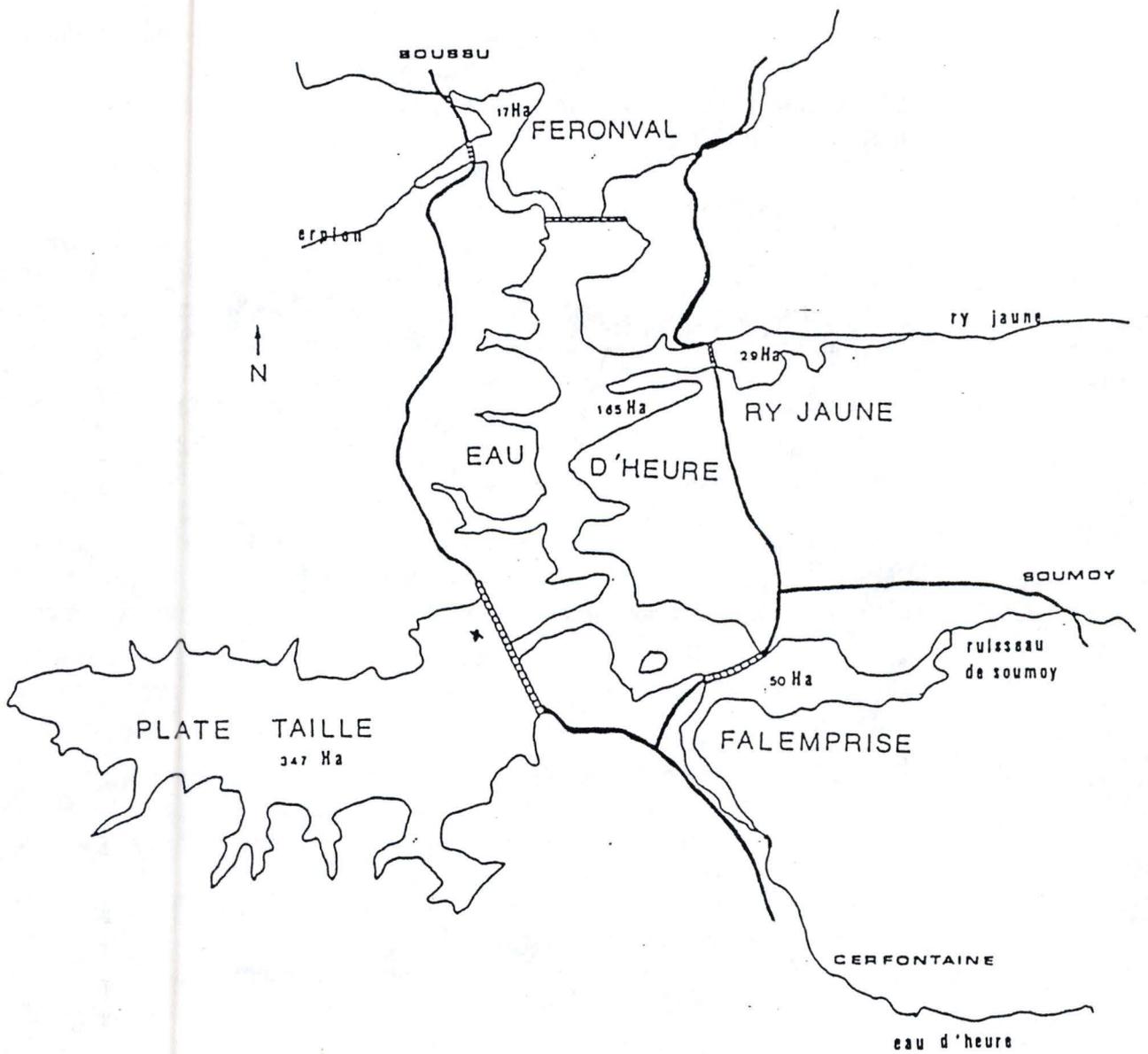


Fig. 2.1. : Schéma général du complexe des barrages et pré-barrages de l'Eau d'Heure (d'après Dehavay, 1981).



Photo 1: Vue générale du ponton flottant.



Photo 2: Vue des cages munies de nourrisseurs à tapis et de filets protecteurs.

le furent dans le cadre de l'étude de la rythmicité alimentaire. Les cages sont munies de nourrisseurs à tapis 24V. Cependant, certaines cages comme C16 et C17, utilisées pour les expériences d'ingéré, sont nourries à la main. De plus, chaque cage est couverte d'un filet de protection contre les oiseaux piscivores (photos 1 et 2).

2. Description de l'espèce étudiée

Fortement appréciée en Europe pour la qualité de sa chair, la perche eurasiennne (*P. fluviatilis*) est pour la pisciculture un nouvelle espèce potentiellement exploitable (figure 2.3.). Cette espèce fait partie de l'ordre des perciformes, de la famille des *percidae* et du genre *perca*. La biologie, l'état de la pisciculture, encore au stade expérimental, et les exigences écologiques de cette espèce sont décrits par FIOGBE (1996) :

- Température : ce poisson est considéré comme eurytherme. Le préférundum thermique est variable d'une saison à l'autre en fonction de la taille de l'individu. En captivité, la température optimale de croissance se situe entre 22 et 24°C (MELARD et KESTEMONT, 1994 ; MELARD *et al.*, 1995). A température plus élevée, ces auteurs observent une baisse de croissance et une augmentation de la mortalité à la suite de la prolifération d'ectoparasites (*Epistilis*). Pour KITCHELL *et al.* (1977), la température optimale en milieu naturel est de 29°C pour les jeunes alevins et de 23°C pour les adultes.

- Oxygène : il est impossible à la perche de prospérer dans une eau qui contient moins de 3ml d'oxygène au litre (MUUS et DAHLSTRÖM, 1991 in FIOGBE, 1996). Les perches s'adaptent au manque d'oxygène par diminution de leur activité motrice et par migration (CRAIG, 1987 in FIOGBE, 1996). La concentration minimum est de 1,1-1,3 mg/l à 16°C et de 2,25 à 20-26°C. FRY (1957 in FIOGBE, 1996) rapporte que les activités de la perchaude (*P. flavescens*), espèce très proche de la perche, diminuent à partir du seuil de 7 mg/l à 20°C, bien qu'elle soit capable de survivre à 0,25 mg/l à 2,4-4°C.

- pH : en milieu naturel, cette espèce est absente à des pH inférieurs à 5. Elle peut néanmoins s'adapter à des pH faibles par modification des échanges ioniques entre les branchies et le milieu extérieur.

- Salinité : des tests de tolérance à la salinité montrent une parfaite adaptation de la perche à des concentrations allant de 0 à 10% (BERGIN, 1949 ; LUTZ, 1972 in FIOGBE, 1996). Cependant, ce poisson préfère des salinités de 1,8 à 3,5% (KEUP et BAYLES, 1964 in FIOGBE, 1996).

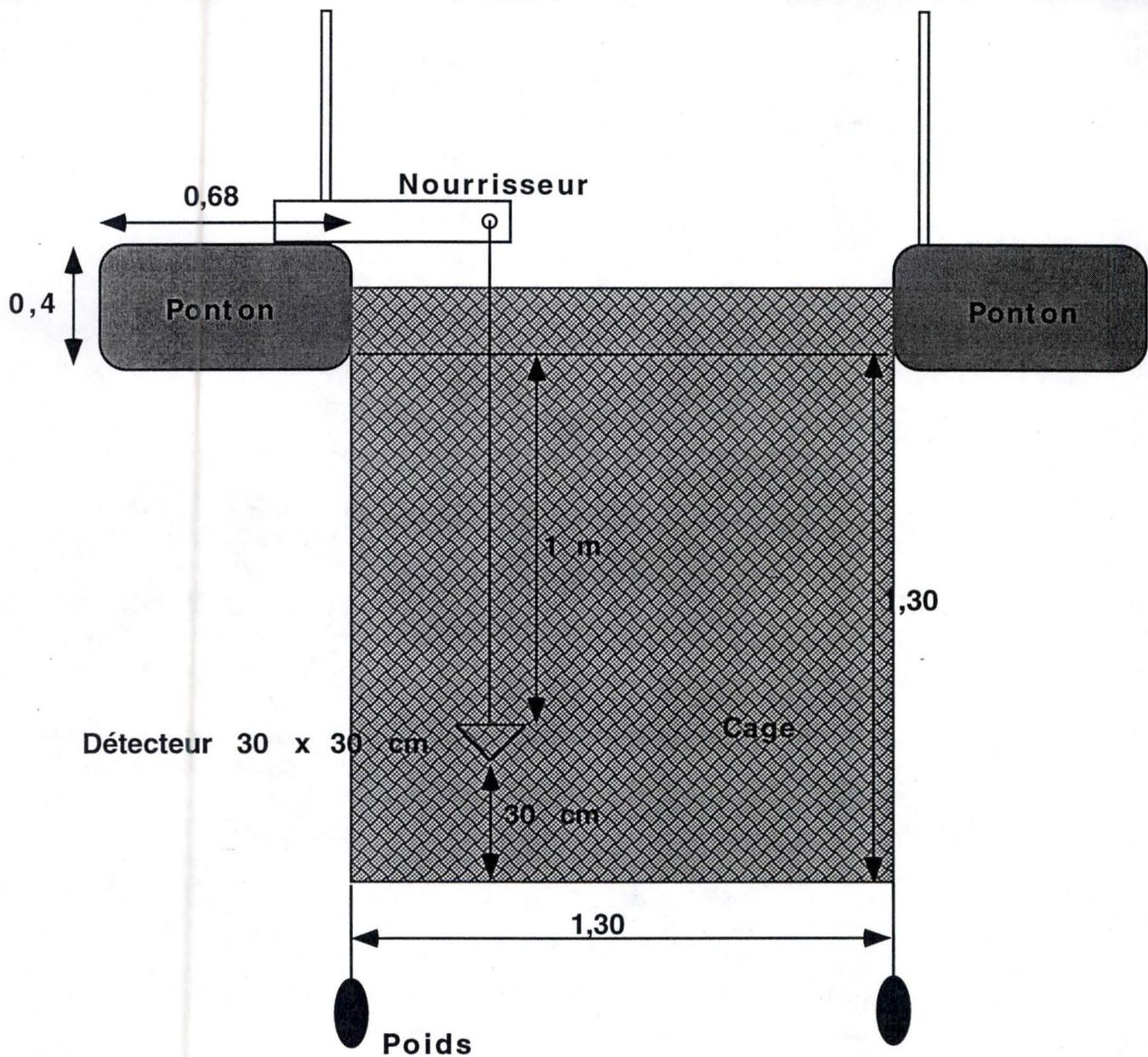


Fig. 2.2. : Schéma général d'une cage avec détecteur utilisé dans le cadre de l'étude de l'activité.

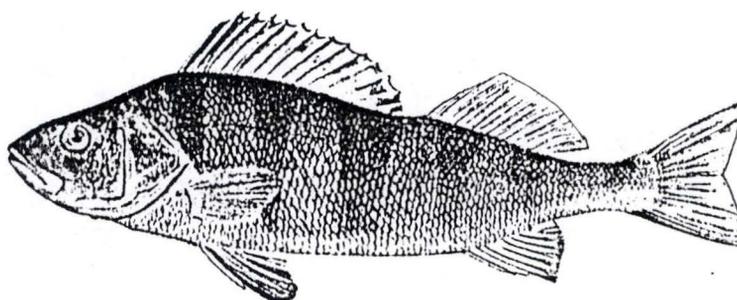


Fig. 2.3. : La perche fluviatile *Perca fluviatilis* L. (d'après Fiogbé, 1996).

3. Etude de l'ingéré

3.1. Alimentation des poissons

Des juvéniles de perche (PM : 36g, SEM = 0,6), provenant de la Station d'Aquaculture de l'Université de Liège à Tihange, ont été mis dans 2 cages de 2m³ (C16 et C17) à une densité de 6,5kg/m³. Ces poissons sont nourris de Biomar Aquasmart (granulés de 3mm, taux de protéines brutes : 42%, taux de lipides bruts : 22%) selon des rations journalières optimales calculées sur la base des équations décrites par KESTEMONT *et al.* (1995) :

$$\text{à } 14^{\circ}\text{C} : \text{Ration optimale (\%)} = 1,25 * P(\text{g})\text{exp-}0,21 \quad R^2 = 0,99$$

$$\text{à } 17^{\circ}\text{C} : \text{Ration optimale (\%)} = 2,17 * P(\text{g})\text{exp-}0,26 \quad R^2 = 0,83$$

$$\text{à } 20^{\circ}\text{C} : \text{Ration optimale (\%)} = 3,01 * P(\text{g})\text{exp-}0,26 \quad R^2 = 0,86$$

A température inférieure, la ration distribuée est légèrement modérée par rapport à celle calculée pour 14°C.

3.2. Description de la méthode utilisée

3.2.1. Introduction

L'étude de la prise alimentaire fut réalisée à l'aide de la technique de radiographie des poissons. Cette méthode, développée par TALBOT et HIGGINS (1983 in CARTER *et al.*, 1995) est décrite par Mc CARTHY *et al.* (1993) et CARTER *et al.* (1995). Cette technique permet l'étude du comportement alimentaire des poissons et des prises de mesure répétées de taux de consommation alimentaire de poissons élevés en groupes sous différentes conditions sans altérer le régime alimentaire. Elle permet d'étudier les variations intra et interindividuelles de taux de consommation alimentaire. L'utilisation de cette technique est rapportée dans l'étude de la consommation alimentaire chez différentes espèces de poissons gardés en groupes, surtout chez les salmonides, dont l'omble chevalier (*S. alpinus*) (JOBBLING *et al.*, 1989 ; JORGENSEN et JOBLING, 1989, 1990 ; CHRISTIANSEN et JOBLING, 1990 ; CHRISTIANSEN *et al.*, 1992, Mc CARTHY *et al.*, 1993), le saumon atlantique (*S. salar*) (JORGENSEN et JOBLING, 1992 ; CARTER *et al.*, 1990, 1994 in Mc CARTHY *et al.*, 1993), la truite arc-en-ciel (*O. mykiss*) mais aussi chez la carpe herbivore (*C. idella* (Val)) (CARTER *et al.*, 1992, 1993).

3.2.2. Principes de la méthode.

Les mesures les plus importantes pour assurer le bon fonctionnement du système sont les suivantes :

1. La nourriture utilisée lors de l'expérience doit avoir la même composition nutritionnelle et la même texture que la nourriture habituelle. Lorsque la nourriture marquée est recomposée, la nourriture habituelle doit l'être aussi.

2. Une courbe de calibration de la nourriture doit être préparée. Nous avons, pour la totalité des expériences, utilisé 3 courbes de calibration dont les équations sont les suivantes :

$$y = 0,029x \quad R^2 = 0,9997$$

$$y = 0,0082x \quad R^2 = 0,9968$$

$$y = 0,009x \quad R^2 = 0,9981$$

3. La nourriture marquée doit être distribuée au même moment, pendant la même durée et de la même façon que la nourriture habituelle. L'intervalle de temps entre le début du nourrissage et le X-ray doit être assez court pour empêcher la défécation des billes ballotini mais assez longue pour éviter la régurgitation lors de l'anesthésie. Une période de 60 minutes est considérée comme suffisante.

4. Après la période de nourrissage, les poissons prélevés sont anesthésiés, photographiés et pesés. Le degré d'anesthésie doit être suffisamment élevé pour que le poisson ne bouge pas lors de la photographie.

5. Après développement de la photo, on peut compter les billes et estimer la quantité de nourriture ingérée par les individus à partir de la courbe de calibration. Le poids sec de nourriture consommée par chaque poisson est alors soustrait du poids humide du poisson et le taux de consommation spécifique au poids est calculé (mg nourriture sèche/g poids humide par individu).

3.3. Mesure de l'ingéré individuel

3.3.1. Préparation de la nourriture marquée

Dans notre étude, le but n'est pas de suivre individuellement chaque poisson mais plutôt de faire un suivi du comportement alimentaire de la cage. Dans ce but, la prise alimentaire journalière fut déterminée à différentes occasions en utilisant une nourriture repelletée à laquelle les poissons sont habitués quelques jours avant la mesure. Cette nourriture repelletée est en fait fabriquée à partir de nourriture distribuée habituellement. Elle est moulue, filtrée afin d'obtenir une poudre homogène à laquelle est incorporée 1% de billes plombées ballotini (taille 9, diamètre 290-420 μm ; firme Jencons Scientific Ltd.) visibles aux rayons X. Ensuite, elle est malaxée à l'aide d'un robot Kenwood "Major" pendant 3 heures, puis les granulés sont reformés à l'aide d'une machine conçue

à cet usage (Berkel modèle 2822). L'aliment est ensuite séché à l'air libre et réduit en granulés semblables à ceux de l'aliment de départ.

3.3.2. Calibration de la nourriture

Pour chaque aliment utilisé, nous avons photographié des échantillons de nourriture dans le but de déterminer la relation entre le poids des pellets et la concentration en billes plombées, et calculé l'équation de la droite de régression linéaire.

Les mesures se font grâce à un appareil à rayons X portable (TR portable X-ray unit 80kv/20mA, Todd Research) (photo 3) relié à une borne 220 volts ou dans certains cas à un groupe électrogène portable Kawasaki GA1400A. Cependant, l'utilisation de ce groupe est peu souhaitable car il n'assure pas toujours un courant stable nécessaire au bon fonctionnement de l'appareil. Les films utilisés sont des films Kodak X-OMAT MA film 24*30. L'utilisation de cette technique nécessite l'usage de tabliers en plomb (DR.GOOS SUPREMA 0,50 mm Pb).

3.3.3. Radiographie des poissons

A 10 occasions (du 4 mai au 30 juillet), 20 poissons préalablement nourris avec de la nourriture marquée ont été prélevés dans les cages C16 et C17 de la manière suivante: lors de la remontée du filet, les perches (*Perca fluviatilis*) sont rassemblées dans un coin de la cage et les poissons sont alors récoltés à l'aide d'une épuisette de la manière la plus aléatoire possible, en général en 1 ou 2 coups d'épuisette. Ces poissons sont alors amenés sur le bord du lac et anesthésiés par du MS 222 (3-aminobenzoic acide ethylester, A-5040) à une concentration de 130 mg/l. Cette concentration est nécessaire pour assurer le bon endormissement des poissons. Cet anesthésiant a pour principal avantage, contrairement à d'autres anesthésiants comme l'éthylène-glycol, de ne pas faire vomir les poissons. Après photographie (5 poissons par photographie, temps d'exposition 2,5 secondes) à l'aide de l'appareil et des photographies décrits au point 3.3.2., les poissons sont alors pesés individuellement et ramenés dans les cages. Lors de certains X-rays, quelques poissons ayant bougé et de ce fait causé une image floue n'ont pas été inclus dans l'analyse.

Il est important de souligner que dans notre cas, la distance importante entre le ponton et la berge contribue à accentuer les perturbations liées aux manipulations. De ce fait, nous avons enregistré quelques pertes lors des transports post manipulations. De plus, lors de certaines mesures, nous avons procédé à un marquage des poissons prélevés en coupant une partie de la nageoire caudale dans le but de voir les effets à long terme des manipulations.

Il faut aussi noter que ce type d'appareil craint l'eau et dès lors, nous n'avons pas toujours pu l'utiliser dans les meilleures conditions. Les résultats d'une expérience réalisée le 5 juin étant incomplets, nous les avons supprimés.

3.3.4. Analyse des contenus stomacaux

3.3.4.1. Prélèvement et conservation

Nous rendant compte lors des expériences d'ingéré que tous les poissons ne mangeaient pas de nourriture distribuée, nous avons décidé d'analyser les contenus stomacaux afin de voir si les juvéniles n'utilisent pas d'autres sources de nourriture. Pour cela, nous avons utilisé la technique du flush gastrique qui consiste à introduire dans l'estomac du poisson un tuyau souple afin d'injecter de l'eau à l'intérieur du poisson à l'aide d'un appareil prévu à cet effet (Mesto 3253). Ceci provoque le vomissement du poisson. Le contenu stomacal est ensuite conservé dans du formol à $\pm 40\%$. Des résultats préliminaires ont été réalisés le 16 juin sur 10 individus. Pour la suite, nous avons décidé de faire des flush gastriques sur la totalité des poissons prélevés, soit 2*20 poissons (expérience du 22 juin). Cependant, étant donné le caractère traumatisant de la méthode après une séquence de rayons X (THONON, 1992), nous avons décidé de ne faire que 2*10 flush gastriques, soit 10 par cage étudiée (expérience du 13 et du 30 juillet).

3.3.4.2. Analyse

Au laboratoire, les échantillons sont filtrés sur des filtres de papier Whatman (n°41, diamètre 9 cm, Whatman International Ltd) préalablement mis 48 h à l'étuve afin d'enlever toute humidité et pesés individuellement. Après cette opération, les filtres sont à nouveau mis à sécher 48 h à l'étuve et pesés individuellement. Ils sont enfin observés au microscope pour déterminer la composition grossière de l'aliment.

4. Mesures physico-chimiques

La physico-chimie du lac est considérée comme constante à l'échelle journalière. Pour cette raison, nous avons pris chaque jour :

la température (en °C), au cours de l'expérience, à un mètre de profondeur, grâce à l'oxymètre WTW 191 (utilisé aussi pour mesurer l'oxygène dissous) et les mesures de température minimum et maximum de l'air;

l'oxygène dissous (exprimé en mg/l et en % de saturation) à un mètre de profondeur;

le pH à l'aide d'un pHmètre WTW 323.

la transparence de l'eau (en mètre), lors de chaque expérience, à l'aide du disque de Secchi. Cette mesure, toujours prise par la même personne, est dans certains cas rendue moins précise par la présence de vagues importantes et dans des conditions de luminosité variables.

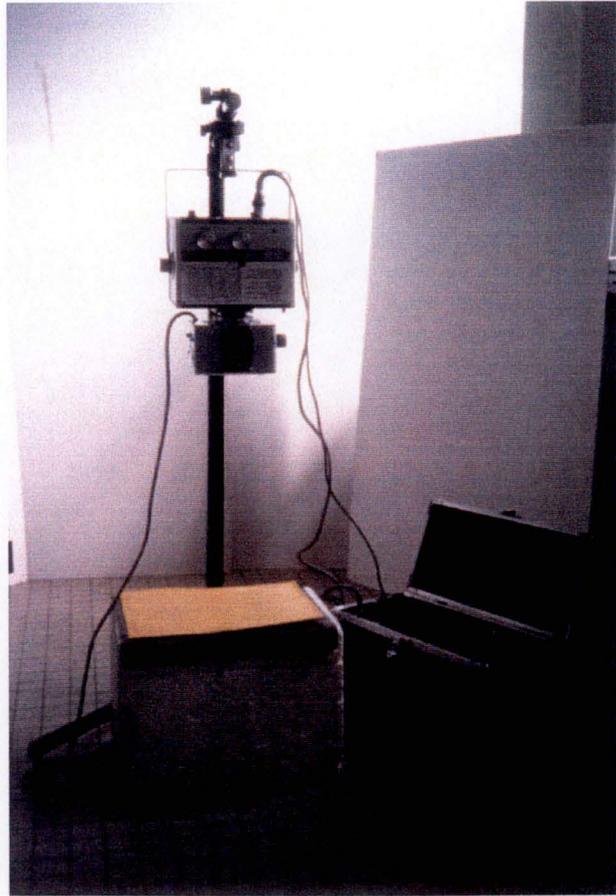


Photo 3: Appareil TODD RESEARCH 80/20 PORTABLE X-ray UNIT.

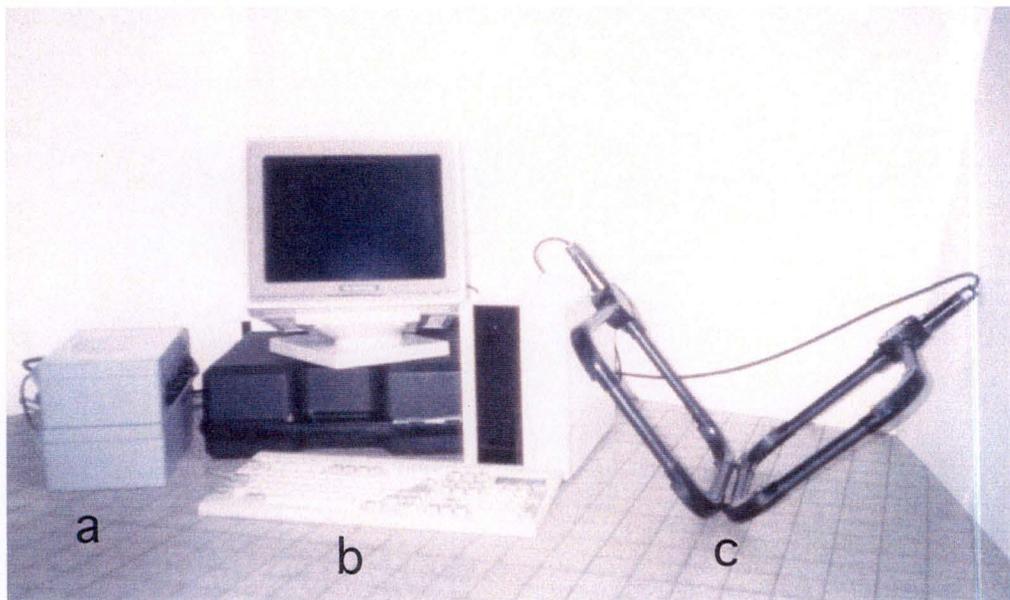


Photo 4: Appareillage utilisé dans le cadre de l'étude de l'activité alimentaire
a) SPD (Single Point Detector) + multiplexeur.
b) Appareillage informatique
c) Antennes.

la luminosité à l'aide d'un data logger (Combilog 1020, Théodore Friedrichs and Co, Rearen). Les mesures se font à l'aide de deux sondes, l'une en surface et l'autre immergée à hauteur du fond de la cage (1,3m). Ces mesures se font en $\mu\text{E}/\text{cm}^2\text{s}$.

5. Mesures de l'activité

5.1. Marquage des poissons

Les juvéniles de perche sélectionnés pour cette expérience proviennent eux-aussi de la station d'aquaculture de l'Université de Liège à Tihange. Ces perches (PM = 30, SEM = 0,6) ont été marquées le 16 avril à Tihange, par insertion à l'aide d'un injecteur muni d'une aiguille de seringue, de transpondeurs passifs (Trovan, 11 x 2,1 mm ; 100 mg) insérés dans le muscle dorsal. Le choix de cette technique réside dans le fait que nous avons pour but d'assurer la même capacité de détection chez tous les poissons (voir 5.2.1.). Ces transpondeurs ne possèdent pas de sources d'énergie intrinsèque et ne transmettent leur code individuel qu'à la suite d'une excitation par un lecteur-détecteur, suivant le principe du couplage inductif. La détection se fait grâce à un détecteur manuel (Trovan) ou automatiquement grâce à des stations d'enregistrement automatiques couplées à une antenne immergée. Malheureusement, le taux de mortalité et de pertes de PIT-tags nous ont obligés à remarquer des poissons le 25 mai.

5.2. Description du matériel utilisé

Le principe de base de cette technique est de discriminer les individus présents dans la zone de nourrissage, située sous un distributeur automatique 24 volts, au cours des épisodes de nourrissage mais aussi avant et après cette période de nourrissage. Cette détection s'effectue grâce à une antenne cadre immergée (30*30 cm), connectée à un lecteur (Single Point Decoder Plus : SPD+, TROVAN) alimenté en 220 VAC et qui transmet en permanence un signal à 125 kHz. Ce détecteur est relié à un ordinateur PC compatible, où un logiciel (GETSPD.EXE) enregistre chaque passage d'un individu marqué au travers d'une antenne, ou sa présence à proximité du cadre de l'antenne (photo 4).

L'information enregistrée par le logiciel contient, dans l'ordre :

le jour (lundi-dimanche);

la date (JJ/MM/AA) où JJ représente le jour;

MM représente le mois;

AA représente l'année;

l'heure (hh:mm:ss) où hh représente l'heure;

mm représente les minutes;

Tableau 2.1. : Risque d'erreur de transmission depuis la station d'enregistrement SPD+ à l'ordinateur de contrôle, en fonction de la donnée, en condition de circuit fermé. L'ordre du tableau est l'ordre séquentiel de transmission. R = donnée récupérable ; RD = donnée récupérable par défilement de fichier et correction manuelle ou automatique (e.g. heure par heure) ; RC = donnée récupérable par comparaison de l'information tronquée avec une liste de marques (in Barras *et al*, 1997).

Variable	Manquant ou tronqué (%)
Jour (lundi-dimanche)	(R) 2,48
Date: jour	(R) 2,15
mois	(R) 1,88
année	(R) 1,74
Temps: heure	(RD) 1,58
minute	(RD) 1,11
seconde	(RD ?) 0,96
Antenne	0,74
Code de la marque	(RC) 0,46 0,08

Risque d'erreur



Importance pour l'étude



ss représente les secondes;

l'antenne (n° d'ordre, en cas d'utilisation d'un système multi-antennes);

le code de la marque (hexadécimal, 10 caractères).

Le logiciel GETSPD.EXE est programmé en hexadécimal et permet de régler, via un programme interface (UKIDEMO.EXE), l'heure, la vitesse d'acquisition des données, la vitesse de transmission (bauds), des filtres de sécurité en cas de détection répétée d'une même marque, etc. Le fichier est ensuite traité sous logiciel EXCELL, puis importé par le logiciel Statview 4,5 sur ordinateur Macintosh, pour le traitement statistique des données.

5.3. Capacités, implications et limites d'utilisation

5.3.1. Orientation des antennes

La détection des transpondeurs par les antennes se base sur le principe du couplage inductif pour lequel il est nécessaire que les spires de l'antenne du transpondeur soient non perpendiculaires à l'antenne cadre. Les spires du transpondeur étant situées dans le plan transversal du poisson, il est donc nécessaire que celui-ci traverse l'antenne, ou croise son cadre pour être détecté; un poisson longeant l'antenne ou effectuant des allées et venues dans le plan de l'antenne ne sera pas détecté. La détection du transpondeur dépend de sa position dans le corps du poisson. Il est nécessaire d'implanter les PIT-tags de façon homogène afin d'assurer la même capacité de détection à chaque poisson.

5.3.2. Capacité de détection, vitesse de passage

La capacité de détection opérationnelle est de 12-13 marques par seconde au maximum. Cette capacité particulièrement élevée s'avère nécessaire lorsqu'un groupe de poissons traverse l'antenne, ce qui peut survenir au moment des épisodes de distribution des aliments. Néanmoins, dans notre cas, ce risque est diminué par la faible densité à l'intérieur des cages.

La vitesse de nage du poisson marqué peut influencer la "lisibilité" de la marque et donc l'interprétation des résultats. Si la vitesse de nage dépasse 45cm/s sur une courte distance, il y a risque d'erreur de transmission, matérialisée par une ligne de données incomplètes. La structure du logiciel et de l'information transmise réduit toutefois le risque d'erreur. En effet, les informations manquantes surviennent de manière d'autant plus fréquente que l'information se trouve proche du début de ligne (où elles sont les plus faciles à compléter). D'après le tableau 2.1., la majorité des erreurs sont récupérables, soit par relevé des informations (R), soit par examen des fichiers par défilement (RD), soit par comparaison des marques (RC).

5.3.3. Saturation du système de détection: utilisation d'une paire d'antenne

Une des limites potentielles d'utilisation d'antennes de détection couplées à des stations automatiques d'enregistrement est la présence permanente d'un individu marqué, immobile, à proximité d'une antenne. Lorsque l'individu est très proche, son signal est de force maximale et est le seul capté en permanence par la station. Ceci peut soit générer des fichiers constitués de répétitions de la même marque, soit conduire à une saturation du système de détection, qui peut entraîner un RESET de la station, soit à un re-paramétrage automatique aux valeurs de base, inadaptées à la détection de passages fréquents.

Pour empêcher ce problème, nous avons utilisé 2 antennes, disposées en V, couplées à un scanner à haute vitesse appelé "multiplexeur" (SPD MUX ; TROVAN ; 8 connections possibles). Ce scanner recherche la présence d'un signal sur l'une puis sur l'autre antenne, avec un intervalle de 40 ms (i.e. temps requis pour une détection), de telle sorte que même si une marque est reçue avec une puissance maximale par une antenne, elle ne l'est d'office pas par l'autre et ne bloque donc pas le système de détection. On peut de plus, grâce à ces antennes en V, mieux percevoir et circonscrire la zone de nourrissage et donc mieux adapter la distribution vis-à-vis du courant dans la cage. On peut également, si on le désire, déterminer le côté par lequel le poisson vient se nourrir, et voir les variations interindividuelles et temporelles.

Néanmoins, le système, du fait du balayage continu entre les antennes, ne permet plus que 8 détections par seconde, ce qui reste très suffisant. La présence d'une paire d'antennes disposées en V accroît sensiblement la structure de l'environnement, et peut de ce fait modifier le comportement du poisson. Dans le but de limiter cet "effet antenne" sur le comportement, nous avons installé dans les cages des leurres d'antennes en tuyaux de PVC et de dimension mimant la structure réceptrice. Ces leurres étaient remplacés la veille des jours d'études du comportement par les véritables antennes, avec un minimum de manipulations, afin de perturber le moins possible les poissons.

6. Analyse statistique

Les données expérimentales ont été soumises à des tests d'analyses de la variance (ANOVA 1) à un ou deux critères de classification (ANOVA 2 croisée fixe) sur un logiciel intégré à Excel 7.0 pour Windows 95 (PC Pentium II, 233 mhz). Avant chaque test, les échantillons ont subi un test d'homogénéité des variances (test de Hartley lorsque les populations sont égales, ou test de Bartlett si les populations sont différentes).

Des tests de régression linéaire, d'analyse en composante principale et de régression multiple ont aussi été réalisées. Seuls quelques exemples significatifs figurant dans ce mémoire.

Le traitement des données concernant l'activité aléatoire s'est réalisé sur le logiciel Statview 4.5 sur ordinateur Macintosh.

Résultats

Dans les cages, l'étude de l'ingéré a commencé le 4 mai, après une période d'adaptation des poissons à leur environnement. Cette adaptation fut rendue difficile par la faible température du lac (9,0°C), ainsi que par la différence de température entre l'eau des bassins de la pisciculture de Tihange et l'eau du lac. Ces manipulations à basse température ont eu pour conséquence d'entraîner des mortalités très importantes ($\pm 50\%$ du stock) à la suite de contaminations diverses (bactérioses, parasitoses), l'ensemble provoquant des problèmes au niveau des nagoires (nécrose de la caudale), des yeux (exophtalmie) et à divers endroits du corps (ulcérations et hémorragies internes). Ces pathologies ont été accentuées par un champignon, la Saprolegnie (*Saprolegnia sp.*) sur les poissons exposés à de faibles températures. Cette mortalité a touché l'ensemble des cages.

En début d'expérience, l'étude de l'ingéré a été fortement perturbée par la température. Les poissons malades n'ingéraient pas de nourriture, et donc pas l'antibiotique contenu dans celle-ci. Cette infection des poissons a existé pendant toute l'expérience, avec toutefois une nette amélioration fin juin et début juillet.

Les conditions de température, ainsi que de pluviosité et de vent, ont elles aussi fortement perturbé les expériences concernant l'activité des poissons. Nous avons mis en cage les poissons de cette expérience dans une zone "éloignée" du foyer d'infection afin de limiter les pertes. Ces poissons se sont bien adaptés, mais ont montré une activité faible qui a limité la mise au point de la méthode. De plus, les conditions techniques et météorologiques ont elles aussi fortement limité cette mise au point ainsi que l'étude proprement dite. Quatre séquences d'enregistrement et un cycle de 24h ont finalement été retenus dans cette étude.

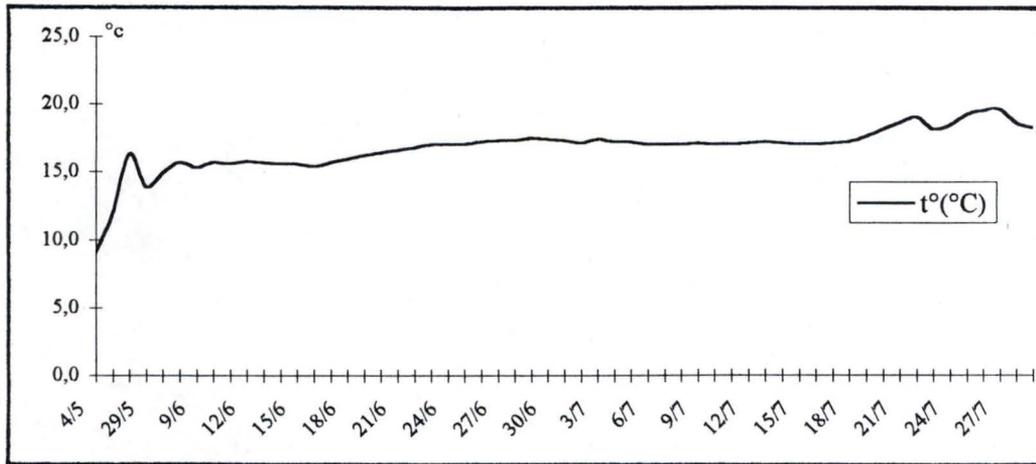
1. Paramètres physico-chimiques

Le suivi des paramètres physico-chimiques s'est déroulé à partir de fin avril. Ce suivi concerne la température de l'eau, le pH, l'oxygène dissous, les températures de l'air (maximales et minimales), la pluviosité, ainsi que l'intensité lumineuse en surface et à 1,3m et la visibilité. Ces 3 dernières mesures, relevées les jours d'expérience, seront reprises dans la partie concernant l'étude de l'ingéré.

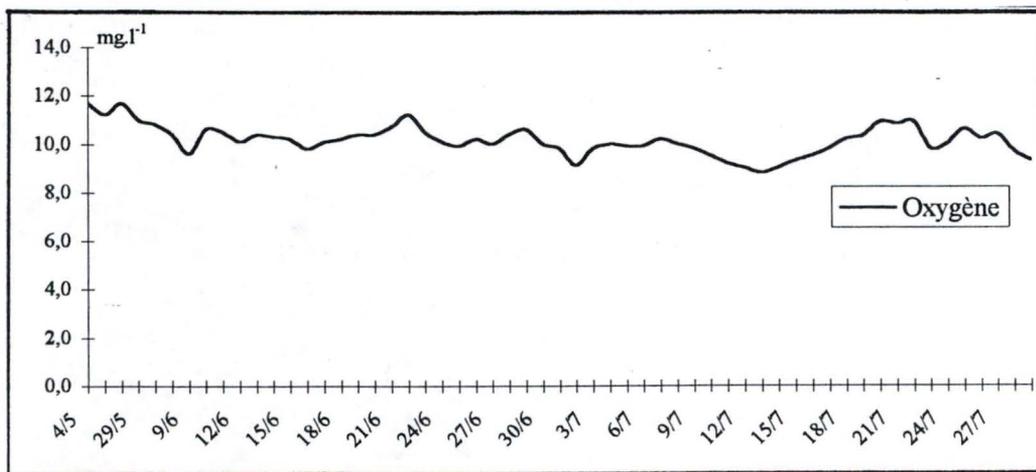
Pour la période allant de fin avril à début juin, nous ne disposons que des mesures ponctuelles lors des expériences d'ingéré. Ces mesures, au nombre de 5, ont été jugées représentatives. En effet, le lac présente une forte inertie thermique et les conditions physico-chimiques varient très peu. Ces mesures n'ont pu être complétées par des données IRM étant donné les caractéristiques spécifiques du site et la distance importante de la station IRM (située à Gosselies).

De cette étude (figures 3.1. a, b, c, d et e), nous avons observé d'abord une faible température de départ (9,1°C), suivie d'un réchauffement important à la suite des bonnes conditions d'ensoleillement observées le mois de mai. Ensuite, des conditions météorologiques défavorables et un brassage régulier des eaux du lac de la Plate-Taille à la suite du fonctionnement de la centrale hydroélectrique ont provoqué un refroidissement. Enfin, la température s'est stabilisée autour de 17°C jusqu'à la fin juillet, où quelques données proches de 20°C sont enregistrées.

a



b



c

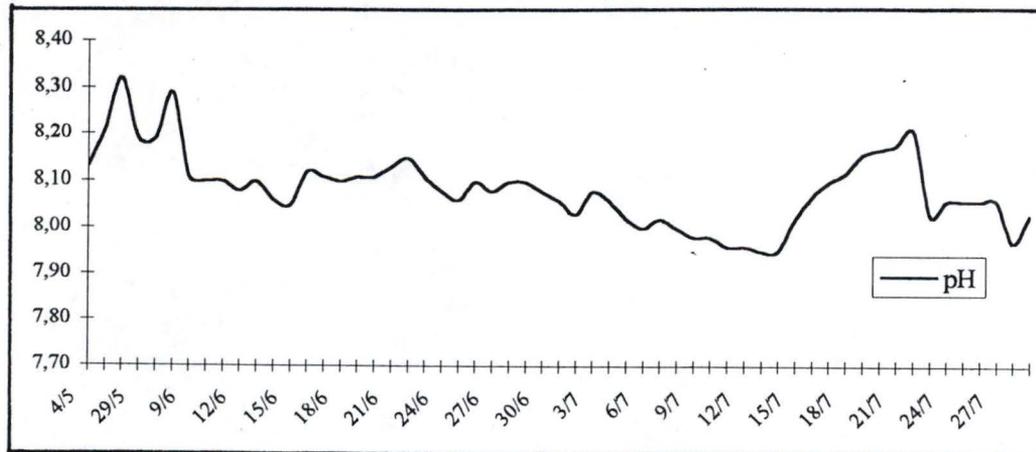
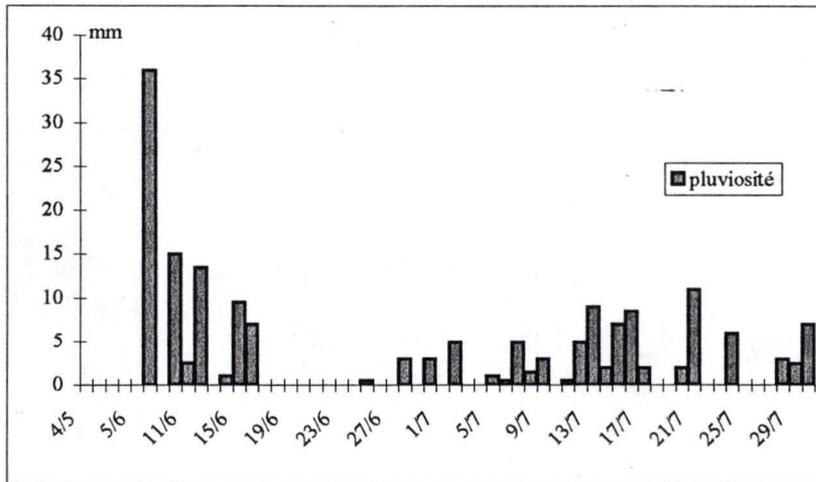


Fig. 3.1. a, b et c : Paramètres physico-chimiques enregistrés durant nos expériences.

d



e

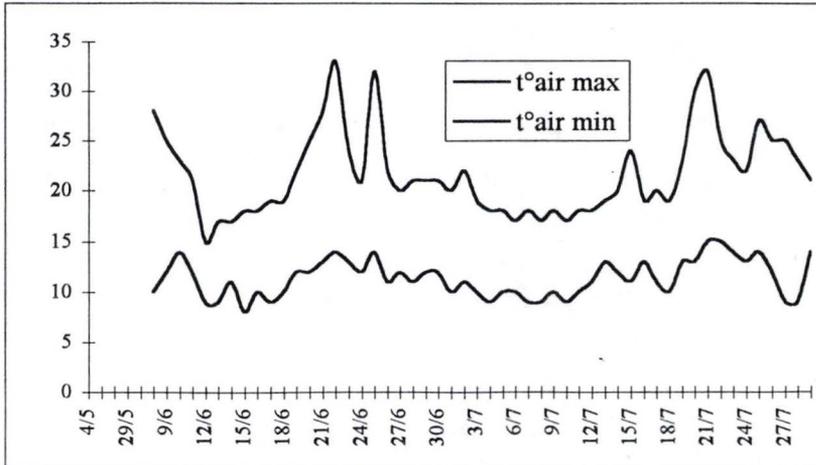
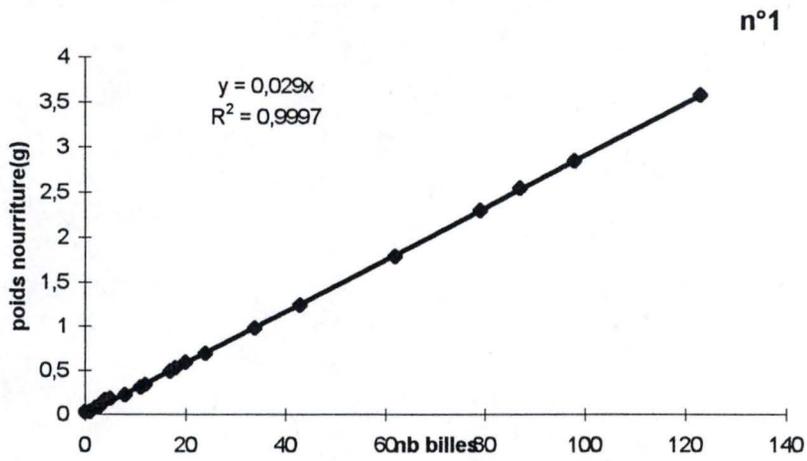
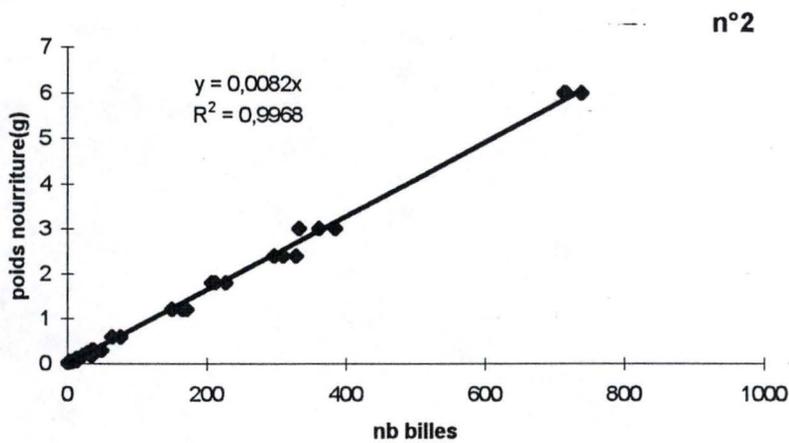


Fig. 3.1. d et e : Paramètres physico-chimiques enregistrés durant nos expériences.

a



b



c

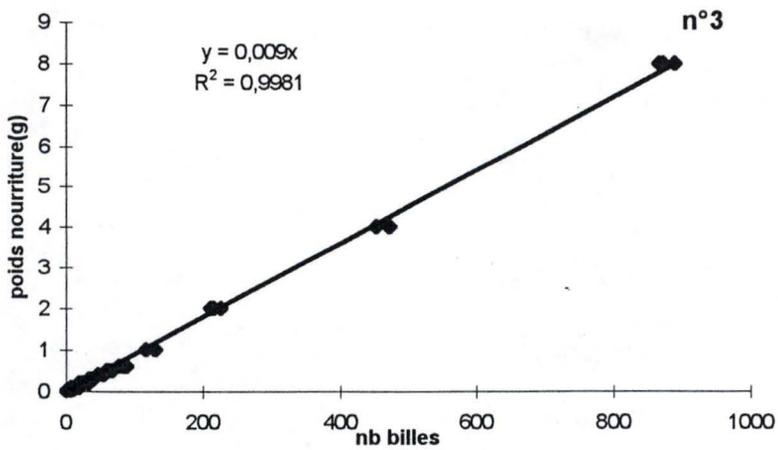


Fig. 3.2. a, b et c : Courbes d'étalonnage de nourriture utilisée lors de nos expériences.

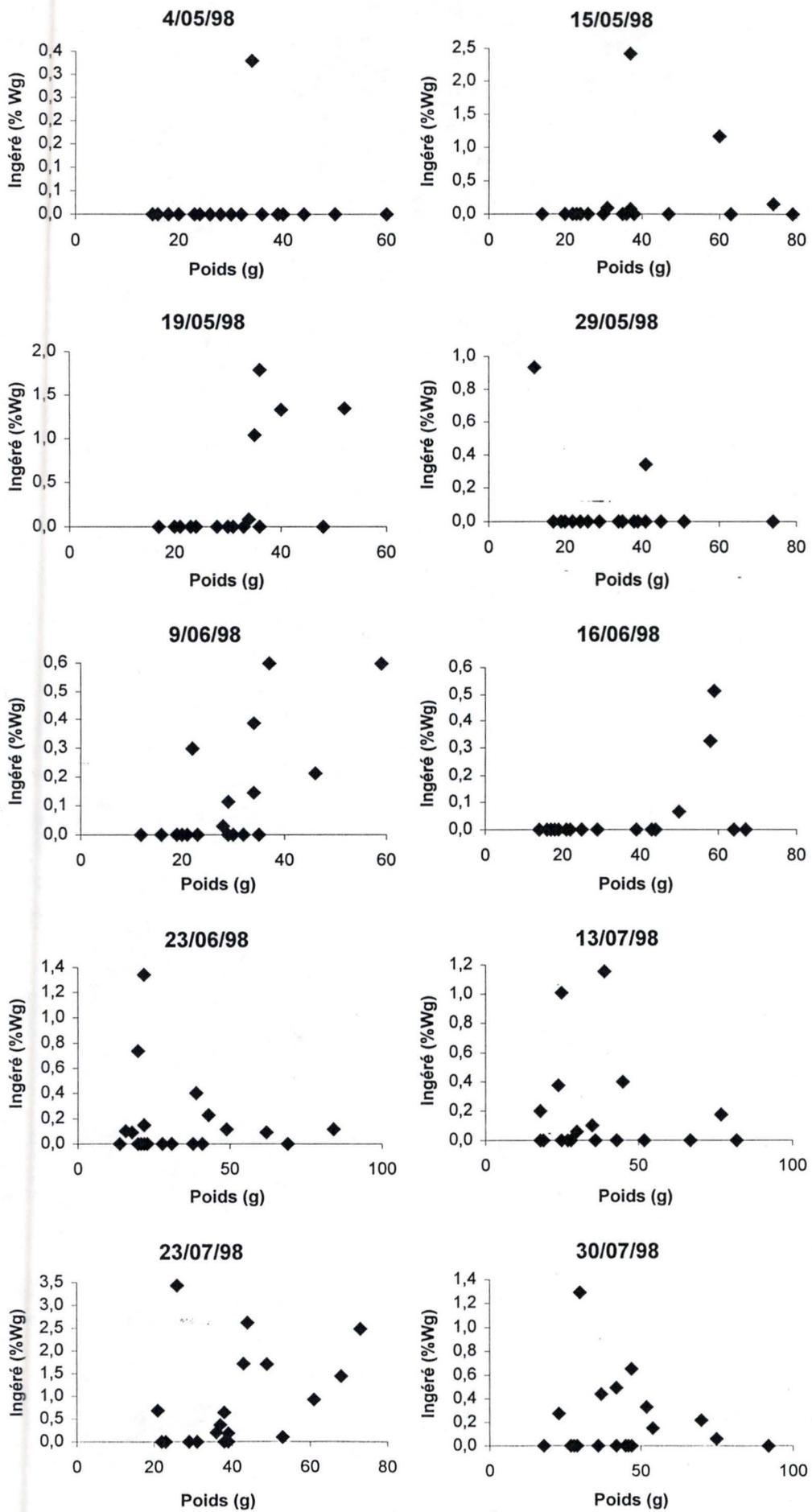


Fig. 3.3. (i à j) : Evolution temporelle d'ingéré (% poids du corps) des individus prélevés dans la cage C17.

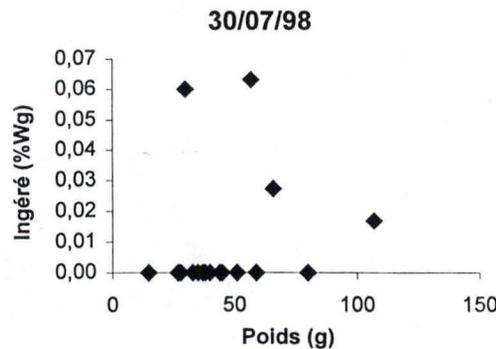
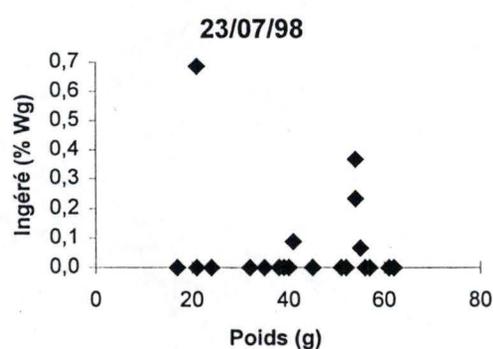
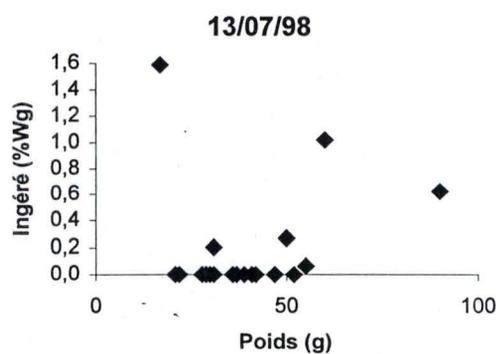
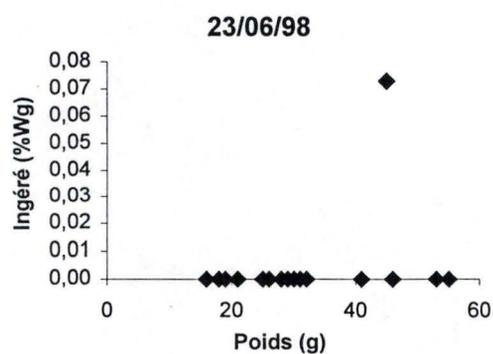
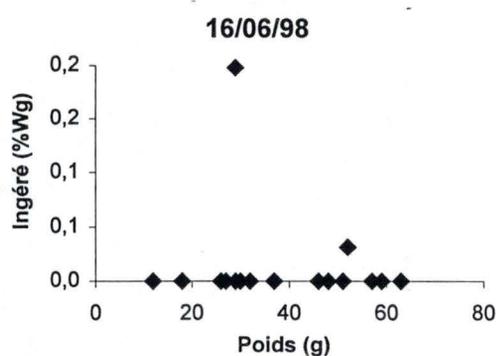
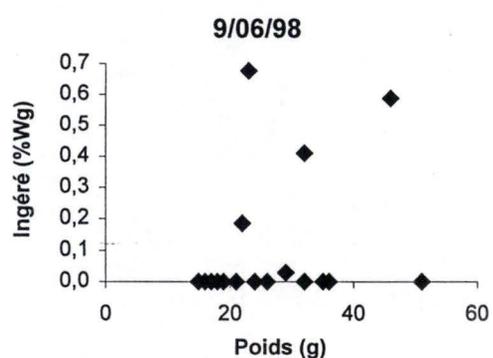
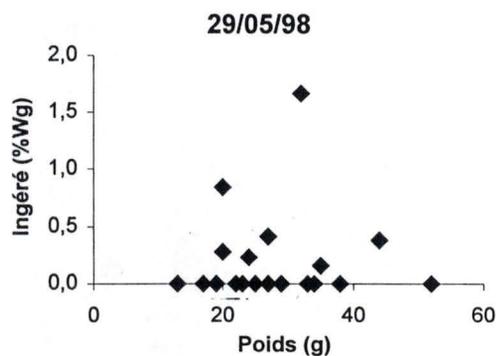
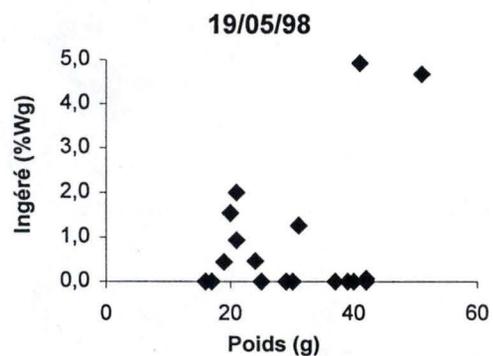
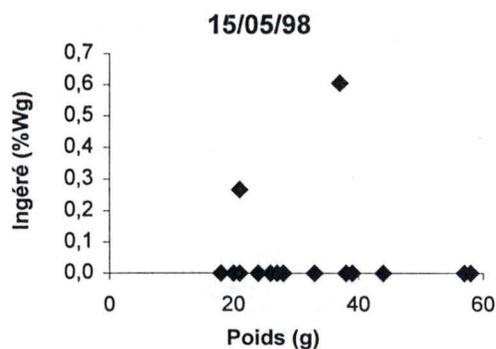
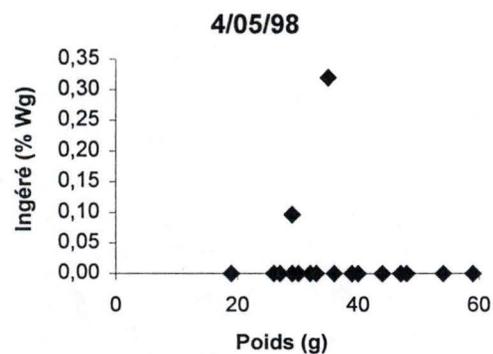


Fig. 3.3 (i à j) : Evolution temporelle d'ingéré (% poids du corps) des individus prélevés dans la cage C16.

La quantité d'oxygène dissous varie très peu. Elle se situe tout le temps entre 9 et 12mg/l, avec un grand nombre de valeurs situées entre 9,5 et 10,5mg/l, soit au niveau de saturation.

Le pH est lui aussi très stable et se situe toujours entre 7,95 et 8,32.

La pluviométrie est assez variable en terme de quantité (1 à 36 mm/jour). Elle est par contre importante en terme de fréquence puisqu'on comptabilise 29 jours de pluie entre le 8 juin et le 30 juillet, soit plus d'un jour sur deux. Nous avons néanmoins eu droit à une amélioration du 17 au 27 juin.

La température de l'air s'est avérée très variable au cours de l'expérience.

2. Etude de l'ingéré et de la croissance

2.1. Courbes d'étalonnage

Trois courbes d'étalonnage correspondant à 3 périodes de préparation d'aliment expérimental (granulés recomposés après broyage) ont été réalisées (graphiques 3.2. a, b et c) :

courbe n°1 : En provenance de Tihange, cette nourriture est formée de granulés de 2mm et contient 2,5% de ballotini. Cette nourriture fut utilisée lors des expériences du mois de mai (5-15-19-29 mai).

courbe n°2 : Préparée au laboratoire, cette nourriture contient 1% de ballotini, est formée de granulés de 3 mm et fut utilisée lors des expériences du mois de juin (9-13-23 juin).

courbe n°3 : Les granulés, de diamètre égal à 3mm, contiennent 1% de ballotini. Cette courbe a été utilisée lors des expériences du mois de juillet ainsi que dans les 2 séquences de rayons X concernant l'étude de l'activité.

Le coefficient de corrélation (R^2) hautement significatif des droites de régression de ces 3 courbes nous montre une répartition homogène des billes dans la nourriture. Ces résultats ont été confirmés par les photographies prises pour établir cette courbe. Seulement 0,5% de la nourriture ne contient pas de billes.

2.2. Evolution temporelle de la prise de nourriture

Les résultats (figures 3.3.a et b) illustrent clairement la variabilité des mesures d'ingéré prises lors des différentes dates d'expérience. Celle-ci se marque aussi bien au niveau de la cage qu'au niveau des individus. D'une manière générale, la quantité moyenne d'aliment ingéré (% poids du corps) est faible et semble bimodale (figure 3.4.). Nous avons tout d'abord observé une très faible prise de nourriture dans les 2 cages à

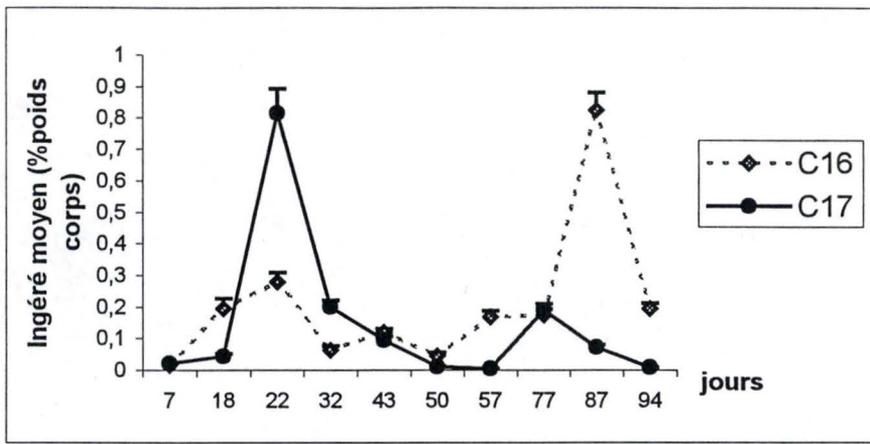


Fig. 3.4 : Evolution temporelle de l'ingéré moyen (% poids du corps + SEM) observée dans les 2 cages.

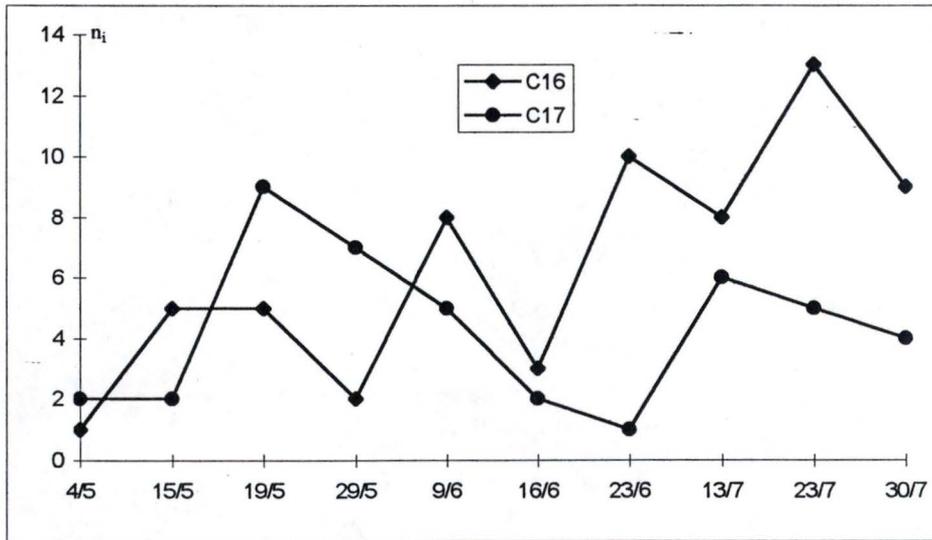


Fig. 3.5. : Evolution temporelle du nombre d'individus se nourrissant dans les 2 cages.

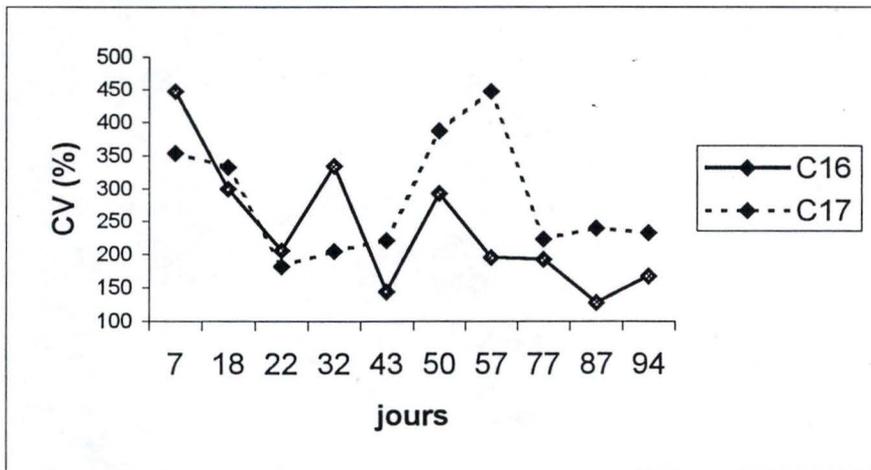


Fig. 3.6 : Evolution temporelle du coefficient de variation de l'ingéré moyen (%).

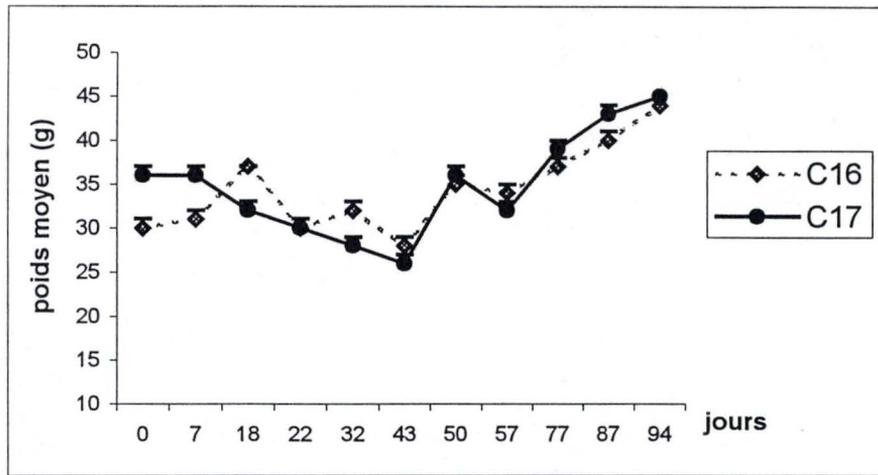


Fig. 3.7. : Evolution du poids moyen des individus prélevés lors des expériences d'ingéré.

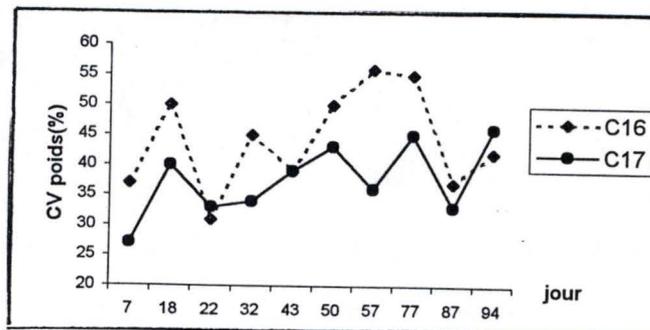


Fig. 3.8. : Evolution du coefficient de validation du poids des individus prélevés lors des expériences d'ingéré.

basse température (moyenne d'ingéré égale à 0,02% du poids vif du poisson pour les 2 cages) suivie d'une augmentation rapide durant le mois de mai. Par la suite, l'évolution fut très variable et différente d'une cage à l'autre. Il faut néanmoins souligner que ces valeurs sont faibles, en raison du nombre peu important de poissons se nourrissant. L'analyse statistique Anova à 2 critères de classification croisés fixes ($p = 6,27^E-0,6$) nous signale que la quantité moyenne d'ingéré n'est pas la même à toutes les dates. Nous avons donc une évolution significative de l'ingéré au cours du temps. L'interaction est significative ($p = 0,0001$), ce qui indique que l'évolution n'est pas la même pour les 2 cages. Nous ne pouvons donc pas parler de réplicat.

Les écarts-types importants que nous observons lors de chaque expérience traduisent de fortes variations interindividuelles d'ingéré, et peuvent masquer une possible augmentation de l'ingéré au cours du temps. Il faut cependant se méfier du caractère trompeur de ces résultats. En effet, le nombre élevé de valeurs nulles nous donne l'impression d'avoir des moyennes différentes alors qu'en réalité elles sont peut-être semblables.

2.3. Evolution du nombre d'individus se nourrissant et du coefficient de variation

L'évolution du nombre de poissons se nourrissant est elle aussi très variable (figure 3.5.). La proportion de poissons qui ingèrent de la nourriture semble augmenter régulièrement au cours du temps, avec un maximum de 70% le 23 juillet. L'évolution de la cage C17 est chaotique. Elle atteint un maximum de 45% le 19 mai et diminue ensuite. L'évolution temporelle du coefficient de variation de l'ingéré moyen tend vers une diminution. On passe de valeurs de 447% (C16) et 354% (C17) à des valeurs finales de 146% (C16) et de 233% (C17). Cette diminution est donc plus marquée pour la cage C16 (figure 3.6.).

2.4. Evolution temporelle du poids des individus prélevés

Chaque poisson prélevé a été pesé après photographie pour suivre l'évolution du poids moyen des individus au cours du temps. Nous avons constaté une variation du poids moyen des individus et ce, dans les 2 cages (figure 3.7.). L'évolution de ce paramètre paraît assez semblable d'une cage à l'autre. Le poids moyen des individus prélevés est, lors de la première expérience, assez semblable (respectivement 31 et 36g pour les cages C16 et C17). Le poids moyen final est 43,8g pour la cage C16 et 45,15g pour la cage C17. Ceci est confirmé par analyse statistique en Anova à 2 critères de classification croisés fixes. Le poids moyen des poissons prélevés dans les 2 cages varie de manière significative (Anova 2, $\alpha = 0,05$, $p = 6,41^E-7$) au cours du temps. Par contre, l'évolution des poissons ne diffère pas entre les 2 cages. Par opposition au cas de l'ingéré, nous n'observons pas d'interaction, ce qui signifie que nous n'observons pas de différences significatives de poids des poissons au cours du temps. En d'autres termes, nous observons une croissance significative des poissons des 2 cages. Cette croissance

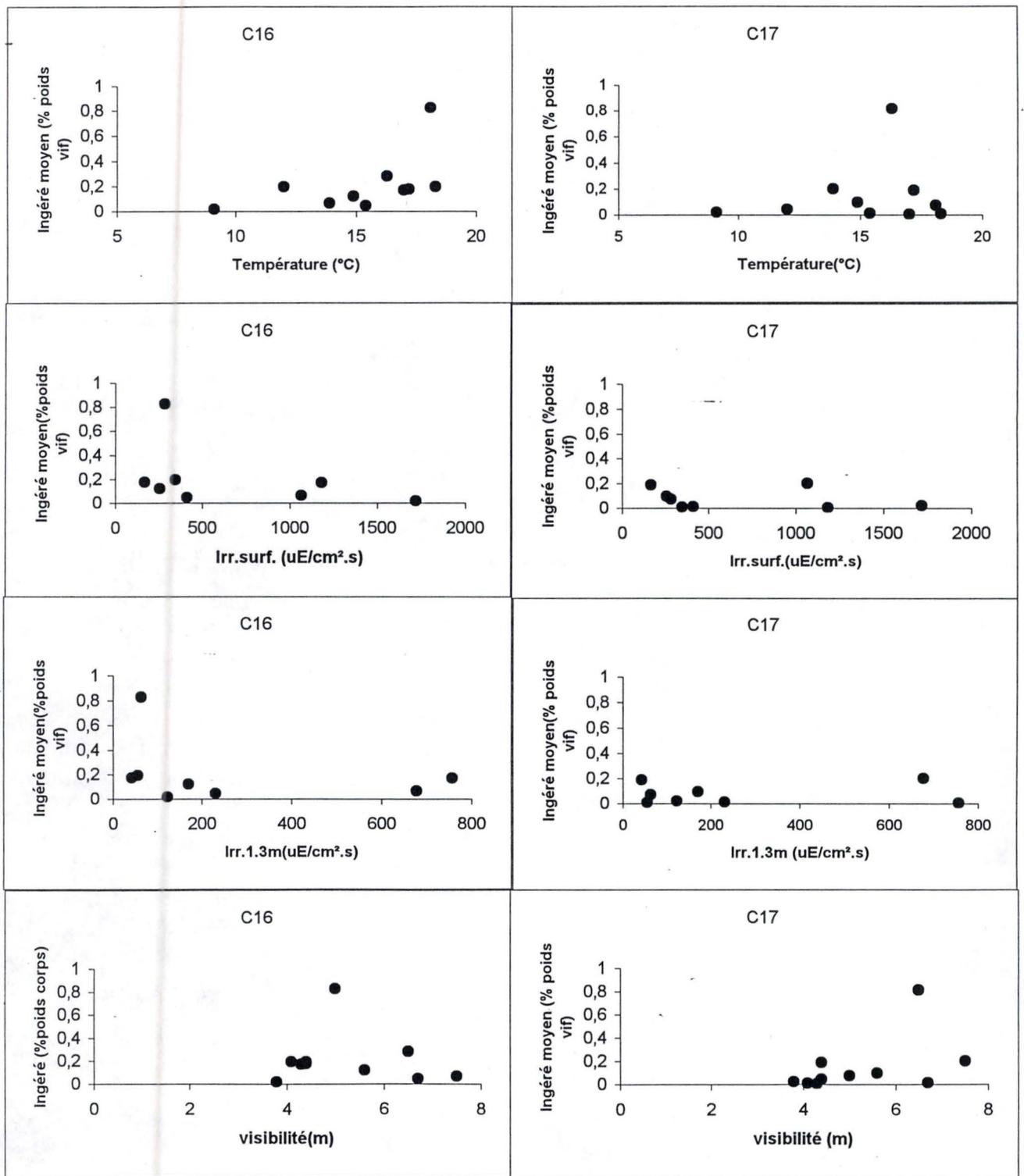


Fig. 3.9 (a à h) : Ingéré moyen (% poids du corps) en fonction de certains paramètres environnementaux suivis.

n'est pas significativement différente d'une cage à l'autre. L'évolution temporelle du coefficient de variation du poids des poissons prélevés tend vers une augmentation. On passe en effet d'un coefficient de 37% (C16) et de 27% (C17) à des valeurs de 47% (C16) et de 46% (C17) (figure 3.8.).

Il est important de noter que le poids moyen des poissons est influencé par le développement et la maturation des œufs chez certaines femelles. Nous avons, par exemple, pesé le 16 juin une femelle décédée de 67g contenant 13g d'œufs, soit un rapport gonado-somatique de 19,5%. Diverses pontes ont d'ailleurs été observées dans les cages durant la durée de l'expérimentation.

2.5. Ingéré moyen (% poids du corps) en fonction des différents paramètres environnementaux suivis

L'évolution variable de l'ingéré moyen rend très difficile son association à une quelconque variable environnementale (figure 3.9). La présence de maladies influence probablement la prise de nourriture. Cette perturbation a fortement influencé les résultats (annexe 2), ce qui a rendu impossible leur analyse statistique. A titre d'exemple, les figures ne permettent pas de montrer une quelconque relation entre les différents facteurs et l'ingéré. Certaines analyses par ACP (analyse en composantes principales) et régression multiple ont été tentées. Elles n'ont montré aucune relation significative entre les variables et l'ingéré. Certaines d'entre elles figurent en annexes (3).

2.6. Aspect pathologique

Contre les quelques problèmes pathologiques survenus lors de l'étude, un antibiogramme a été réalisé début mai. Diverses tentatives de traitement des poissons infectés ont été réalisées en vue d'endiguer l'épidémie :

- Les poissons ont été soumis à un traitement à l'acide oxalinique pendant 3 semaines (entre le 10 et le 31 mai). Ce produit est incorporé à la nourriture à raison de 15 mg/kg/jour. Le problème rencontré durant ce traitement fut l'absence d'appétit des poissons.

- Les poissons ont été soumis à une baignade au Néguvon pendant une demi-heure, à raison de 15g/m³ (24 juin). Ce traitement a pour but d'éliminer les gyrodactiles (*Gyrodactilus sp*), qui sont des ectoparasites que l'on retrouve principalement au niveau des branchies et des écailles.

- Les poissons ont été soumis à un traitement au Baytril, autre traitement contre les bactéries (du 29 juin au 4 juillet). Ce produit est incorporé dans la nourriture à raison de 0,1 ml/kg/jour pendant 6 jours.

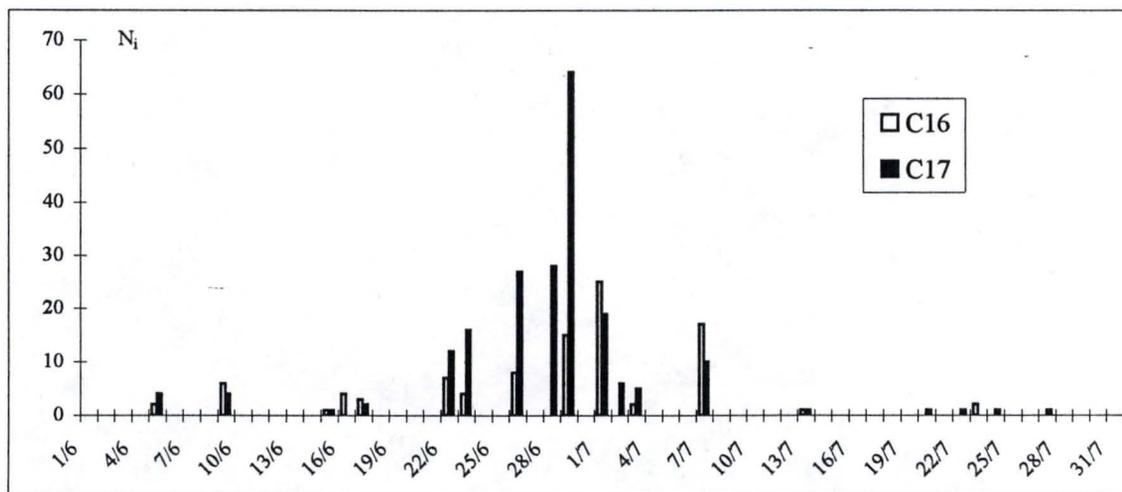


Fig. 3.10: Evolution temporelle de la mortalité dans les cages C16 et C17.

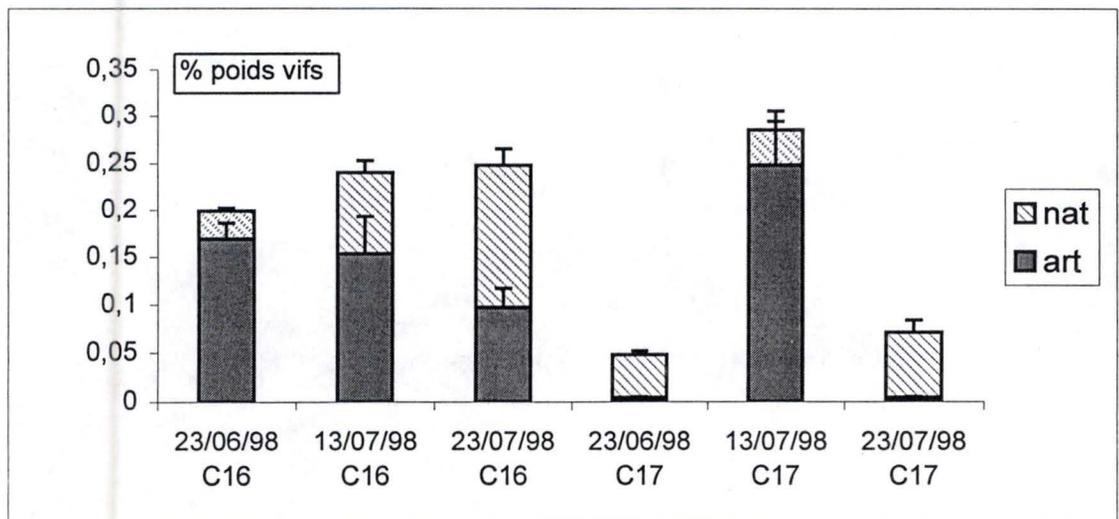


Fig. 3.11. : Evolution temporelle de l'ingéré total (naturel + artificiel) dans les cages C16 et C17.

A ces problèmes se sont ajoutées les blessures dues à la structure même des cages. Une grosse partie (estimée à 30%) des poissons décédés présentait une forte usure, voire une fracture, de la mâchoire. Ces blessures semblent causées par les filets de la cage.

La mortalité quotidienne rencontrée dans le cadre de nos expériences fut irrégulière en terme de quantité de morts par jour, et différente de cage à cage (figure 3.10). Celle-ci a touché les cages C16 et C17 qui ont connu un développement spectaculaire de la maladie durant la troisième partie du mois de juin.

Nous avons ensuite observé une amélioration de l'état général des poissons se traduisant par une faible mortalité le mois de juillet.

2.7. Etude de l'ingéré total

2.7.1. Essais préliminaires

Les résultats du test effectué le 16 juin sur 10 individus de la cage C16 ont montré une importante diversité dans l'alimentation des poissons. Nous avons observé une forte variation interindividuelle dans la quantité et la qualité de l'ingéré total. La nourriture artificielle forme 80% de la nourriture ingérée, la nourriture naturelle 20%. Parmi cette nourriture naturelle, 86% sont formés de zooplancton, essentiellement des cladocères, 14% d'alevins de cyprinidés (au nombre de 5, contenus dans un seul individu).

2.7.2. Evolution temporelle de l'ingéré total

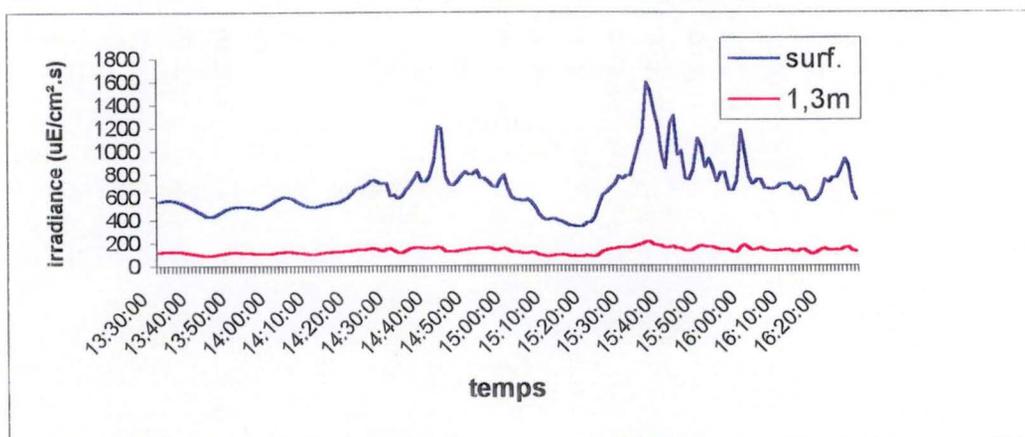
Dans un souci de clarté, nous avons opté pour la distinction de 2 types de nourriture, la nourriture artificielle et la nourriture naturelle (figure 3.11.). Le 23 juin et le 13 juillet, nous avons observé une majorité d'ingestion naturelle. Pour les 2 premières mesures, la répartition de la nourriture est pratiquement la même, avec un rapport de 2/1 en faveur de l'alimentation artificielle. Les résultats du 30 juillet sont peu représentatifs car les estomacs des poissons contenaient à la fois du zooplancton et de la nourriture fortement digérée. Dans ce cas précis, nous pouvons simplement dire que la quantité de nourriture ingérée ce jour-là est faible.

Nous avons distingué de fortes variations entre la répartition de l'aliment dans les 2 cages. Pour l'étude du 23 juin, nous avons observé une majorité de nourriture artificielle dans la cage C16 et une majorité de nourriture naturelle dans la cage C17.

Pour l'étude du 13 juillet, nous avons observé une répartition inverse. La majorité de la nourriture ingérée en C16 est constituée de zooplancton, tandis que la cage C17 contient une majorité de nourriture naturelle.

	n°cage	T°(C°)	mg/l	pH	visibilité (m)	démarrage	début nourrissage	fin nourrissage	arrêt	climat
30/06/98	C3	17,2	9,7	8,02	4	13h24'30"	14h30'50"	15h24'50"	15h33'00"	pluies, vagues
2/07/98	C3	17,1	9,1	8,03	4,5	11h13'25"	12h13'25"	13h13'25"	14h13'25"	couvert
9/07/98	C3	17,3	10,7	8,03	4,7	10h35'00"	11h32'00"	12h32'00"	13h32'00"	vent important, couvert
14/07/98	C2	17,1	9	7,95	4,5	9h06'50"	10h06'50"	11h06'50"	12h06'50"	vent, vague
23/07/98	C2	17	9,3		4,5	11h30'00"	12h30'00"	13h30'00"	14h30'00"	très nuageux, pluie avant séquence.
27/07/98	C3	19,6	10,4	8,06	5	séquence de 24h				variable

9 juillet



14 juillet

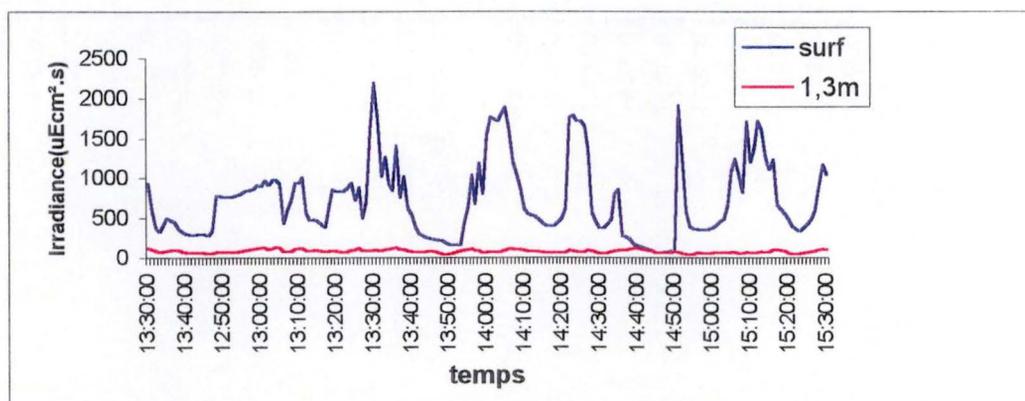
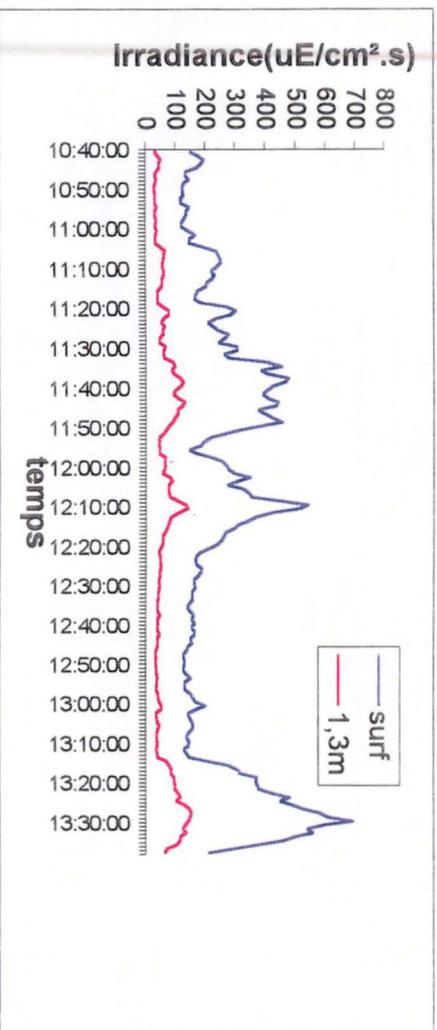
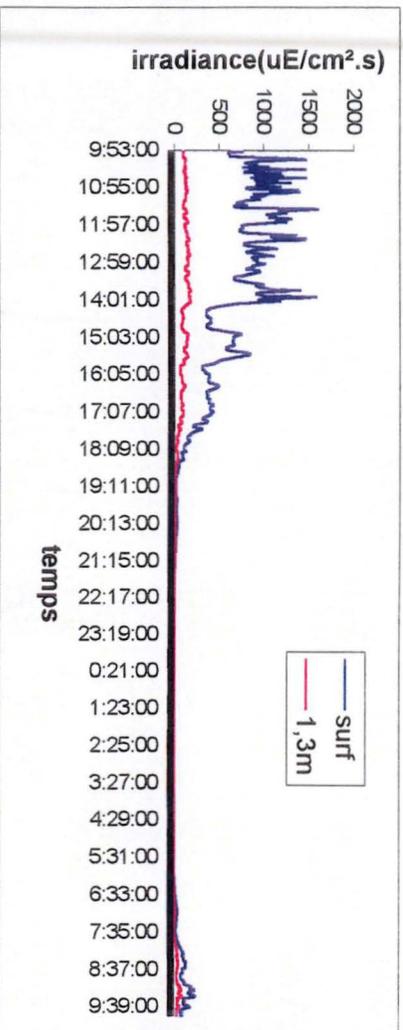


Tableau et graphes 3.12. reprenant les paramètres physico-chimiques et la luminosité lors des différentes séquences.

24 juillet



27 et 28 juillet



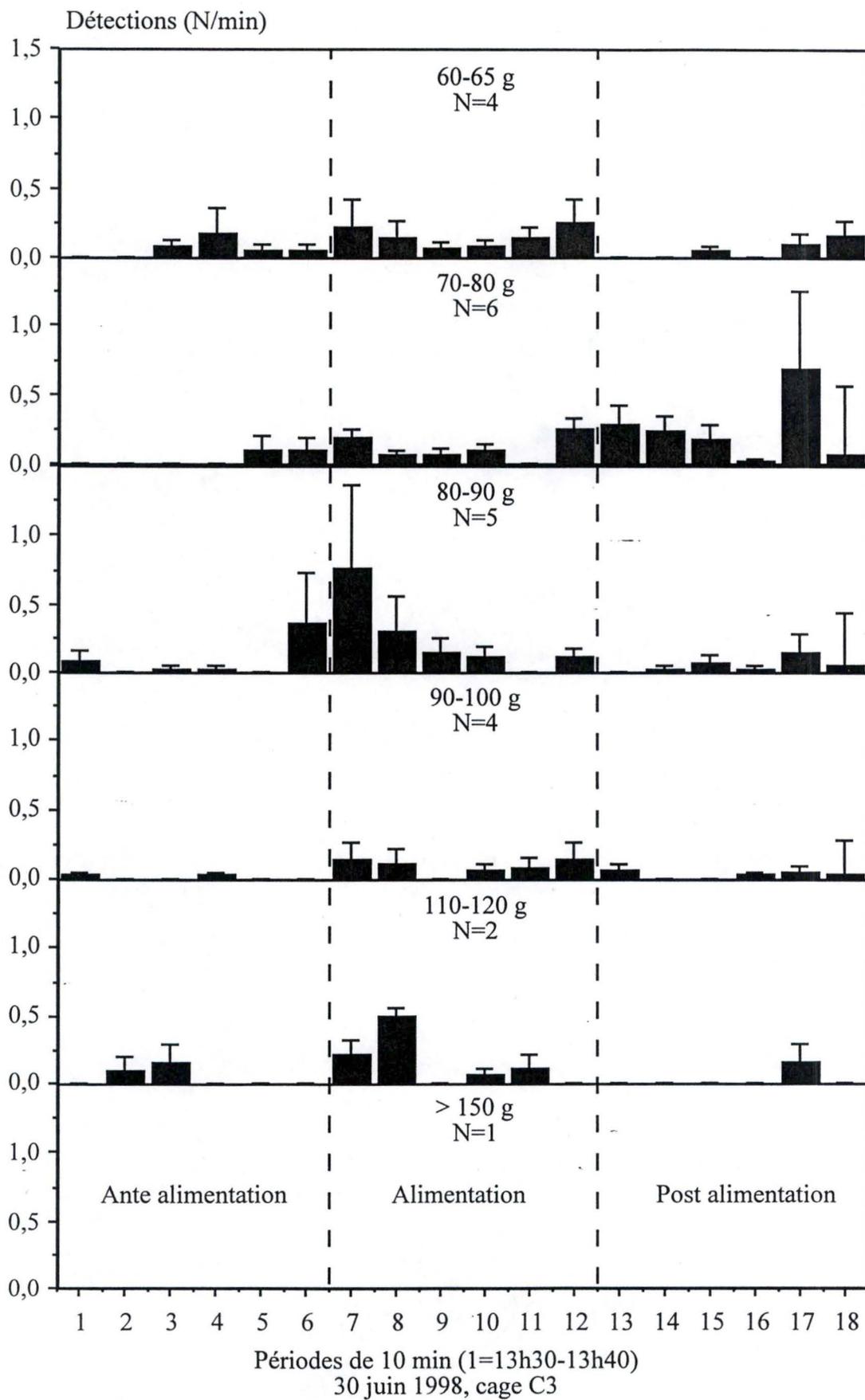


Fig. 3.13. : Détections (N/min + SEM) enregistrées lors de l'épisode de nourrissage du 30 juin dans la cage C13. Les périodes sont de 10 min (1 = 13h30-13h40). Les résultats sont répartis par classes de tailles.

3. Etude de l'activité

3.1. Mise au point

3.1.1. Positionnement des antennes

Cette technique, dont la méthodologie a été développée par E. BARAS (ULg, LDPA-Tihange, communication personnelle), a été ici utilisée dans un cadre expérimental complètement différent du milieu fermé. Son utilisation nécessite la prise en compte d'un certain nombre de paramètres techniques et biologiques.

Le comportement du poisson en cages est un phénomène peu étudié. Nous avons essayé, à notre niveau, de poser les premiers jalons permettant une étude comportementale chez la perche dans ce milieu. Une partie importante de ce travail consiste en l'observation des réactions des poissons vis-à-vis des antennes. La validité des résultats dépend en grande partie de la position des antennes dans la cage. Nous avons, dans ce but, testé différentes profondeurs et position d'antennes. De ces tests, nous avons dégagé 3 constatations principales :

- Le système fonctionne et est utilisable pour l'étude du comportement de la perche en cages flottantes;
- les poissons s'habituent très vite à la présence des antennes. Cette habitude est facilitée par l'utilisation de leurres;
- les poissons montrent de grandes variations interindividuelles du niveau d'activité. Ceci peut rendre plus difficile la détection de tous les poissons.

3.1.2. Etude des différentes séquences d'enregistrement

3.1.2.1. Etude de la séquence du 30 juin

Pour cette séquence, qui s'est déroulée en début d'après-midi, entre 13h30 et 16h30, nous ne disposions pas du logger pour mesurer l'intensité lumineuse. Les conditions physico-chimiques et de luminosité sont présentées au tableau et aux figures 3.12. Cette séquence a pour particularité de s'être déroulée sous la pluie, c'est-à-dire dans des conditions de travail assez inconfortables. La pluie et les vagues réduisant fortement la visibilité dans l'eau, nous n'avons pu observer tout à fait convenablement le comportement des poissons lors de l'enregistrement.

Pour l'étude de cette séquence, nous avons réparti les poissons par classe de tailles (figure 3.13.) :

- Les individus compris entre 60 et 65g (N=4) sont considérés comme "petits";
- les individus compris entre 70 et 80g (N=6) sont considérés comme "moyens inférieurs";
- les individus compris entre 80 et 90g (N=5) sont considérés comme "moyens supérieurs";
- les individus compris entre 90 et 100g (N=4) sont considérés comme "grands";
- les individus compris entre 110 et 120g (N=2) sont considérés comme "jumpers";

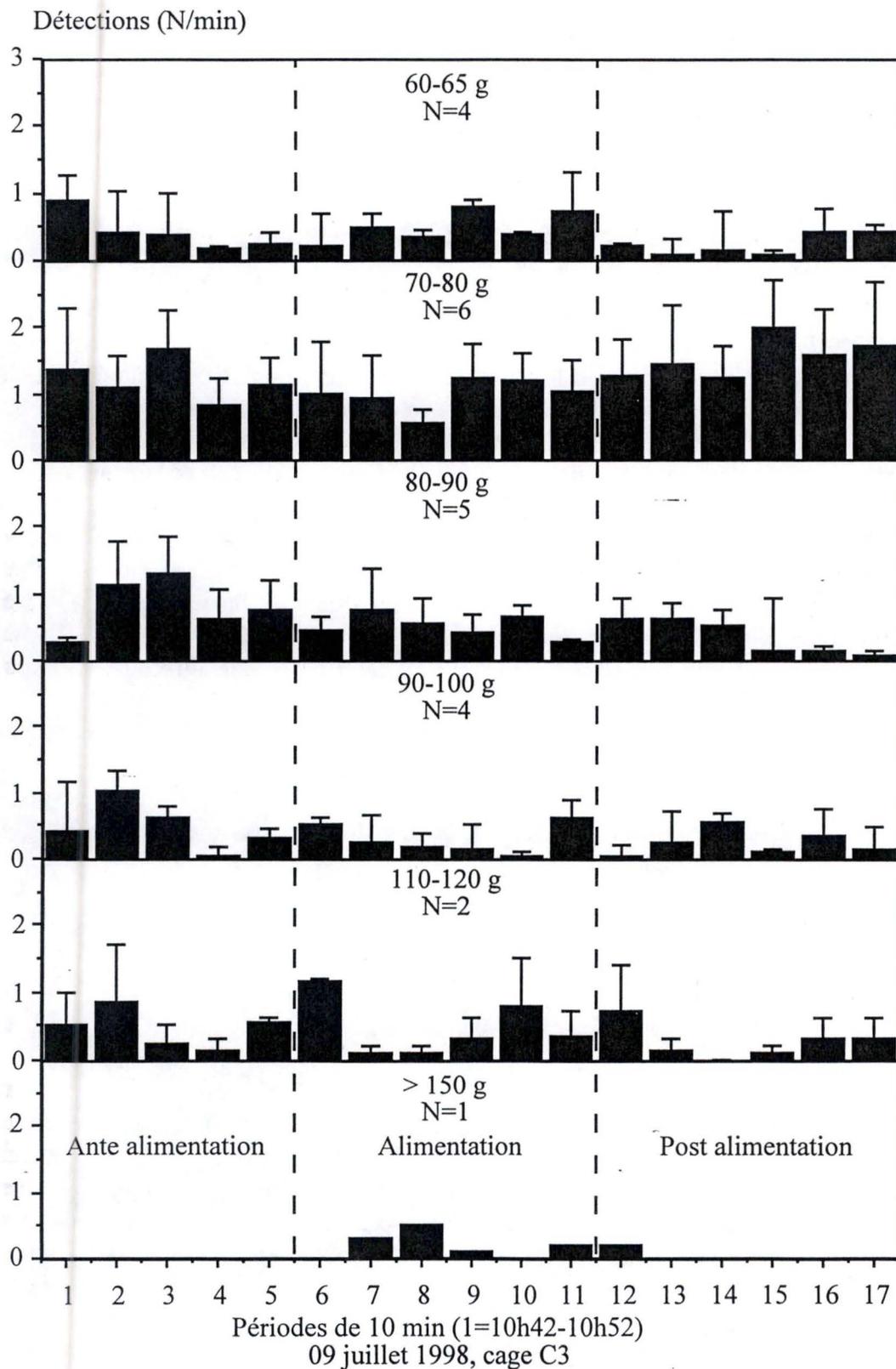


Fig. 3.14. : Détections (N/min + SEM) enregistrées lors de l'épisode de nourrissage du 9 juillet dans la cage C3. Les périodes sont de 10 min (1 = 13h30-13h40). Les résultats sont répartis par classes de tailles.

l'individu supérieur à 150 g (N=1), de taille nettement supérieure aux autres, est considéré comme "super-jumper".

L'observation la plus immédiate est le faible nombre de détections par minute pendant l'ensemble du cycle, aussi bien pendant l'épisode de distribution d'aliment, que pendant ou après (= 0,4 détections/minute). Comme il s'agissait du premier cycle d'enregistrement, il est possible que les poissons n'aient pas encore été acclimatés à ce dispositif expérimental. Le fait que des antennes factices aient été installées depuis plusieurs semaines remet toutefois en cause ce biais expérimental. Il est également plausible que dans des conditions météorologiques particulièrement mauvaises (pluie battante, vent violent, vagues), les perches aient opté pour le maintien d'une position de repos au fond de la cage. Leur présence dans les antennes au moment où l'aliment était distribué semble étayer cette hypothèse.

Le mode d'utilisation de la zone de nourrissage par les poissons de 80-90g et de 110-120g était similaire, caractérisé par une présence maximale dès le début puis décroissante par la suite, alors que la catégorie intermédiaire (90-100g) et les catégories de poids inférieurs ont effectué moins de passages, la structure de ces passages étant bimodale (0-10 minutes et 50-60 minutes de l'épisode de nourrissage). Cette observation suggère une opposition entre classes de tailles proches et une opposition moindre entre classes différentes, bien que cela reste à confirmer. Fait d'importance, le plus gros individu ne s'est pas présenté une seule fois dans la zone de nourrissage au cours des 3 heures d'enregistrement.

3.1.2.2. Etude de la séquence du 2 juillet

Cette journée étant caractérisée par un temps gris et mauvais, nous avons enregistré très peu de données. Etant donné leur nombre insuffisant, nous n'avons pu les mettre en graphique. Cela renforce l'observation du 30 juin : il y a très peu de passages si les conditions météorologiques sont mauvaises.

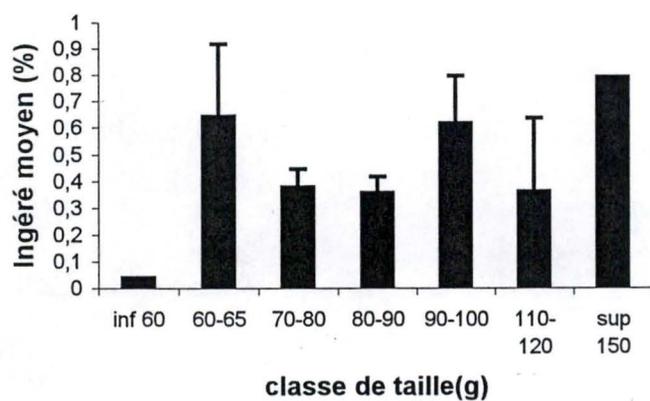
3.1.2.3. Etude de la séquence du 9 juillet

Cette séquence s'est déroulée en fin de matinée. Nous avons retenu la période s'étalant de 10h42 à 13h32 pour notre analyse. Les conditions physico-chimiques sont décrites au tableau et figures 3.12. L'expérience s'est déroulée sous un ciel couvert et un vent important. La séquence se caractérise par la luminosité faible régnant lors du test (100-700 $\mu\text{E}/\text{cm}^2$).

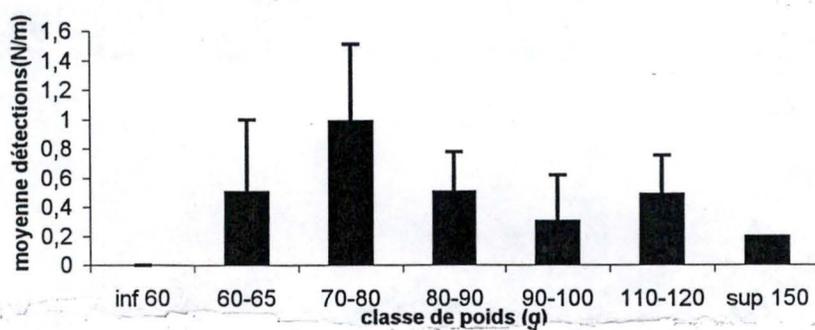
Les individus de la cage C3 sont classés en six catégories de tailles :

- les individus compris entre 60 et 65g (N=4) considérés comme "petits";
- les individus compris entre 70 et 80g (N=6) considérés comme "moyens inférieurs";
- les individus compris entre 80 et 90g (N=5) considérés comme "moyens supérieurs";
- les individus compris entre 90 et 100g (N=4) considérés comme "grands";

a



b



c

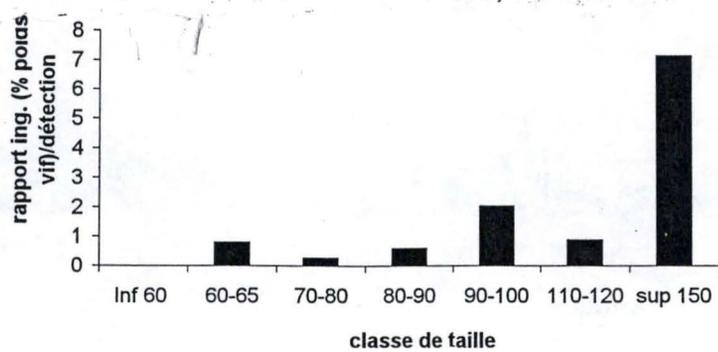


Fig.3.15. a, b et c : Ingéré moyen, moyenne de détections (N/m) pendant le nourrissage, et rapport ingéré (% poids vif) / détections (N/m) lors de la séquence du 9 juillet.

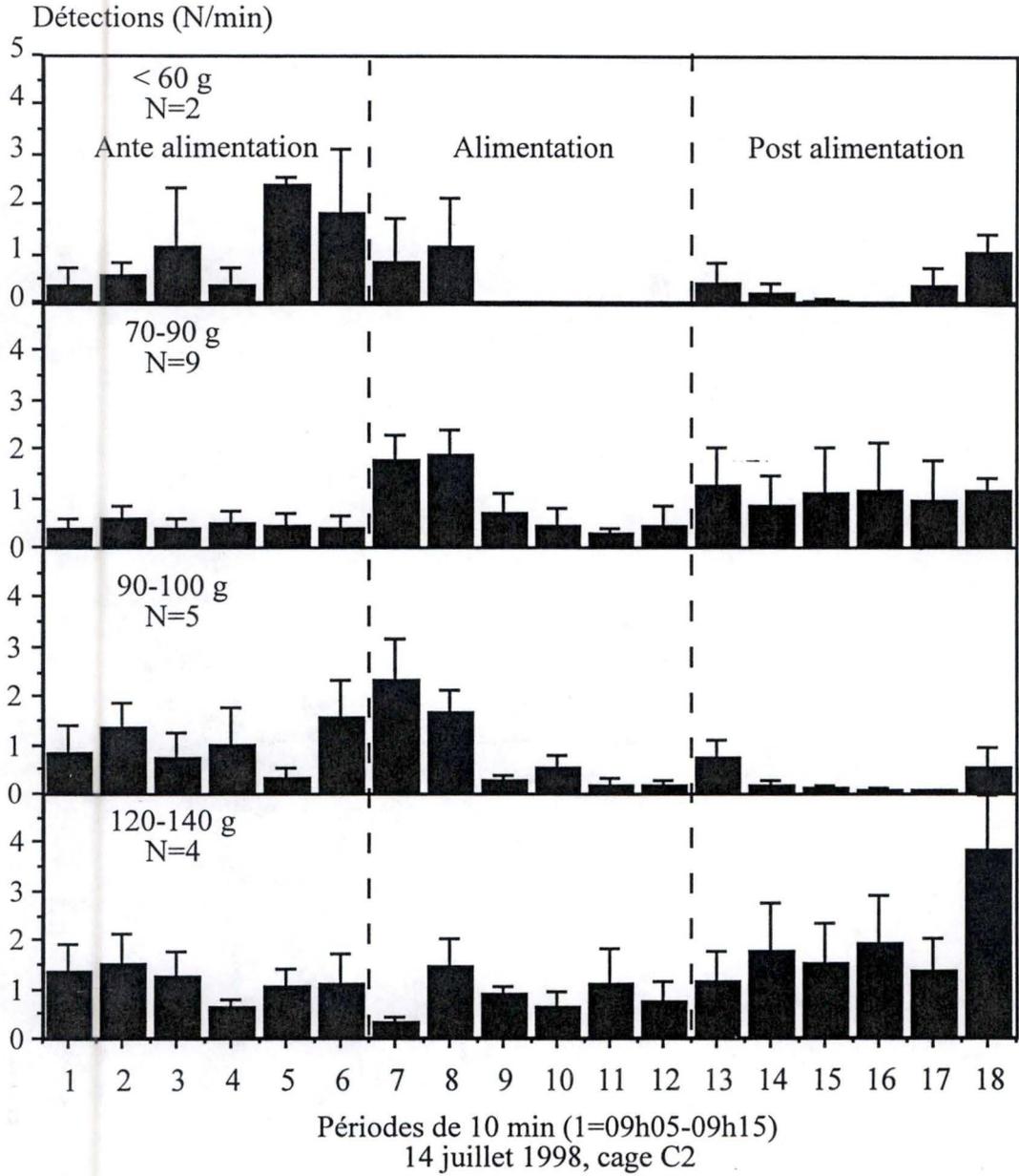


Fig. 3.16. : Détections (N/min + SEM) enregistrées lors de l'épisode de nourrissage du 14 juillet dans la cage C2. Les périodes sont de 10 min (1 = 13h30-13h40). Les résultats sont répartis en classes de tailles.

les individus compris entre 110 et 120g (N=2) considéré comme "jumpers".

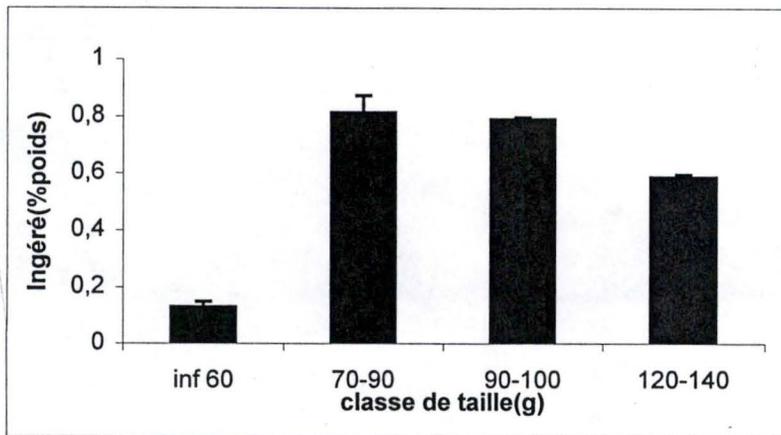
De plus, un des individus, nettement plus grand que les autres, forme à lui seul une catégorie, celle des individus supérieurs à 150 g (N=1). Les résultats sont développés à la figure 3.14.

Nous avons constaté, de manière générale, une activité faible et relativement constante au cours de l'enregistrement, mais avec des différences sensibles suivant les classes de tailles considérées. Avant le nourrissage, les poissons présents appartiennent essentiellement aux 3 classes inférieures, et après le nourrissage, les individus de 70-80g monopolisent la zone d'antennes. A l'opposé, l'individu > 150g n'occupe les antennes que pendant le nourrissage, et au cours des 10 minutes qui suivent. Ainsi que nous l'avons suggéré précédemment le mode d'utilisation, en présence d'aliment, de la zone de nourrissage par les poissons de différentes classes de tailles est susceptible de refléter une hiérarchie sociale marquée, essentiellement orientée vis-à-vis des classes de tailles proches. Les poissons de 110-120g occupent essentiellement les antennes en absence de l'individu > 150g. Leur présence affecte probablement les individus de 80-90g et 90-100g, dont les présences alternent avec celles des poissons de 110-120g. De même, les poissons 70-80g sont en phase avec les poissons de 110-120g, mais en opposition de phase avec les catégories voisines.

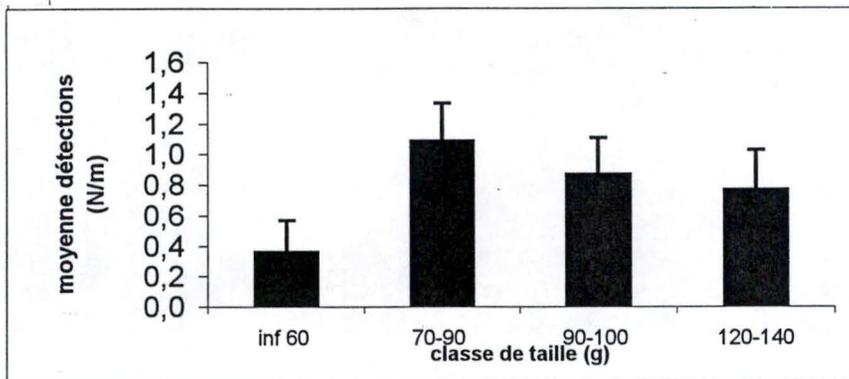
A l'occasion de ce cycle d'enregistrement, nous avons pu mesurer l'ingéré volontaire (% poids vif) par la technique des ballotini (figure 3.15. a, b et c). Cette analyse a notamment permis de mettre en évidence qu'un individu de 60g, qui n'avait pas été détecté pendant l'épisode de nourrissage, avait toutefois consommé de l'aliment, mais en quantité très faible (0,04%). Compte tenu du vent et des vagues dans la cage, il est plausible que quelques granulés aient dérivé hors de la zone de détection et aient été consommés par ce poisson en dehors des antennes. Il est également possible que la préhension d'aliment ait eu lieu en dessous des antennes. Le faible ingéré de cet individu suggère toutefois que ce comportement n'est pas fréquent. Chez les poissons détectés dans les antennes lors de l'épisode de nourrissage, on observe une diminution globale de l'ingéré chez les poissons de poids décroissants : super jumper (1,37%), jumpers (0,43 %), grands (0,61%), moyens supérieurs (0,31%), moyens inférieurs (0,27%) et petits (0,04%).

De manière à tester l'efficacité de la stratégie d'alimentation des poissons, nous avons calculé le quotient ingéré (en % du poids vif) / nombre de détections par minute pendant le nourrissage. Celui-ci s'avère en moyenne assez élevé. Pour la classe du super-jumper, on observe le rapport le plus important (7,1). Ce rapport est aussi très élevé pour les classes des moyens supérieurs (2,0), des jumpers (0,9) et des petits (0,8). La classe des moyens inférieurs montre un rapport faible (0,3). Cette analyse démontre que l'efficacité alimentaire est hautement variable suivant les classes de tailles et sa structure en alternance (valeur haute, moyenne, basse) supporte notre interprétation d'une hiérarchie sociale essentiellement marquée vis-à-vis des classes de tailles inférieures mais proches. Dans ce contexte, il est plausible que certains poissons, comme les moyens inférieurs, aient opté pour une stratégie de présence permanente pour minimiser leur inefficacité vis-à-vis de leurs concurrents de tailles supérieures. Au plan méthodologique, cette analyse montre clairement que, dans le cas d'épisodes prolongés (i.e. 1h), le nombre de passages dans les antennes et d'accès potentiel à la nourriture n'est pas synonyme d'ingestion systématique.

a



b



c

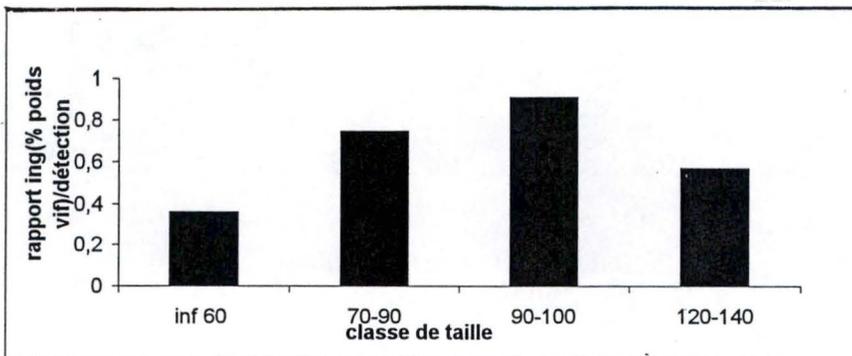


Fig. 3.17. a, b et c : Ingré moyen, détections pendant le nourrissage (N/m) et rapport ingéré (% poids vif) / détections (N/m) lors de la séquence du 14 juillet.

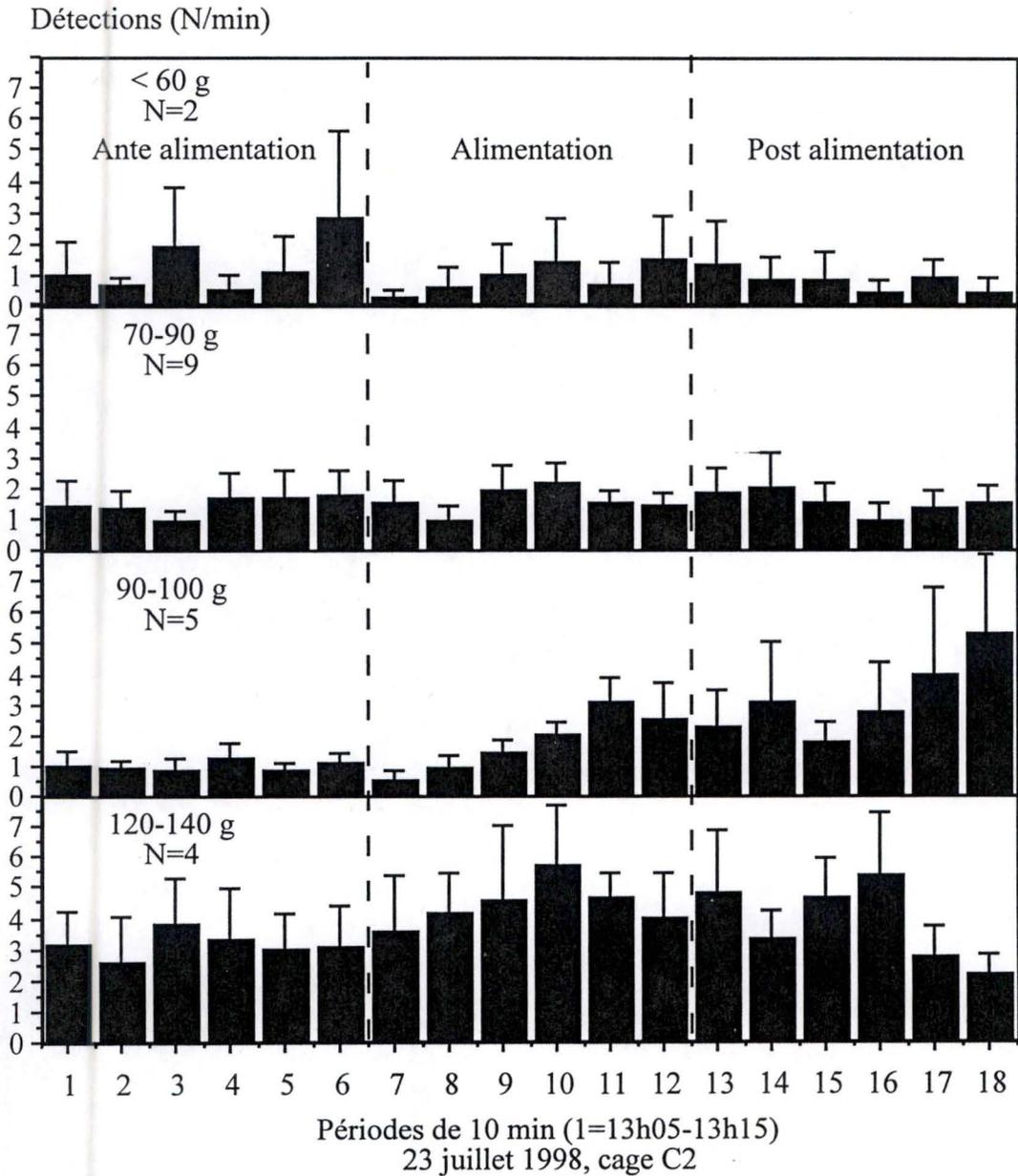


Fig. 3.18. : Détections (N/min + SEM) enregistrées lors de l'épisode de nourrissage du 23 juillet dans la cage C2. Les périodes sont de 10 min (1 = 13h30-13h40). Les résultats sont répartis par classes de tailles.

3.1.2.4. Etude de la séquence du 14 juillet

Cette séquence s'est déroulée en matinée, entre 9h05 et 12h05, dans la cage C2. Les conditions physico-chimiques sont reprises au tableau . Un vent important soufflait, provoquant de vagues. Des éclaircies alternaient avec des passages lumineux. On enregistre en conséquence une luminosité très variable (100 - 2200 $\mu\text{E}/\text{cm}^2$). Le manque de visibilité, ainsi que la présence de fouling dans les filets, a entraîné des problèmes dans l'observation du comportement des poissons.

Pour cette séquence, les poissons sont répartis en quatre groupes :

Les individus inférieurs à 60g (N=2) sont considérés comme "petits";

les individus compris entre 70 et 90g (N=9) sont considérés comme "moyens";

les individus compris entre 90 et 100g (N=5) sont considérés comme "grands";

les individus compris entre 120 et 140 g (N=4) sont considérés comme "jumpers".

Les résultats de cette séquence se trouvent à la figure 3.16. En période de pré-nourrissage, l'ensemble des classes de tailles occupe fréquemment les antennes, à l'exception des moyens, et tous les individus ont été détectés à au moins une reprise (0,3-2,5 détections/minute). En début de nourrissage, les grands sont les plus fréquemment présents, puis leurs passages deviennent plus rares lorsque les jumpers accèdent plus souvent à la zone. La diminution du passage des grands s'accompagne d'une légère augmentation du passage des moyens et des petits. Au terme des 20 premières minutes de nourrissage, seuls les jumpers occupent fréquemment la zone d'antennes. En post-nourrissage, on observe une structure alternée, avec une forte présence des jumpers et des moyens, et une très faible présence des gros et des petits.

Comme pour la séquence précédente, nous avons pu mesurer l'ingéré grâce aux ballotini incorporés dans l'aliment (figure 3.17. a, b et c). Nous avons ici observé une nette différence d'ingéré suivant la classe de tailles. Nous avons pu remarquer que les petits mangent peu (0,13% du poids vif), les jumpers moyennement (0,44%), la majorité de l'ingéré étant représentée par les moyens inférieurs (0,81%) et supérieurs (0,79%). Le rapport ingéré moyen / nombre moyen de détections pendant le nourrissage est moins élevé que dans l'étude du 9 juillet, et diffère sensiblement au plan des classes de tailles. Il est proche de 1 pour les grands (0,9), de 0,7 pour les moyens, 0,6 pour les jumpers, et de 0,4 pour les petits. Sur la base de la périodicité des détections au cours de l'épisode de nourrissage, nous pouvons suggérer que les poissons ayant eu un accès rapide à la nourriture au cours des premières minutes ont été efficaces, et c'est probablement ce qui les a amenés à quitter les antennes lors de l'arrivée plus tardive des jumpers. La raison pour laquelle ces jumpers ont montré une efficacité moindre reste à déterminer. Précisons toutefois que cette moindre efficacité, reflète notamment d'un ingéré moindre, n'est pas anormale si on se réfère à la corrélation négative entre poids corporel et ration alimentaire, et que proportionnellement c'était davantage la situation du 2 juillet qui était particulière au plan de l'ingéré (1,37 % chez le super jumper) et de l'efficacité.

3.1.2.5. Etude de la séquence du 23 juillet

Les conditions physico-chimiques rencontrées lors de cette séquence (13h05-16h05) sont comparables à celle des autres études (tableau 3.12.), notamment au plan de

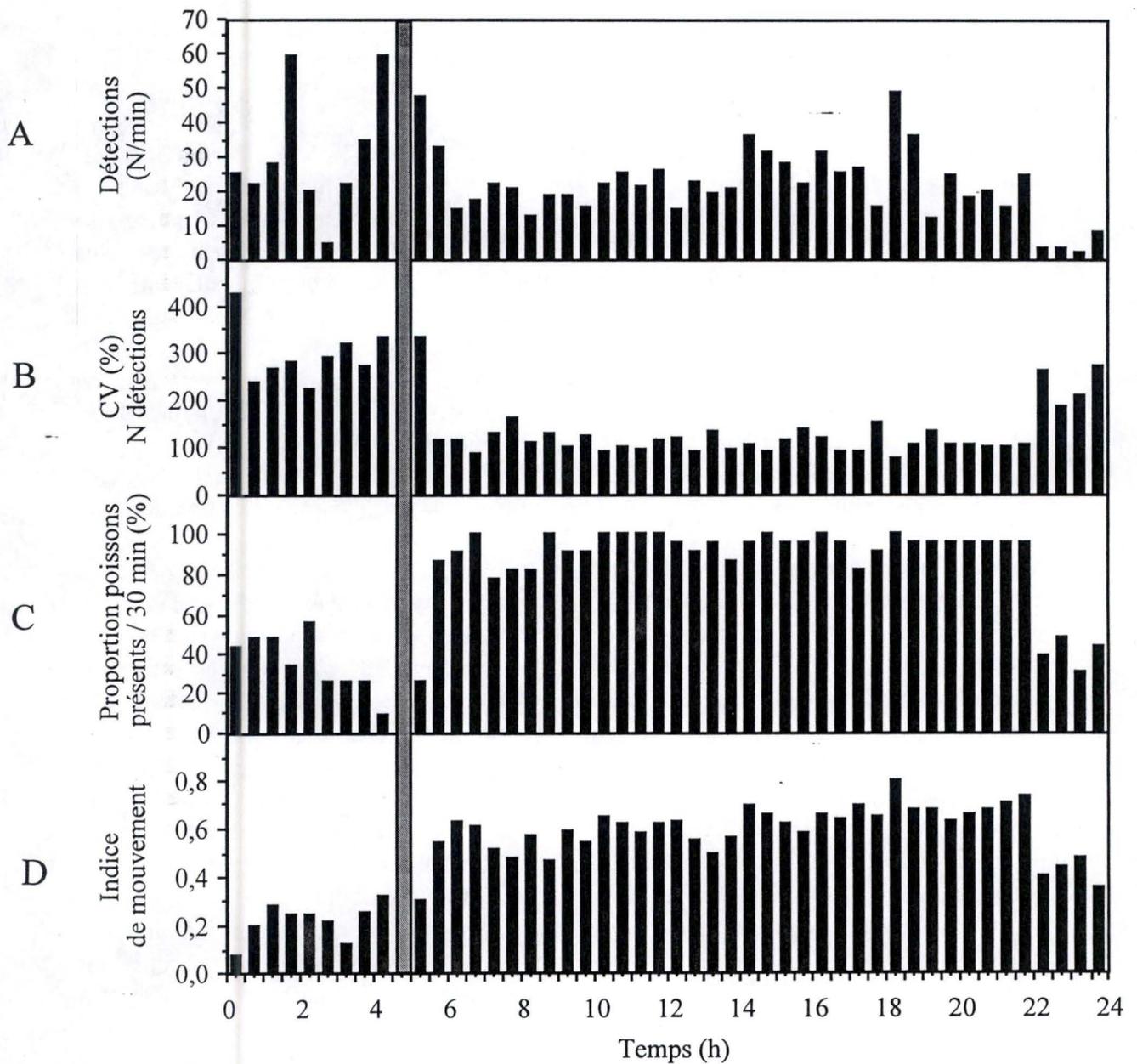


Fig. 3.19. : Descripteurs comportementaux utilisés dans le cadre du cycle de 24h :

A = détections (N/min)

B = CV (%) N détections

C = proportion poissons présents/30 min (%)

D = indice de mouvement

la luminosité variable (200-1200 $\mu\text{E}/\text{cm}^2$). Nous avons également noté la présence de vagues sur le site, celles-ci pouvant modifier la vision et le comportement des poissons.

Les poissons de la cage C2 ont ici aussi été répartis en quatre classes de tailles :
les individus de poids inférieur à 60g (N=2) considérés comme "petits";
les individus compris entre 70 et 90g (N=9) considérés comme "moyens";
les individus compris entre 90 et 100g (N=5) considérés comme "grands";
les individus compris entre 120 et 140g (N=4) considérés comme "jumpers".

Les résultats de cette séquence se trouvent à la figure 3.18. Par rapport aux cycles précédents, l'activité enregistrée au cours de ce cycle était nettement plus élevée, notamment dans le chef des jumpers, dont la fréquence de passage oscillait entre 2,5 et 5,5 détections/minute. En début de nourrissage (qui commence à 14 h05), nous observons une augmentation de l'activité des jumpers accompagnée d'une réduction de la fréquence de détections des grands. La fréquence de passages la plus élevée des grands est observée précisément au moment où celle des jumpers diminue. *A contrario*, ce regain d'activité des grands s'accompagne d'une diminution de l'activité des moyens et des petits. Cette opposition entre grands et jumpers se retrouve également en post-nourrissage, cette observation confortant l'hypothèse émise pour les cycles précédents, dans le sens d'une hiérarchie sociale s'exerçant surtout entre classes de poids proches.

3.1.3. Etude du cycle de 24 h.

Cette étude s'est réalisée les 27 et 28 juillet 1998 dans la cage C3, qui a été choisie en raison de l'accoutumance correcte des perches au dispositif d'enregistrement. Au plan météorologique, cette journée a été marquée par une forte variabilité de l'intensité lumineuse dans sa phase diurne, tant en surface qu'au fond de la cage. *A contrario*, la température et les autres variables physico-chimiques ont présenté des variations nettement moindres, de telle sorte que les résultats sont essentiellement analysés par référence aux variations d'intensité lumineuse. Plusieurs descripteurs comportementaux ont été utilisés pour cette caractérisation (méthodologie développée par E. BARAS, ULg, LDPA-Tihange, comm. pers.) (figure 3.19.) :

- 1) Nombre de détections par minute (N/m) au cours du cycle de 24 h.
- 2) Proportion de poissons présents par période de 30 minutes (exprimée en %) au cours du cycle.
- 3) Coefficient de variation (%) du nombre de détections de chaque individu par période de 30 minutes.
- 4) Calcul d'un indice de mouvement (compris entre 0 et 1), basé sur l'analyse de l'identité ou de l'hétérogénéité des lignes successives d'enregistrement au plan de l'antenne de détection et/ou du code du poisson détecté.

Afin d'étudier la structure de groupe à l'intérieur de la cage, nous avons, comme dans les séquences précédentes, groupé les individus en six classes de tailles (figure 3.20.) :

Les individus dont la taille est comprise entre 60 et 65g (N=4),
les individus dont la taille est comprise entre 70 et 80g (N=6),
les individus dont la taille est comprise entre 80 et 90g (N=5),

Fréquence (N/min)

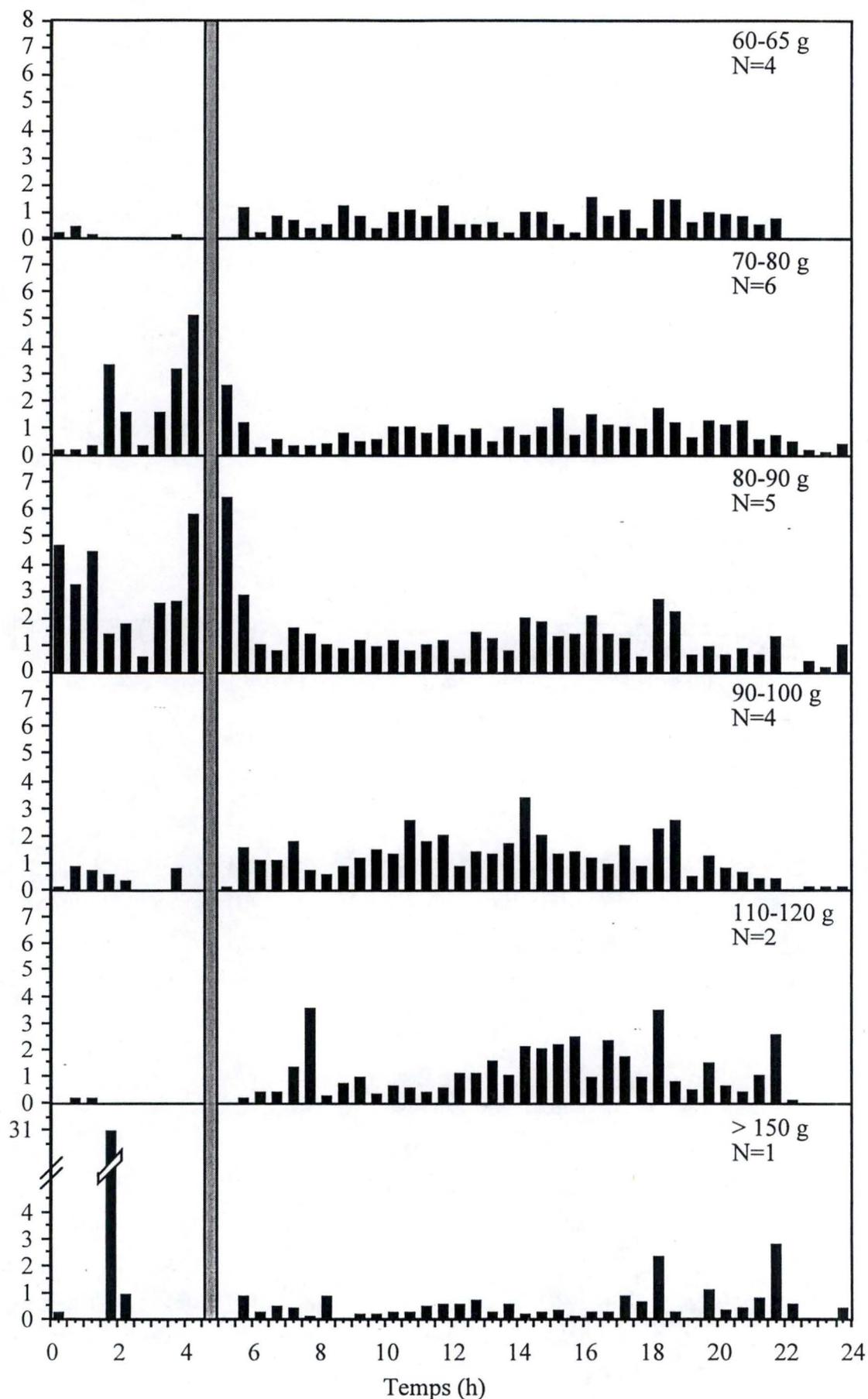


Fig. 3.20. : Détections (N/m) enregistrées selon la classe de tailles lors du cycle de 24h effectué les 27 et le 28 juillet.

Détections (N/min)

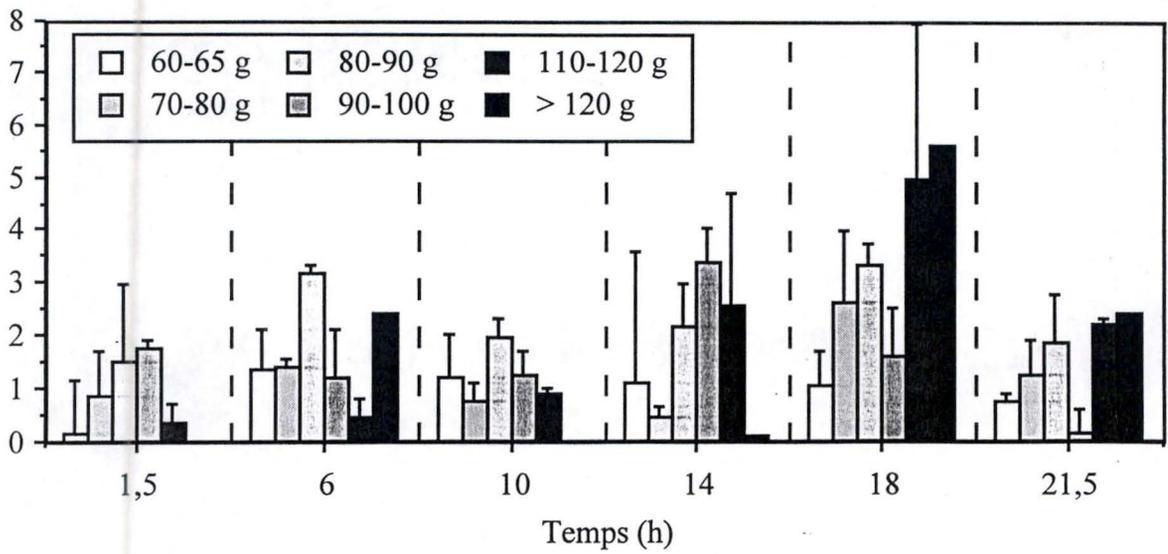


Fig. 3.21. : Détections (N/m) enregistrées selon la classe de tailles lors des épisodes de nourrissage.

les individus dont la taille est comprise entre 90 et 100g (N= 4),
les individus dont la taille est comprise entre 110 et 120g (N=2),
l'individu de taille supérieure à 150g (N=1).

Nous nous sommes ensuite intéressé plus particulièrement aux variations d'activité parmi les différentes classes de tailles durant les 6 épisodes de nourrissage de 10 minutes programmés au cours de ce cycle de 24h (10h00-10h10, 14h00-14h10, 18h00-18h10, 21h30-21h40, 01h20-01h30, 05h50-06h00). A la suite d'un problème technique, nous n'avons pu enregistrer les données relatives à la période comprise entre 4h30 et 5h. Cette période figure en hachuré sur les graphiques.

La figure 3.21. illustre clairement que la participation des perches aux épisodes de nourrissage est fortement variable suivant la classe de taille de poids à laquelle elles appartiennent, et de l'horaire suivi pour la distribution de l'aliment.

Au cours de la nuit, seuls les poissons de taille moyenne (70-100g) effectuent des passages fréquents lors des épisodes de nourrissage. Le nombre moyen de détections par individu est faible, et comme signalé précédemment, la proportion de poissons présents est faible également, suggérant que seuls les poissons initialement présents dans le voisinage de l'antenne ont eu accès à la nourriture, pour autant qu'ils l'aient consommée. Pour les 5 épisodes situés au cours de la photophase, on peut dégager les tendances suivantes :

- L'hétérogénéité du nombre de passages par individu au sein d'une même classe de tailles est proportionnellement plus élevée en milieu d'après-midi et au cours de la nuit qu'à n'importe quelle autre période du cycle journalier (exception faite des poissons de 110-120g à 18h00).

- Le nombre de passages par épisode de nourrissage est plus élevé à l'aube, décroît lors de la matinée, ré-augmente lors de l'après-midi, atteint un pic à 18h00, puis décroît en soirée. Cette évolution correspond précisément à l'activité des poissons de 80-90g (poissons moyens), et du poisson > 150 g, qui montrent une structure nettement bimodale.

- La présence des plus petits poissons (60-65g) décroît légèrement au cours de la photophase, cette évolution contrastant avec celle des poissons de 110-120g qui augmente de 06h00 à 18h00. A cet égard, il est intéressant de constater l'opposition apparente entre les pics de présence des poissons de 110-120g et du plus grand individu (> 150g) de 06h00 à 14h00, de même que l'opposition entre les poissons de 90-100g et les individus > 110g, alors que les poissons de plus petites tailles semblent moins affectés par la présence de la tête de lot.

Ces comparaisons suggèrent que la périodicité typique d'alimentation de la perche est de type bimodal (aube, soirée), comme le suggèrent d'ailleurs les faibles variabilités observées au cours de ces périodes. Cependant, dans le contexte d'une hiérarchie sociale, les individus en compétition (90 à > 150g) sont probablement contraints d'adapter leur rythme alimentaire en fonction du contexte social, et plus précisément de se nourrir durant les épisodes de nourrissage durant lesquels les poissons de tailles supérieures (> 110g) sont absents. Cette interprétation, qui explique probablement la prédominance des passages des poissons de 90-100g au cours de l'après-midi, au moment auquel les poissons de poids (et probablement de rang social) supérieurs étaient absents ou moins assidus dans cette zone, rejoint pleinement l'analyse effectuée sur la

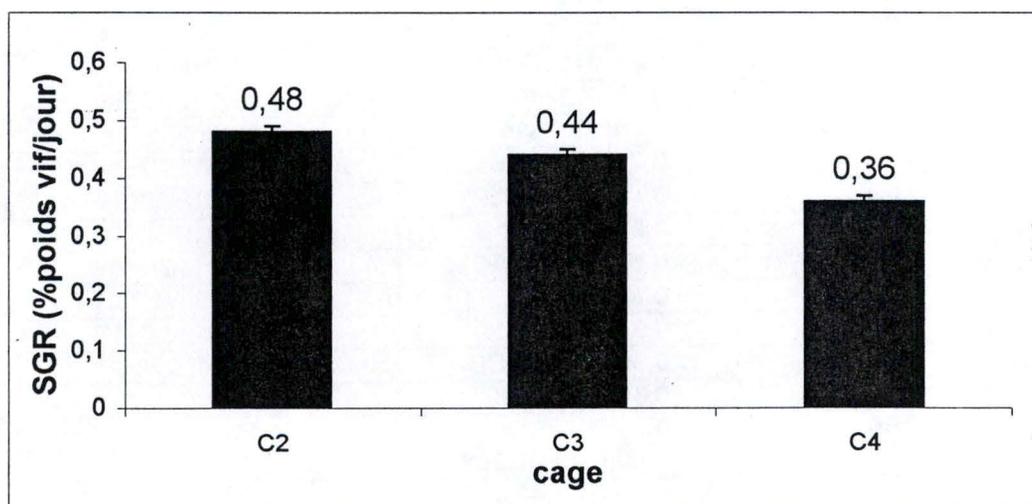


Fig. 3.22. : (SGR + SEM) des cages C2, C3 et C4 utilisées lors de l'étude de l'activité.

	SGR(%/j)					
C2	C2	C3	C3	–	C4	C4
00F5F0273	0,66	013CF866	0,33		013CD1E1	0,52
013CCCE8	0,49	1221792	0,26		1220940	0,34
01CA4F2D	0,47	01DA7BB3	0,40		01DA71B2	0,41
013CFAB8	0,54	1220630	0,50		01BB3F62	0,41
013CBFD6	0,39	013CABC7	0,25		012FB739	0,48
013CBD19	0,68	013CBB9B	0,43		01BB3E79	0,33
00F60697	0,38	01BC6972	0,60		013CF659	0,61
01BB6700	0,77	01D2BDBC	0,23		00F768F1	0,32
0122428F	0,46	01BC3957	0,36		01BB37F8	0,61
013CE9C9	0,46	012210D2	0,77		01D26E68	0,43
01BB68CO	0,40	1237816	0,49		00F5861	0,31
01BC3ECO	0,73	1224OE6	0,32		013CBB80	0,39
01DA73D7	0,48	013CED12	0,58		01BC3CFF	0,28
013CC063	0,60	1234484	0,33		01BC311C	0,36
013CC804	0,56	013CF9AC	0,70		013CD4B4	0,37
00F55403	0,35	01BC3322	0,34		00F5F29D	0,08
013CE03B	0,27	00F5F304	0,55		013CD71B	-0,10
013CD279	0,35	013CBEC2	0,04		012344CC	0,28
013CDECA	0,30	01221F09	0,47			
00F677BA	0,36	00F7CD96	0,66			
		01BB3D31	0,48			
		013C4FAE	0,52			
		013CDF20	0,54			
	C2		C3			C4
moyenne(%/j)	0,48		0,44			0,36
variance	0,02		0,03			0,03
écart- type	0,14		0,17			0,17
CV	0,30		0,39			0,47
ES	0,01		0,01			0,01

Tableau 3.23. : SGR (taux de croissance spécifique) individuel des poissons utilisés dans le cadre d'activités aléatoires.

cage C2 le 23 juillet, durant laquelle la séquence de participation à un épisode de nourrissage au cours de la photophase était de type 4-2-1-3 (taille croissante de 1 à 4).

3.1.4. Suivi de la survie et de la croissance dans les trois cages

Les poissons montrent une bonne adaptation aux conditions de confinement en cages puisque sur l'ensemble de la période durant laquelle se sont déroulées les expériences, seul un poisson est décédé. Les poissons marqués utilisés dans le cadre de cette étude ont été pesés à trois reprises :

Le jour précédant leur transfert (considéré comme le jour 0);
pendant les expériences (le 9 juillet pour la cage C3, le 14 pour la cage C2, le 27 pour la cage C4);
le 13 août.

Les résultats (figures 3.22. et tableau 3.23.) montrent une croissance significative chez presque tous les individus. Seul l'un d'entre eux a perdu du poids (passage de 56,4 à 52g). Les SGR (%/jour) moyens sont de 0,48 (SEM = 0,01) pour la cage C2, 0,44 (SEM = 0,01) pour la cage C3 et 0,36 (SEM = 0,01) pour la cage C4. L'analyse par le test de Hartley et l'Anova à 1 critère de classification fixe ne permet pas de dégager de différence significative entre les 3 cages ($p > 0,05$). Nous avons, pour la suite de l'analyse, séparé les individus en différentes classes de tailles afin d'observer d'éventuels effets liés à la taille. Les résultats du test de Bartlett et de l'Anova à 1 critère de classification ne permettent pas de mettre en évidence des différences significatives entre les différentes classes de tailles ($p > 0,05$), et ce dans toutes les cages. Nous pouvons donc conclure en disant que les poissons conférés dans les 3 cages montrent un taux de croissance spécifique semblable.

Discussion

1. Méthodologie

Les résultats ont démontré la faisabilité de l'étude de l'ingéré au moyen de la technique des rayons X, et de l'activité à l'aide du système antenne chez la perche (*P. fluviatilis*) en cages. Celle-ci semble tout à fait supporter les manipulations (anesthésie, exposition aux rayons X) inhérentes à ces techniques.

Ces techniques se montrent complémentaires. Le système "rayons X" permet de mesurer la nourriture consommée et les différences interindividuelles de prise de nourriture, le système "antennes" les variations interindividuelles d'activité de nourrissage au sein d'un groupe de poissons. En laboratoire, il est possible de restreindre, voire de contrôler le nombre de facteurs intervenant dans une expérience.

Notre étude a été réalisée dans un cadre expérimental complètement nouveau. Le nombre d'études sur le sujet est d'ailleurs assez faible. En milieu naturel, la complexité est élevée de par le grand nombre de variables pouvant déterminer le comportement du poisson. De plus, il nous faut tenir compte des interactions entre toutes ces variables. Le milieu cage augmente encore le nombre de variables intervenant dans le comportement du poisson. Il est donc nécessaire, dans le cadre d'une étude de ce type, de restreindre le nombre de facteurs étudiés. Nous nous sommes intéressés plus particulièrement à la mise en place des deux techniques citées plus hauts, et aux facteurs environnementaux pouvant influencer l'ingéré et le comportement alimentaire de la perche.

2. Etude de l'ingéré

L'étude de l'ingéré traduit fort bien cette complexité. Dans notre expérience, la gamme des valeurs d'ingéré est très étendue. Cette variabilité se marque au niveau du nombre d'individus se nourrissant et de la quantité de nourriture ingérée. L'analyse statistique nous montre des variances significativement différentes entre les cages. Les coefficients de variation d'ingéré sont, dès le départ, très importants. Ils traduisent une très grande variabilité interindividuelle dans l'ingéré. Cette fluctuation peut refléter une hiérarchie alimentaire ou simplement le fait que certains poissons mangent plus le jour des mesures (JOBILING et KOSKELA, 1996). La solidité d'une hiérarchie sociale varie entre les groupes de poissons soumis aux mêmes conditions, car elle dépend de la présence de certains individus et de la différence de capacité compétitive à l'intérieur de chaque cage. En effet, les poissons montrent de grandes variations journalières d'activité et de prise de nourriture (SMAGULA et ADELMAN, 1982 ; TACHETT *et al.*, 1988 ; BOUJARD *et al.*, 1992 in JOBILING *et al.*, 1985). A cet égard, nous avons pu constater au sein d'une même cage de fortes variabilités alimentaires d'un jour à l'autre.

Nous pouvons ici signaler que dans une cage, les effets de groupes sont renforcés par le nombre élevé de poissons dans un milieu confiné. L'information obtenue par une simple mesure de nourrissage est donc limitée. Elle permet toutefois de relier les effets de certains facteurs, comme la température et la taille du poisson, sur la prise de nourriture (à condition d'effectuer ces mesures sur différents groupes présentant des taux de croissance considérés normaux pour les conditions expérimentales). Cependant, dans notre cas, la trop grande perturbation des poissons ne permet pas dégager de lien, ou

tout au plus un lien très faible, entre ces facteurs. *A posteriori*, par cette forte variabilité, le chiffre de 20 individus prélevés par cage peut sembler insuffisant. Un échantillonnage à plus grande échelle serait intéressant à titre de comparaison. La courte durée des épisodes d'administration de la nourriture pourrait également défavoriser les individus dominés. Le type de distribution utilisé peut aussi intervenir. Nous avons utilisé la distribution à la main. D'après BOUJARD (1994), cette méthode est considérée comme simple. Elle permet un contrôle visuel et instantané de la consommation alimentaire des poissons, et donc un taux de nourrissage optimum, proche de la satiété. Néanmoins, des études récentes tendent à montrer une croissance plus faible lorsque la perche est nourrie à la main comparativement au nourrissage par tapis ou auto-nourrissage. L'indice de conversion serait également plus faible pour le nourrissage manuel comparativement au nourrissage à la demande.

Le développement récent de l'élevage de la perche révèle des problèmes pathologiques important chez cette espèce (GRIGNARD *et al*, 1996). Ce type d'étude devrait se pratiquer sur des poissons élevés et manipulés dans de bonnes conditions. En laboratoire, les poissons malades peuvent facilement être détectés et soignés. L'élevage en cages, tel qu'il est développé à l'Eau-d'Heure, contribue à l'apparition des maladies. Il est nécessaire de retirer les poissons des cages pour les soigner par baignation car l'isolation des cages est impossible. De plus, le développement des maladies est favorisé par les manipulations répétées et les faibles températures caractéristiques des eaux du lac. A cet égard, il serait peut-être souhaitable d'attendre l'élévation de la température avant d'effectuer le transfert des poissons. A titre de comparaison, les poissons mis en cage dans de meilleures conditions de température montrent une meilleure adaptation et une mortalité plus faible que ceux amenés en début de saison (une expérience en vue de mesurer l'effet de la température au moment de la mise en charge sur la survie des poissons est actuellement en cours).

Il nous faut ici signaler l'effet de la densité, la promiscuité des poissons favorisant la contagion. Les poissons utilisés pour les expériences relatives à l'activité, stockés à densité faible (50 individus par cage), ont présenté une très faible mortalité (3 morts). Il faut néanmoins signaler que ces poissons étaient plus gros et ont été soumis à une sélection à Tihange. Les individus les plus faibles n'ont pas résisté aux manipulations liées au marquage et à la période post marquage. A cet égard, le stress consécutif aux manipulations peut aussi expliquer, en partie, les résultats obtenus. Nous avons observé que la limitation des manipulations se traduit par une diminution de l'incidence des maladies chez les individus utilisés dans le cadre de cette étude.

Au point de vue méthodologique, il est important de noter que l'utilisation à grande échelle des rayons X nécessite la mise en place d'une infrastructure permettant de faire face aux conditions météorologiques variables et aux risques d'exposition

L'étude par flush gastrique de l'ingéré et l'analyse au microscope des ingérés nous montre l'importance non négligeable de l'apport de nourriture par voie naturelle. Cette nourriture, d'une qualité énergétique inférieure, semble principalement ingérée par certains individus seulement. Ceci pourrait résulter d'une sélection active du poisson vis-à-vis de ce type de nourriture, soit de la nécessité, chez certains poissons dominés n'ayant pas accès à la nourriture artificielle, de compléter leur ration. Cette dominance hiérarchique est démontrée chez certains salmonides, comme le saumon atlantique (*S.*

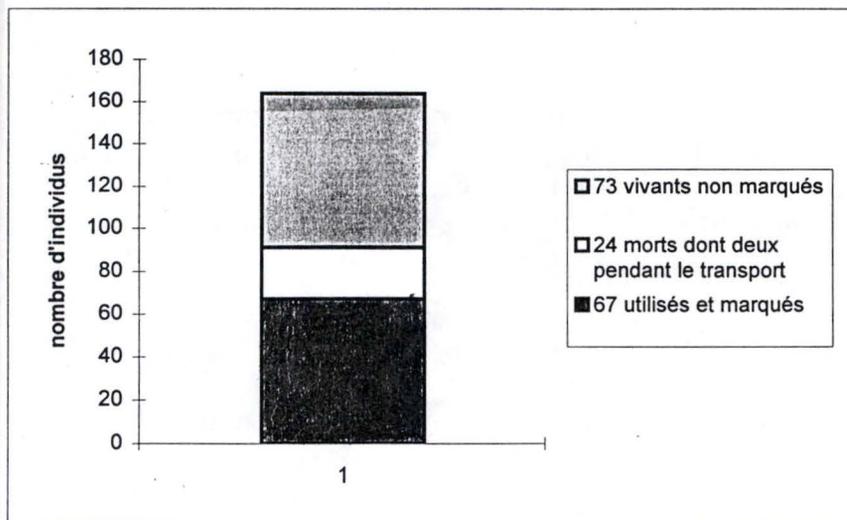


Tableau 4, 1 : Bilan du marquage par injection dorsale effectué dans le cadre de l'étude de l'activité.

salar) (THONON, 1992), et chez la perche élevée en milieu fermé. Ce type de nourriture naturelle constitue un complément à la nourriture distribuée et son exploitation démontre une bonne adaptation, au niveau de l'alimentation, des poissons nés en milieu fermé.

3. Marquage des poissons et suivi de l'activité

Le marquage des poissons par injection intra-musculaire semble utilisable dans ce type d'étude. Nous l'avons utilisé dans le but d'assurer à tout les poissons la même capacité de détection. Cependant, ce marquage entraîne une mortalité élevée et la perte de PIT-tags importantes et des mortalités importantes (voir figure 4.1.) dans les premières semaines suivant l'opération. Il semble donc nécessaire de marquer les poissons assez tôt avant l'étude (3-4 semaines) afin de garantir une période de stabulation suffisante avant la mise en cage. A titre de comparaison, le marquage en intrapéritonéale réalisé dans le cadre de mises aux point de la technique (Rapport FAIR, 1997) n'entraîne aucune expulsion après 33 jours d'expérience et un faible taux de mortalité. A long terme, la technique par injection semble très intéressante puisque nous n'avons observé que 2 rejets certains. Les 3 autres PIT-tags considérés comme "perdus" sont peut-être encore présents, mais ne sont plus détectés (tout le problème de détection étant imputable au mauvais fonctionnement de l'appareil). Le marquage en intrapéritonéal n'assure pas la même capacité de détection. En effet, lorsque le poisson grandit, le PIT peut changer d'orientation et il peut en résulter une capacité de détection moindre.

Dans le cadre de la mise au point des antennes, il faut souligner la grande variété de comportements du poisson face aux variations des facteurs environnementaux. La position des poissons change en fonction des conditions de luminosité (MORK et GULBRANDSEN, 1994) et de température (SUTTERLIN et STEVENS, 1992). On pourrait peut-être songer à un autre système de détection, par exemple avec des antennes situées à des hauteurs différentes. La structure même des antennes pourrait peut-être être adaptée aux caractéristiques propres de la cage. Les origines de passages sont en effet multiples. L'étude comportementale des perches élevées en cages nous a permis de mettre en évidence l'existence d'une grande variabilité dans la participation des poissons aux épisodes de nourrissage. Celle-ci est directement reliée à la classe de tailles à laquelle appartient le poisson et au moment auquel se déroule l'épisode de nourrissage. Nous avons pu observer une modulation de cette activité par certains facteurs environnementaux. Les résultats enregistrés le 30 juin semblent indiquer une diminution de l'activité des poissons lorsqu'une pluie soutenue prévaut. La courte durée des expériences ne nous a pas permis de visualiser l'impact des fluctuations des facteurs les plus importants comme la température.

L'étude du cycle journalier d'activité suggère que la périodicité typique d'alimentation de la perche est de type bimodale (aube, soirée). La perche montre donc une périodicité d'activité semblable à un grand nombre de poissons, dont les salmonides (JOBILING, 1995). Cette périodicité semble susceptible d'être modifiée par la structure sociale des poissons présents dans la cage. Nous pouvons, à la suite de ces résultats,

souçonner l'existence d'une compétition entre les individus dominants. En bassin, ce comportement hiérarchique est démontré chez ce poisson (MELARD *et al.*, 1995). Il entraîne une baisse de l'accessibilité à la nourriture et augmente le stress. Il contribue également à l'hétérogénéité de tailles. Metcalfe (1986 in Kadri *et al.*, 1996) suggère que la stratégie optimale des truites communes (*S. trutta*) subordonnées est de minimiser les pertes énergétiques plutôt que de maximiser la prise alimentaire.

Cette variabilité d'activité permet peut-être d'expliquer en partie les variations d'ingéré. Des études tendent à montrer que chez la truite commune, les individus dominants montrent moins de variations du taux de consommation que les individus subordonnés. Ces derniers sont en fait des opportunistes dont le taux de consommation est imprévisible (Mc CARTHY *et al.*, 1992 ; WINBERG *et al.*, 1993 in CARTER *et al.*, 1992).

Ce type d'étude permet d'avoir une meilleure compréhension du nourrissage et de l'activité alimentaire. Ceci permettra peut-être de voir les changements des rythmes alimentaires du poisson, afin de limiter les pertes et la pollution. On pourrait ainsi adapter la distribution alimentaire aux changements climatologiques.

En conclusion, il serait important de s'intéresser à certaines caractéristiques propres au site, comme les flux et le vent. A cet égard, SRIVASTAVA *et al.* (1991) montrent l'influence de la fréquence et de la hauteur des vagues sur le comportement de la truite arc-en-ciel (*O. mykiss*) élevée en cages.

Conclusions & Perspectives

Nous avons utilisé le système "antennes" pour étudier l'activité de perches (*P. fluviatilis*) marquées individuellement par PIT-tag et calculé leur ingéré par la technique des rayons X et du flush gastrique. Nous avons mesuré les variables environnementales susceptibles de faire varier l'ingéré.

Nous avons démontré dans un premier temps que les techniques des rayons X et de micromarquage pouvaient être utilisées pour estimer l'ingéré et l'activité chez la perche élevée en cage. Néanmoins, les conditions non contrôlées rencontrées lors d'études effectuées en milieu naturel rendent l'application de ces techniques assez difficile. La généralisation de leur usage nécessitera la mise en place d'une infrastructure adaptée.

L'étude de l'ingéré traduit fort bien cette complexité. En effet, les poissons ont montré d'importantes variations journalières d'activité et de prise de nourriture qui semblent dues aux conditions environnementales fluctuantes. De plus, ce type d'étude devrait se pratiquer sur des poissons élevés et manipulés dans de bonnes conditions afin de minimiser les risques de pathologies et de mortalité à la suite des blessures. Au cours de notre recherche, nous avons mis en évidence l'existence d'une hiérarchie alimentaire chez la perche se traduisant par une compétition dans la zone de nourrissage. Il serait dès lors intéressant de développer un système de détection (antennes) adapté à l'utilisation dans des cages à différentes profondeurs. D'une manière générale, la préparation du milieu expérimental et des poissons (marquage, transport, traitement et nourrissage) doit être standardisée.

Bibliographie

ALANÄRÄ, A. (1992). Demand feeding as a self-regulating feeding system for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in net-pens. *Aquaculture*, 108 : 347-356.

ALANÄRÄ, A. and BRÄNNÄS, (1993). A test of the individual feeding activity and food size preference in rainbow trout using demand feeder. *Aquacul. Int.*, 1 : 47-54.

ALOISI, D.B. (1994). Growth of hatchery-reared lake trout fed by demand feeders. *Prog. Fish Cult.*, 56 : 40-43.

ANDREWS, J.W., KNIGHT, L.H., PAGE, J.W., MATSUDA, Y. and BROWN, E.E. (1971). Interactions of stocking density and water turnover on growth and food conversion of channel catfish reared in intensively stocked tanks. *Prog. Fish Cult.*, vol. 33, 4 : 197-203.

ANDREWS, J.W. and STICKNEY, R.R. (1972). Interactions of feeding rates and environmental temperature on growth, food conversion, and body composition of channel catfish. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 1 : 94-99.

ANDREWS J.W., KNIGHT L.H. and MURAI T. (1972). Temperature requirements for high density rearing of channel catfish from fingerling to market size. *Prog. Fish Cult.*, vol. 34 : 240-241.

ANONYME (1986). Principles and practices of pond aquaculture. In : LANNAN, J.E., SMITHERMAN, R.O. and TCHOMBANGLIOUS (Eds.). Oregon State University Press, 252 p.

ANONYME (1988). Farming rainbow trout and salmon smolts in fresh water cages. In : LAIRD, B.A. and NEEDHAM, T. (Eds.). Salmon and trout farming. Department of Zoology, University of Aberdeen, 266 p.

AWALUDDIN, A., MUSTAFA, S. and MOKHTAR, M.B. (1994). Quality management in production of sea bass (*Lates calcarifer*) through cage culture system.

BANDEEN, J. and LEATHERLANDD, J.E. (1997). Transportation and handling stress of white suckers raised in cages. *Aquacul. Int.*, 5 : 385-396.

BANGXI X., DESHANG, L., QI, L. and JIMIN CAO (1994). The impact of filter-feeding fish on the carrying capacity of reservoirs for feeding-cage culture of fish. In : LI DESHANG (Eds.). Fish productivity of reservoirs and the carrying capacity of reservoirs for intensive cage culture of fish. Editorial board of the journal of ocean university of Qingdao, 103 : 94-102.

BARAS, E. (1992). Contribution à l'étude des stratégies d'occupation du temps et de l'espace chez un poisson téléostéen dulcicole, le barbeau fluviatile (*Barbus barbus* L.). Etude par radiopistage, pêche à l'électricité et observation directe. In : Dissertation

soumise à la faculté pour l'obtention du grade de Docteur en Sciences Zoologiques. Université de Liège, Faculté des Sciences, Institut de Zoologie, Service d'Ethologie et de Psychologie Animale, Laboratoire de démographie des poissons et d'aquaculture : 214 p. + annexes.

BARNABE, G. (1991). Bases biologiques et écologiques de l'aquaculture. Lavoisier-TEC et DOC : 500 p.

BARROWS, F.T. and LELLIS, W.A. (1996). Diet and nutrition. In : SUMMERFELT, R.C. (Eds.). Walleye culture manual. NCRAC Culture Series 101, North Central Regional Aquaculture Center Publications Office, Iowa State University, Ames : 315-321.

BEGOUT ANRAS, M.L. (1995). Influence des facteurs hydrologiques et météorologiques sur le comportement du bar (*Dicentrarchus labrax* L.) évoluant en marais maritimes aménagés. In : Thèse présentée pour le grade de Docteur de l'Université d'Aix Marseille II. Centre d'Océanologie de Marseille (Observatoire des sciences de l'univers), Spécialité : Océanologie : 174 p.

BEGOUT ANRAS, M.L. (1995). Demand-feeding behaviour of sea bass kept in ponds : diel and seasonal patterns, and influences of environmental factors. *Aquacul. Int.*, 3 : 186-195.

BEGOUT ANRAS, M.L., LAGARDERE, J.P. and LAFAYE, J.Y. (1997). Diel activity rhythm of seabass tracked in a natural environment : group effects swimming patterns and amplitudes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, vol. 54, 1 : 162-168.

BOISCLAIR, D. and RASMUSSEN, B. (1996). Empirical analysis of the influence of environmental variables associated with lake eutrophication on perch growth, consumption, and activity rates. *Ann. Zool. Fennici*, vol. 33 : 507-515.

BORGHETTI, J. R and CANZI, C. (1993). The effect of water temperature and feeding rate on the growth rate of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) raised in cages. *Aquaculture*, 114 : 93-101.

BOUJARD, T. and LEATHERLAND, J.F. (1992a). Demand feeding behaviour and diel patterns of feeding activity in *Oncorhynchus mykiss* held under different photoperiod regimes. *J. Fish Biol.*, 40 : 535-544.

BOUJARD, T. and LEATHERLAND, J.F. (1992b). Circadian rhythms and feeding time in fishes. *Env. Biol. Fish.*, 35 : 109-131.

BOUJARD, T. (1994). Les rythmes alimentaires : importance et conséquences en pisciculture. *La pisciculture française*, 117 : 4-9.

BOYER, J.N., VAN TOEVER, W. and JANSEN, M.E. (1994). Effect of photoperiod on growth of Arctic charr under commercial production conditions. *Prog. Fish Cult.*, 56 : 44-46.

BRETT, J.R. and HIGGS, D.A. (1970). Effect of temperature on the rate of gastric digestion in fingerling sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). *J. Fish. Res. Board Can.*, vol. 27, 10 : 1767-1779.

BRETT, J.R. (1979). Environmental factors and growth. In : Hoar, W.S., Randal, D.J. and BRETT, J.R. (Eds.). *Fish Physiol. Bioenergetics and growth*, Academic press New-York, San Francisco, London, vol. 8 : 599-671.

BUREL, C., PERSON-LE RUYET, J., GAUMET, F., LE ROUX, A., SEVERE, A. and BOEUF, G. (1996). Effects of temperature on growth and metabolism in juvenile turbot. *J. Fish Biol.*, 4, 678-692.

BUSCHMANN, R.P. (1996). Cage culture of walleye and walleye*sauger hybrids. In : SUMMERFELT, R.C. (Eds.). *Walleye culture manual*, NCRAC Culture Series 101, North Central Regional Aquaculture Center Publications Office, Iowa State University, Ames : 261-266.

CAI, Y. and SUMMERFELT, R.C. (1992). Effects of temperature and size on oxygen consumption and ammonia excretion by walleye. *Aquaculture*, 104 : 127-138.

CARLSTEIN, M. (1995). Growth and survival of European grayling reared at different stocking densities. *Aquacul. Int.*, 3 : 260-264.

CARTER, C.G., HOULIHAN, D.F., Mc CARTHY, I.D. and BRAFIELD, A.F. (1992). Variation in the food intake of grass carp (*Ctenopharyngodon idella* Val.), fed singly or in groups. *Aquat. Living Resour.*, 5 : 225-228.

CHAKRABARTI, R. and JANA, B.B. (1991). Plankton intake as a function of body weight by common carp fry in different feeding conditions. *Aquaculture*, 93 : 21-34.

CHAMPIGNEULLE, A., MICHOD, M., DUCRUET, L., FOUSSAT, MUDRY, H., NOEL, D. et ZEGNA, G. (1986). Etude de la production de préestivaux de corégone (*Coregonus Sp*) en cages éclairées immergées dans le Lemman. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 300 : 1-12.

CLARK, D.S., BROWN, J.A., GODDARD, S.J. AND MOIR, J. (1995). Activity and feeding behaviour of Atlantic cod (*Gadus morhua*) in sea pens. *Aquaculture*, 131 : 49-57.

COVES, D. (1998). How to measure feed intake in fish ? Demand-feeder and feed waste control. COST ACTION 827, WG 2-SubGroup 2, REVIEW, 1st DRAFT : 7 p.

DEHAVAY, P. (1981). Détermination de la situation trophique des lacs du complexe des barrages de l'Eau d'Heure en 1981. In : Ministère de la santé publique et de la famille. Institut d'hygiène et d'épidémiologie : 143 p.

DEMAËL, A. et PERES, G. (1974). Influence de la température sur le métabolisme des poissons. *Cahiers du laboratoire de Montereau*, 1 : 21-26.

DIDIER, J. (1990). Essais d'évaluation de la dynamique de population de deux espèces abondantes en Haute-Meuse : le gardon (*Rutilus rutilus*) et la perche (*Perca fluviatilis*). (Croissance, taux de mortalité, taux d'exploitation). In : Mémoire de licence F.U.N.D.P., Namur : 68p.

DOCKRAY, J.J., MORGAN, I.J., REID, S.D. and WOOD, C.M. (1988). Responses of juvenile rainbow trout, under food limitation, to chronic low pH and elevated summer temperatures, alone and in combination. *J. Fish Biol.*, vol. 52 : 62-83.

DUBOST, N., MASSON, G. and MORETEAU, J.C. (1996). Temperate freshwater fouling on floating net cages : method of evaluation, model and composition. *Aquaculture*, 143, 303-318.

FERMIN, A.C. and SERONAY, G.A. (1997). Effects of different illumination levels on zooplankton abundance, feeding periodicity, growth and survival of the Asian sea bass (*Lates calcarifer* Bloch), fry in illuminated floating nursery cages. *Aquaculture*, 157 : 227-237.

FERNÖ, A., HUSE, I., JUELL, J.E. and BJORDAL, A. (1995). Vertical distribution of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in net pens : trade-off between surface light avoidance and food attraction. *Aquaculture*, 132 : 285-296.

FIOGBE, E.D. (1996). Contribution à l'étude des besoins nutritionnels chez les larves et juvéniles de la perche fluviatile (*Perca fluviatilis* L.). In : Dissertation présentée en vue de l'obtention du grade de Docteur en Sciences. F.U.N.D.P., Faculté des Sciences, Presses Universitaires de Namur : 334p.

FONTAINE, P., TAMAZOUZT, L. and CAPDEVILLE, B. (1996). Growth of the Eurasian perch (*Perca fluviatilis* L.) reared in floating cages and in water recirculated system : first results. *J. Appl. Ichtyol.*, 12 : 181-184.

FORSBERG, J.A. and SUMMERFELT, R.C. (1992). Effect of temperature on dial ammonia excretion of fingerling walleye. *Aquaculture*, 102 : 115-126.

GRIFFITHS, D. and KIRKWOOD, R.C. (1995). Seasonal variation in growth, mortality and fat stores of roach and perch in Lough Neagh, Northern Ireland. *J. Fish Biol.*, 47 : 537-554.

HOSSEIN, M.A.R., BEVERIDGE, M.C.M. and HAYLOR, G.S. (1998). The effects of density, light and shelter on the growth and survival of African catfish (*Clarias gariepinus* BURCHELL, 1822) fingerlings. *Aquaculture*, 160, 251-258.

JOBLING, M. and BAARDVIK, B.M. (1994). The influence of environmental manipulations on inter- and intra-individual variation in food acquisition and growth performance of Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *J. Fish Biol.*, 44 : 1069-1087.

JOBLING, M. (1995). Simple indices for the assessment of the influences of social environment on growth performance, exemplified by studies on Arctic charr. *Aquacul. Int.*, 3 : 60-65.

JOBLING, M. and KOSKELA, J. (1996). Interindividual variations in feeding and growth in rainbow trout in subsequent period of compensatory growth. *J. Fish Biol.*, 49 : 658-667.

JOHANSEN, S.J.S. and JOBLING, M. (1998). The influence of feeding regime on growth and slaughter traits of cage-reared Atlantic salmon. *Aquacul. Int.*, 6 : 1-17.

JORGENSEN, E.H., 1993. Feeding in darkness eliminates density-dependent growth suppression in Arctic charr. *Aquaculture International*, 1, 90-93. Short communication.

JORGENSEN, E.H. and JOBLING, M. (1994). Feeding and growth of exercised and unexercised juvenile Atlantic salmon in freshwater, and performance after transfert to seawater. *Aquacul. Int.*, 2 : 154-164.

JUELL, J.E., FUREVIK, D.M. and BJORDAL, A. (1993). Demand feeding in salmon farming by hydroacoustic food detection. *Aquacultural Engineering*, 12 : 155-167.

JUELL, J.E., FERNÖ, A., FUREVIK, D. and HUSE, I. (1994a). Influence of hunger level and food availability on the spatial distribution of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in sea cages. *Aquaculture and Fisheries Management*, 25 : 439-451.

JUELL, J.E., BJORDAL, A., FERNÖ, A. and HUSE, I. (1994b). Effect of feeding intensity on food intake and growth of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in sea cages. *Aquaculture and Fisheries Management*, 25 : 453-464.

JUELL, J.E. (1995). The behaviour of Atlantic salmon in relation to efficient cage-rearing. *Fish Biol. Fish.*, 5 : 320-335.

JUELL, J.E. (1988). Echelle de complexité et de contrôle de facteurs environnementaux dans différents systèmes d'élevage. *Comm. pers.*

KADRI, S., HUNTINGFORD, F.A., METCALFE, N.B. and THORPE, J.E. (1996). Social interactions and the distribution of food among one-sea-winter Atlantic salmon (*Salmo salar*) in a sea cage. *Aquaculture*, 139 : 1-10.

KADRI, S., METCALFE, N.B., HUNTINGFORD, F.A. and THORPE, J.E. (1997). Daily feeding rhythms in Atlantic salmon I : feeding and aggression in parr under ambient environmental conditions. *J. Fish Biol.*, 50 : 267-272.

KADRI, S., METCALFE, N.B., HUNTINGFORD, F.A. and THORPE, J.E. (1997). Daily feeding rhythms in Atlantic salmon II : size-related variation in feeding patterns of patterns of post-smolts under constant environmental conditions.

KARAS, P. (1990). Seasonal changes in growth and standard metabolic rate of juvenile perch (*Perca fluviatilis* L.). *J. Fish Biol.*, 37: 913-920. —

KECKEIS, H. and SCHIEMER, F. (1992). Food consumption and growth of larvae and juveniles of three cyprinid species at different food levels. *Environmental Biology of Fishes*, 33 : 33-45.

KESTEMONT, P., FIOGBE, E., PIRMEZ, L., MICHA, J.C., MELARD, C., ALI-AYAD, A., GRIGNARD, J.C., BARAS, E., PAELINCK, P., KAISER, L. et PHILIPPART, J.C. (1995). Diversification de la pisciculture en région wallonne. In : Rapport annuel n°3 (avril 1994-avril 1995). Ministère de la région wallonne. Direction générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement.

KESTEMONT, P., FIOGBE, E., PIRMEZ, L., FLAHAUX, P., VANDELOISE, E., MICHA, J.C., MELARD, C., GRIGNARD, J.C., ALI-AYAD, A., BARAS, E., POELING, P., KAISER, L. et PHILIPPART, J.C. (1996). Mise au point et développement d'une technologie d'élevage intensif des percidés en région wallonne. In : Rapport annuel n°1 (avril 1995-avril 96). In : Ministère de la région wallonne. Direction générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement : 74 p.

KESTEMONT, P., 1998. An integrated study of inter-individual competition and its relationships with feeding physiology and behaviour in cultured predatory fish. First periodic progress report (1/1/97-3/12/97). FAIR CT 96-1572. European commission shared-cost research project.

KOSKELA, J., JOBLING, M. and PIRHONEN, J. (1997a). Influence of the length of the daily feeding period on feed intake and growth of whitefish (*Coregonus lavaretus*). *Aquaculture*, 156 : 35-44.

KOSKELA, J., PIRHONEN, J. and JOBLING, M. (1997b). Effect of low temperature on feed intake, growth rate and body composition of juvenile Baltic salmon. *Aquacul. Int.*, 5 : 479-488.

KOSKELA, J., PIRHONEN, J. and JOBLING, M. (1997c). Variations in feed intake and growth of Baltic salmon and brown trout exposed to continuous light at constant low temperature. *J. Fish Biol.*, 50 : 837-845.

KOSKELA, J., PIRHONEN, J. and JOBLING, M. (1997d). Growth and feeding responses of a hatchery population of brown trout (*Salmo trutta* L.) at low temperatures. *Ecology of Freshwater Fish*, 6 : 116-121. Short communication.

KOSKELA, J., PIRHONEN, J. and JOBLING, M. (1997e). Feed intake, growth rate and body composition of juvenile Baltic salmon exposed to different constant temperatures. *Aquacul. Int.*, 5 : 351-360.

KRUMSCHNABEL, G., BIASI, C., SCHWARZBAUM, P.J. and WIESER, W. (1997). Acute and chronic effects of temperature, and of nutritional state, on ion homeostasis and energy metabolism in teleost hepatocytes. *J. Comp. Physiol. B*, 167 : 280-286.

LAGARDERE, J.P., BEGOUT ANRAS, M.L. and BUCHET, V. (1996). The acoustic positioning systems as a valuable tool for estimating the well-being of fishes in aquaculture. In : BARAS, E. et PHILIPPART, J.C. (Eds.). *Underwater Biotelemetry* : 177-186.

LAZUR, A.M. (1996). The effects of periodic grading on production of channel catfish cultured in cages. *Journal of Applied Aquaculture*, vol. 6 (4) : 17-24 .

LORIO, W.J., PERSCHBACHER, P.E. and JOHANSEN, P.B. (1992). Relationship between water quality, phytoplankton community and off flavors in channel catfish (*Ictalurus punctatus*) production ponds. *Aquaculture*, 106 : 285-292.

Mc CARTHY, I., MOKSNESS, E. and PAVLOV, D.A. (1988). The effects of temperature on growth rate and growth efficiency of juvenile common wolfish. *Aquacul. Int.*, 6 : 207-218.

Mc CARTHY, I., CARTER, C.G. and HOULILHAN, D.F. (1992). The effect of feeding hierarchy on individual variability in daily feeding of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (WALBAUM). *J. Fish Biol.*, 41 : 257-263.

Mc KINLEY, T.R. (1994). Some effects of net-pen-rearing methods on feed conversion by age-0 Arctic Grayling in an interior Alaskan lake. *Prog. Fish-Cult.*, 56 : 19-24.

MALISON, J.A. and HELD, J.A. (1995). Habituating pond-reared fingerlings to formulated feed : 199-204.

MEDALE, F., VALLEE, F., CORRAZE, G., BOUJARD, T. and KAUSHIK, S. (1994). Nutrition des poissons, croissance et qualité de l'environnement. *La pisciculture française*, 124 : 8-10.

MELARD, C. et KESTEMONT, P. (1994). Diversification de la pisciculture en région wallonne. Mise au point de l'élevage intensif d'espèces nouvelles pour la consommation et le repeuplement : cyprinides et percidés : 68 p.

MELARD, C., KESTEMONT, P. et BARAS, E. (1995). Premiers résultats de l'élevage intensif de la perche européenne (*Perca fluviatilis*) en bassin : effet de la température et du tri sur la croissance. *Bull. Fr. Pêche Pisc.*, 336: 19-27.

MILLS, E.L., CONFER, J.L. and READY, R.C. (1984). Prey selection by young yellow perch. The influence of capture success, visual acuity, and prey choice. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 113 : 579-587.

MORK, O.I. and GULBRANDSEN (1994). Vertical activity of four salmonid species in response to changes between darkness and two intensities of light. *Aquaculture*, 127 : 317-328.

MOSNERON DUPIN, J. et LAGARDERE, J.P. (1990). Réactions comportementales du bar *Dicentrarchus labrax* (LINNE, 1758) aux basses températures. Premières données recueillies en marais maritime par télémétrie acoustique. C.R. Acad. Sci. Paris, t. 310, Série III : 279-284.

NARUSE, M. and OISHI, T. (1994). Effects of light and food as zeitgebers on locomotor activity rhythms in the loach, *Misgurnus anguillicaudatus*. *Zool. sci.*, 11 : 113-119.

NEWMAN, E., THORESSON, G. and SANDSTRÖM, O. (1996). Swimming activity of perch, *Perca fluviatilis*, in relation to temperature, day-length and consumption. *Ann. Zool. Fennici*, 33 : 669-678.

NOESKE, T.A. and SPIELER, R.E. (1984). Circadian feeding time affects growth of fish. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 113 : 540-544.

OPPEDAL, F., TARANGER, G.L., JUELL, J.E., FOSSEIDENGEN, J.E. and HANSEN, T. (1997). Light intensity affects growth and sexual maturation of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolts in sea cages. *Aquat. Living Resour.*, 10 : 351-357.

PALSSON, JOBLING, M. and JORGENSEN, E.H. (1992). Temporal changes in daily food intake of Arctic charr, *Salvelinus alpinus* L., of different sizes monitored by radiography. *Aquaculture*, 106 : 51-61.

PARENT, J.P. and VELLAS, F. (1990). Effets d'une hypoxie prolongée, au printemps et en automne, sur la croissance et l'excrétion ammoniacale chez la truite arc-en-ciel. *Ichthyophysiological Acta*, 13 : 123-130.

PENG, C. and PETER, R.E. (1997). Neuroendocrine regulation of growth hormone secretion and growth in fish. *Zoological Studies*, 36(2) : 79-89.

PERSON-LE RUYET, J., GALLAND, R., LE ROUX, A. and CHARTOIS, H. (1997). Chronic ammonia toxicity in juvenile turbot (*Scotophtalmus maximus*). *Aquaculture*, 154 : 155-171.

PETERSON, R.H., COOMBS, K., POWER, J. and PAIM, U. (1988). Responses of several fish species to pH gradients. *Can. J. Zool.*, 67 : 1566-1572.

PORRELLO, S., ANDALORO, F., VIVONA, P. et MARINO, G. (1993). Rearing trial of *Seriola dumerili* in a floating cage. Production, environment and quality. In : Bordeaux Aquaculture '92. BARNABE, G. et KESTEMONT, P. (Eds). European Aquaculture Society. Special Publication n°18, Ghent, Belgium.

RANDALL, C.F., BROMAGE, N.R., THORPE, J.E. and MILES, M.S. (1994). Photoperiod, melatonin and the timing of smoltification in salmonid fish. *Aquaculture*, 121 : 289-300.

REDDY, P.K., LEATHERLAND, J.F., KHAN, M.N. and BOUJARD, T. (1994). Effect of the daily meal time on the growth of rainbow trout fed different ration levels. *Aquacul. Int.*, 2 : 165-179.

REQUENA, A., FERNANDEZ-BORRAS, J. and PLANAS, J. (1997). The effects of a temperature rise on oxygen consumption and energy budget in gilthead sea bream. *Aquacul. Int.*, 5 : 415-426.

RIEGER, P.W. and SUMMERFELT, R.C. (1997). The influence of turbidity on larval walleye, *Stizostedion vitreum*, behaviour and development in tank culture. *Aquaculture*, 159 : 19-32.

SANDSTRÖM, O., NEWMAN, E. and THORESON, G. (1983). Effects of temperature on life history variables in perch. *J. Fish Biol.*, 47 : 652-670.

SEATHER, B.S., JOHNSEN, H.K. and JOBLING, M. (1996). Seasonal changes in food consumption and growth of Arctic charr exposed to either simulated natural or a 12 : 12 LD photoperiod at constant water temperature. *J. Fish Biol.*, 48 : 1113-1122.

SIMPSON, A.L. and THORPE, J.E. (1997). Evidence for adaptive matching of appetite in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) with regular seasonal rhythms of food availability. *Aquaculture*, 151 : 411-414.

SMITH, I.P., METCALFE, N.B., HUNTINGFORD, F.A and KADRI, S. (1993). Daily and seasonal patterns in the feeding behaviour of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in a sea cage. *Aquaculture*, 117 : 165-178.

SRIVASTAVA, R.K., BROWN, J.A. and ALLEN, J. (1991). The influence of wave frequency and wave height on the behaviour of rainbow trout (*Onchorynchus mykiss*) in cages. *Aquaculture*, 97 : 143-153.

STOREBAKKEN, T., HUNG, S.S.O., CALVERT, C.C. and PLISETSKAYA, E.M. (1991). Nutrient partitioning in rainbow trout at different feeding rates. *Aquaculture*, 96 : 191-203.

SUTTERLIN, A.M. and STEVENS, E.D. (1992). Thermal behaviour of rainbow trout and Arctic charr in cages moored in stratified water. *Aquaculture*, 102 : 65-75.

TEICHERT-CODDINGTON, D.R., GREEN, B.W. and PHELPS, R.P. (1992). Influence of site and season on water quality and tilapia production in Panama and Honduras. *Aquaculture*, 105 : 297-314.

THORPE, J.E. and HUNTINGFORD, F.A. (1992). The importance of feeding behavior for the efficient culture of salmonid fishes. *World Aquaculture Society*, Baton Rouge : 60 p.

THONON, P. (1992). Radiographic investigation of feeding and food-growth relationships in Atlantic salmon, *Salmo salar*, fed with three different commercial diets. In : Travail de fin d'étude en vue de l'obtention du grade d'Ingénieur Agronome des Eaux et Forêts, Université Catholique de Louvain-La-Neuve, Faculté des Sciences Agronomiques, Unité des Eaux et Forêts : 61 p. + annexes.

THORPE, J.E., TALBOT, C. ; MILES, M.S., RAWLINGS, C. and KEAY, D.S. (1990). Food consumption in 24 hours by Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in a sea cage. *Aquaculture*, 90 : 41-47.

WANG, J.Q., LUI, H., PO, H. and FAN, L. (1997). Influence of salinity on food consumption, growth and energy conversion efficiency of common carp (*Cyprinus carpio*) fingerlings. *Aquaculture*, 148 : 115-124.

WEATHERLAY, A.H. and GILL, H.S. (1987). The biology of fish growth. Academic press, London : 443 p.

WEBSTER, C.D., TIDWELL, J.H., TIU, L.G. and YANCEV, D.H. (1996). Culture, nutrition, and feeding of fish in cages. *Aquaculture magazine* : 30-39.

WEIGEL, C. (1994). La bonne alimentation des poissons. *Aqua revue*, 55 : 11-18.

YAGGER, K.T. and SUMMERFELT, R.C., (1993). Effects of fish size and feeding frequency on metabolism of juveniles walleye. *Aquacultural Engineering*, 12 : 19-36.

YI, Y., KWEI LIN, C. and DIANA, J.S. (1996). Influence of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) stocking density in cages on their growth and yield in cages and in ponds containing the cages. *Aquaculture*, 146 : 205-215.

Annexes

catégorie	espèce	Nom scientifique	T°(°C) létale inf.	T°(°C) létale sup.	T°(°C) optimale	G.opt(%/jour)	auteurs
eaux froides	Ombre-chevalier	Salvelinus alpinus			12-16		1
					14	7,5	3
	Saumon sockeye	Oncorhynchus nerka			15	5,4-7,7	3,4
	Saumon de fontaine	Salvelinus fontinalis		23,0-25,3	7-18		1
					14		4
	Saumon rose	Onchorhynchus gorbuscha			15	9,8	3
					15,5		4
	Saumon coho	Oncorhynchus kisutch			15,5	5,53	3
	Truite arc-en-ciel	Onchorynchus mykiss		24-28	13-21		1
					17	6,9	3
					17,2		4
	Saumon keta	Onchorynchus keta			13		4
	Saumon rouge	Onchorynchus nerka			15		4
	Saumon atlantique	Salmo salar			12-17		2
	Truite fario	Salmo trutta			12-18		2
					12,8	2,79	3,4
	carrelet	Pleuronectes platessa			14,2		4
	cisco de l'est	Coregonus artedii			18,1		4
		Pleuronectes platessa			14,2		4
	Cyprin-sucet	Catostomus commersoni	0-6	26-31,5			1
				27		4	
eaux froides à eaux fraîches							
	Doré	Stizostedion vitreum			20		1
					31,6	22,6	6
		Stizostedion canadense		30,4	22,0		6
		Stizostedion lucioperca		34,3-37,0	27,0		6
	Anguille européenne	Anguilla anguilla			18-21,5		2
		Perca flavescens			28(larves)		4
				29,2-34,0	24,7		6
	Perche fluviatile	Perca fluviatilis		31,4-35,9	25,4		6
		Esox niger		36,7	20		1
Eaux fraîches à eaux chaudes							
		Morone saxalis			24-25		4
	Bar à petite bouche	Micropterus dolomieu		29-35	26-29		1
	Anguille américaine	Anguilla rostrata		35			1
	Perche soleil	Lepomis gibbosus			30		4
		Lepomis gibbosus		28,0-30,2	25-30		1
		Pomoxis nigromaculatus		34			1
		Lepomis cyanellus		20-28	28		1
Eaux chaudes							
	Bar à grosse tête	Micropterus salmoides	0-11,8	28,9-38,9	22,8-30		1
	Poisson-chat noir	Ictalurus melas		35			1
	Poisson-chat nord-américain	Ictalurus punctatus			29		4
			8-20	39	25-30		5
					30		4
			0-6	30,3-35	21-27		1
					28-30		2
	Poisson-chat africain	Clarias			25-27,5		2
			20	37	29-32		5
		Pimephales promelas	0-11	28-33,2			1
		Gambusia affinis	1,5-14,5	35,4-37,3			1
		Notemigonus crysoleucas	0-11,2	30,5-35			1
	Carpe commune	Cyprinus carpio	0-0,7	31-35,7	26,7-29,4		1
			0-3	35	20		5
	Carpe herbivore	Ctenopharyngodon idella	12,8	35,5	18,3-29,4		5
	Carpe argentée	Hypophthalmichthys molitrix	15	30	20-28		5
	Carpe Indienne	Catla catla	14,4	34	26-29		5
Eaux chaudes à tropicales							
	mulet	Mugil	5	35-40	21-33		5
	Anguille japonaise	Anguilla japonica			23-30		2
	Poisson rouge	Carassius auratus	0-9	29-41			1
	Tilapia de Java	Tilapia mossambica	9-12		22-30		1
	Tilapia bleu	Tilapia aurea	8,9-12,8	42	29,4		1
Eaux tropicales							
		Clarias batrachus	12,8-18,4		29,4		1
		Chanos	12-15	39-41	25,36		5

Annexe 1 : *Preferendum* thermique chez différentes espèces (d'après différents auteurs).

Paramètres physico-chimiques							
date	t°(°C)	Oxygène(%sat)	Oxygène	pH	pluviosité	t°air min	t°air max
4/5/98	9,1	98	11,7	8,13			
15/5/98	12,0	103	11,2	8,21			
19/5/98	16,3	118	11,7	8,32			
29/5/98	13,9	105	11,0	8,19			
5/6/98	14,9	105	10,8	8,19			
8/6/98	15,7	104	10,4	8,29	36	10	28
9/6/98	15,3	97	9,6	8,11	0	12	25
10/6/98	15,7	106	10,6	8,10	15	14	23
11/6/98	15,6		10,5	8,10	3	12	21
12/6/98	15,8		10,1	8,08	14	9	15
13/6/98	15,7		10,4	8,10	0	9	17
14/6/98	15,6		10,3	8,06	1	11	17
15/6/98	15,6	102	10,2	8,05	10	8	18
16/6/98	15,4		9,8	8,12	7	10	18
17/6/98	15,7	100	10,1	8,11	0	9	19
18/6/98	15,9	102	10,2	8,10	0	10	19
19/6/98	16,2		10,4	8,11	0	12	22
20/6/98	16,4		10,4	8,11	0	12	25
21/6/98	16,6		10,7	8,13	0	13	28
22/6/98	16,8		11,2	8,15	0	14	33
23/6/98	17,0		10,5	8,11	0	13	24
24/6/98	17,0		10,1	8,08	0	12	21
25/6/98	17,0	101	9,9	8,06	1	14	32
26/6/98	17,2		10,2	8,10	0	11	22
27/6/98	17,3		10,0	8,08	0	12	20
28/6/98	17,3		10,4	8,10	3	11	21
29/6/98	17,5	111	10,6	8,10	0	12	21
30/6/98	17,4		10,0	8,08	3	12	21
1/7/98	17,3		9,8	8,06	0	10	20
2/7/98	17,1	94	9,1	8,03	5	11	22
3/7/98	17,4	100	9,8	8,08	0	10	19
4/7/98	17,2		10,0	8,06	0	9	18
5/7/98	17,2		9,9	8,02	1	10	18
6/7/98	17,0	101	9,9	8,00	1	10	17
7/7/98	17,0	104	10,2	8,02	5	9	18
8/7/98	17,0		10,0	8,00	2	9	17
9/7/98	17,1	100	9,8	7,98	3	10	18
10/7/98	17,0		9,5	7,98	0	9	17
11/7/98	17,0		9,2	7,96	1	10	18
12/7/98	17,1		9,0	7,96	5	11	18
13/7/98	17,2	92	8,8	7,95	9	13	19
14/7/98	17,1	93	9,0	7,95	2	12	20
15/7/98	17,0	98	9,3	8,02	7	11	24
16/7/98	17,0	100	9,5	8,07	9	13	19
17/7/98	17,1	103	9,8	8,10	2	11	20
18/7/98	17,2		10,2	8,12	0	10	19
19/7/98	17,6		10,3	8,16	0	13	23
20/7/98	18,1	113	10,9	8,17	2	13	30
21/7/98	18,6	110	10,8	8,18	11	15	32
22/7/98	19,0	111	10,9	8,21	0	15	25
23/7/98	18,1	103	9,8	8,03	0	14	23
24/7/98	18,4		10,0	8,06	6	13	22
25/7/98	19,2		10,6	8,06	0	14	27
26/7/98	19,5		10,2	8,06	0	12	25

Dates	C16	C17
1/06/98		
2/06/98		
3/06/98		
4/06/98		
5/06/98	2	4
6/06/98		
7/06/98		
8/06/98		
9/06/98	6	4
10/06/98		
11/06/98		
12/06/98		
13/06/98		
14/06/98		
15/06/98	1	1
16/06/98	4	
17/06/98	3	2
18/06/98		
19/06/98		
20/06/98		
21/06/98		
22/06/98	7	12
23/06/98	4	16
24/06/98		
25/06/98		
26/06/98	8	27
27/06/98		
28/06/98		28
29/06/98	15	64
30/06/98		
1/07/98	25	19
2/07/98		6
3/07/98	2	5
4/07/98		
5/07/98		
6/07/98		
7/07/98	17	10
8/07/98		
9/07/98		
10/07/98		
11/07/98		
12/07/98		
13/07/98	1	1
14/07/98		
15/07/98		
16/07/98		
17/07/98		
18/07/98		
19/07/98		
20/07/98		1
21/07/98		
22/07/98		1
23/07/98	2	
24/07/98		1
25/07/98		
26/07/98		
27/07/98		1
28/07/98		
29/07/98		
30/07/98		
31/07/98		

	C 16				C 17			
	4/05/98							
	Poids(g)	nb billes	nourriture(g)	ingéré (%poids vif)	poids (g)	nb billes	nourriture(g)	ingéré(%poids vif)
	40	0	0,000	0,000	33	0	0,000	0,000
	16	0	0,000	0,000	30	0	0,000	0,000
	15	0	0,000	0,000	44	0	0,000	0,000
	36	0	0,000	0,000	36	0	0,000	0,000
	30	0	0,000	0,000	39	0	0,000	0,000
	60	0	0,000	0,000	32	0	0,000	0,000
	23	0	0,000	0,000	36	0	0,000	0,000
	26	0	0,000	0,000	32	0	0,000	0,000
	30	0	0,000	0,000	54	0	0,000	0,000
	24	0	0,000	0,000	26	0	0,000	0,000
	28	0	0,000	0,000	33	0	0,000	0,000
	44	0	0,000	0,000	29	1	0,028	0,097
	26	0	0,000	0,000	48	0	0,000	0,000
	18	0	0,000	0,000	59	0	0,000	0,000
	30	0	0,000	0,000	19	0	0,000	0,000
	32	0	0,000	0,000	29	0	0,000	0,000
	34	4	0,112	0,329	35	4	0,112	0,320
	39	0	0,000	0,000	47	0	0,000	0,000
	20	0	0,000	0,000	40	0	0,000	0,000
	50	0	0,000	0,000	27	0	0,000	0,000
moyenne	31		0,006	0,016	36		0,007	0,021
variance	131		0,001	0,005	98		0,001	0,005
écart-type	11		0,024	0,074	10		0,025	0,074
CV	37		435,890	447,214	27		364,186	353,591
SEM	1		0,001	0,004	1		0,001	0,004

Annexe 2 : Tableau de l'évolution temporelle de l'ingéré individuel lors de différentes expériences.

	15/05/98 C16				C17			
	poids (g)	nb billes	nourriture(g)	ingéré(%poids vif)	poids (g)	nb billes	nourriture(g)	ingéré(%poids vif)
	37	32	0,896	2,422	18	0	0,000	0,000
	60	25	0,700	1,167	39	0	0,000	0,000
	35	0	0,000	0,000	20	0	0,000	0,000
	24	0	0,000	0,000	21	2	0,056	0,267
	79	0	0,000	0,000	18	0	0,000	0,000
	36	0	0,000	0,000	24	0	0,000	0,000
	37	1	0,028	0,076	26	0	0,000	0,000
	74	4	0,112	0,151	44	0	0,000	0,000
	24	0	0,000	0,000	57	0	0,000	0,000
	20	0	0,000	0,000	27	0	0,000	0,000
	30	0	0,000	0,000	27	0	0,000	0,000
	20	0	0,000	0,000	33	0	0,000	0,000
	22	0	0,000	0,000	26	0	0,000	0,000
	14	0	0,000	0,000	57	0	0,000	0,000
	26	0	0,000	0,000	21	0	0,000	0,000
	23	0	0,000	0,000	28	0	0,000	0,000
	38	0	0,000	0,000	58	0	0,000	0,000
	31	1	0,028	0,090	38	0	0,000	0,000
	63	0	0,000	0,000	37	8	0,224	0,605
	47	0	0,000	0,000	26	0	0,000	0,000
moyenne	37		0,088	0,195	32		0,014	0,044
variance	343		0,061	0,342	168		0,003	0,021
écart-type	19		0,246	0,585	13		0,051	0,145
CV	50		279,098	299,502	40		364,186	332,594
SEM	1		0,013	0,031	1		0,003	0,008

	19/05/98 C16				C17			
	Poids (g)	nb billes	nourriture(g)	Ingéré(%poids vif)	Poids (g)	nb billes	nourriture(g)	Ingéré(%poids vif)
	24	0	0,000	0,000	17	0	0,000	0,000
	28	0	0,000	0,000	41	72	2,016	4,917
	40	19	0,532	1,330	37	0	0,000	0,000
	48	0	0,000	0,000	24	4	0,112	0,467
	28	0	0,000	0,000	42	1	0,028	0,067
	21	0	0,000	0,000	51	85	2,380	4,667
	17	0	0,000	0,000	39	0	0,000	0,000
	36	23	0,644	1,789	42	0	0,000	0,000
	52	25	0,700	1,346	25	0	0,000	0,000
	31	0	0,000	0,000	25	0	0,000	0,000
	23	0	0,000	0,000	21	7	0,196	0,933
	30	0	0,000	0,000	25	0	0,000	0,000
	34	1	0,028	0,082	30	0	0,000	0,000
	35	13	0,364	1,040	40	0	0,000	0,000
	33	0	0,000	0,000	31	14	0,392	1,265
	23	0	0,000	0,000	29	0	0,000	0,000
	23	0	0,000	0,000	20	11	0,308	1,540
	36	0	0,000	0,000	21	15	0,420	2,000
	20	0	0,000	0,000	16	0	0,000	0,000
	21	0	0,000	0,000	19	3	0,084	0,442
moyenne (g)	30		0,113	0,279	30		0,297	0,815
variance	87		0,056	0,332	97		0,445	2,207
écart-type	9		0,237	0,576	10		0,667	1,486
CV	31		208,665	206,258	33		224,700	182,320
SEM	0		0,012	0,030	1		0,035	0,078

	29/05/98							
	poids (g)	nb billes	nourriture(g)	Ingéré(%poids vif)	poids (g)	nb billes	nourriture(g)	Ingéré(%poids)
	24	0	0,000	0,000	25	0	0,000	0,000
	41	5	0,140	0,341	19	0	0,000	0,000
	17	0	0,000	0,000	27	4	0,112	0,415
	38	0	0,000	0,000	23	0	0,000	0,000
	34	0	0,000	0,000	29	0	0,000	0,000
	45	0	0,000	0,000	44	6	0,168	0,382
	17	0	0,000	0,000	24	2	0,056	0,233
	39	0	0,000	0,000	35	2	0,056	0,160
	26	0	0,000	0,000	23	0	0,000	0,000
	19	0	0,000	0,000	33	0	0,000	0,000
	12	4	0,112	0,933	17	0	0,000	0,000
	34	0	0,000	0,000	34	0	0,000	0,000
	26	0	0,000	0,000	22	0	0,000	0,000
	41	0	0,000	0,000	20	2	0,056	0,280
	35	0	0,000	0,000	38	0	0,000	0,000
	51	0	0,000	0,000	13	0	0,000	0,000
	22	0	0,000	0,000	52	0	0,000	0,000
	20	0	0,000	0,000	32	19	0,532	1,663
	29	0	0,000	0,000	27	0	0,000	0,000
	74	0	0,000	0,000	20	6	0,168	0,840
moyenne	32		0,013	0,064	28		0,057	0,199
variance	209		0,002	0,045	91		0,016	0,166
écart-type	14		0,039	0,213	10		0,125	0,408
CV	45		309,897	334,000	34		217,276	205,218
SEM	1		0,002	0,011	1		0,760	0,021

	9/06/98	C16			C17			
	Poids(g)	nb ball.	nourriture(g)	Ingéré(%poids vif)	Poids(g)	nb ball.	nourriture(g)	Ingéré(%poids vif)
	16	0	0,000	0,000	18	0	0,000	0,000
	59	43	0,353	0,598	35	0	0,000	0,000
	29	0	0,000	0,000	18	0	0,000	0,000
	30	0	0,000	0,000	32	16	0,131	0,410
	34	6	0,049	0,145	22	5	0,041	0,186
	37	27	0,221	0,598	51	0	0,000	0,000
	28	1	0,008	0,029	26	0	0,000	0,000
	34	16	0,131	0,386	46	33	0,271	0,588
	46	12	0,098	0,214	23	19	0,156	0,677
	32	0	0,000	0,000	29	1	0,008	0,028
	19	0	0,000	0,000	36	0	0,000	0,000
	22	8	0,066	0,298	21	0	0,000	0,000
	23	0	0,098	0,000	19	0	0,000	0,000
	21	0	0,000	0,000	16	0	0,000	0,000
	20	0	0,000	0,000	17	0	0,000	0,000
	29	4	0,066	0,113	18	0	0,000	0,000
	12	0	0,098	0,000	15	0	0,000	0,000
	20	0	0,000	0,000	24	0	0,000	0,000
	19	0	0,000	0,000	32	0	0,000	0,000
	35	0	0,066	0,000	17	0	0,000	0,000
moyenne	28		0,063	0,119	26		0,030	0,095
variance	121		0,008	0,039	103		0,005	0,044
écart-type	11		0,091	0,199	10		0,072	0,209
CV	39		144,588	166,872	39		236,772	221,122
SEM	1		0,005	0,010	1		0,004	0,011

	16/06/98	C16			C17			
	Poids(g)	nb ball.	nourriture(g)	Ingéré(%poids vif)	Poids(g)	nb ball.	nourriture(g)	Ingéré(%poids vif)
	50	4	0,033	0,066	37	0	0,000	0,000
	39	0	0,000	0,000	59	0	0,000	0,000
	64	0	0,000	0,000	48	0	0,000	0,000
	21	0	0,000	0,000	57	0	0,000	0,000
	58	23	0,189	0,325	51	0	0,000	0,000
	19	0	0,000	0,000	52	2	0,016	0,032
	67	0	0,000	0,000	18	0	0,000	0,000
	59	37	0,303	0,514	29	0	0,000	0,000
	14	0	0,000	0,000	26	0	0,000	0,000
	29	0	0,000	0,000	12	0	0,000	0,000
	25	0	0,000	0,000	30	0	0,000	0,000
	16	0	0,000	0,000	18	0	0,000	0,000
	17	0	0,000	0,000	18	0	0,000	0,000
	39	0	0,000	0,000	46	0	0,000	0,000
	44	0	0,000	0,000	29	7	0,057	0,198
	22	0	0,000	0,000	27	0	0,000	0,000
	29	0	0,000	0,000	63	0	0,000	0,000
	43	0	0,000	0,000	32	0	0,000	0,000
	25	0	0,000	0,000	29	0	0,000	0,000
	18	0	0,000	0,000	29	0	0,000	0,000
moyenne	35		0,026	0,045	36		0,004	0,011
variance	299		0,006	0,018	231		0,000	0,002
écart-type	17		0,078	0,132	15		0,013	0,044
CV	50		296,394	292,797	43		356,687	387,407
SEM	1		0,004	0,011	1		0,001	0,002

	23/06/98	C16			C17			
	Poids(g)	nb ball.	nourriture(g)	Ingéré(%poids vif)	Poids(g)	nb ball.	nourriture(g)	Ingéré(%poids vif)
	62	7	0,057	0,093	55	0	0,000	0,000
	43	12	0,098	0,229	26	0	0,000	0,000
	20	18	0,148	0,738	19	0	0,000	0,000
	21	0	0,000	0,000	45	4	0,033	0,073
	39	19	0,156	0,399	41	0	0,000	0,000
	28	0	0,000	0,000	25	0	0,000	0,000
	23	0	0,000	0,000	18	0	0,000	0,000
	69	0	0,000	0,000	28	0	0,000	0,000
	84	12	0,098	0,117	31	0	0,000	0,000
	49	7	0,057	0,117	16	0	0,000	0,000
	41	0	0,000	0,000	32	0	0,000	0,000
	22	36	0,295	1,342	32	0	0,000	0,000
	38	0	0,000	0,000	21	0	0,000	0,000
	22	0	0,000	0,000	46	0	0,000	0,000
	20	0	0,000	0,000	29	0	0,000	0,000
	18	2	0,016	0,091	32	0	0,000	0,000
	14	0	0,000	0,000	21	0	0,000	0,000
	22	4	0,033	0,149	53	0	0,000	0,000
	16	2	0,016	0,103	31	0	0,000	0,000
	31	0	0,000	0,000	30	0	0,000	0,000
moyenne	34		0,049	0,169	32		0,002	0,004
variance	371		0,006	0,109	126		0,000	0,000
écart-type	19		0,077	0,330	11		0,007	0,016
CV	56		158,176	195,143	36		447,214	447,214
SEM	1		158,176	0,017	1		0,000	0,001

	13/07/98 C16		C17					
	poids(g)	ballotini	nourriture(g)	Ingéré(%poids vif)	poids(g)	ballotini	nourriture(g)	Ingéré(%poids vif)
	27	0	0,000	0,000	50	15	0,135	0,270
	67	0	0,000	0,000	29	0	0,000	0,000
	19	0	0,000	0,000	52	0	0,000	0,000
	82	0	0,000	0,000	39	0	0,000	0,000
	52	0	0,000	0,000	17	30	0,270	1,588
	18	4	0,036	0,200	22	0	0,000	0,000
	43	0	0,000	0,000	90	62	0,558	0,620
	77	15	0,135	0,175	36	0	0,000	0,000
	18	0	0,000	0,000	21	0	0,000	0,000
	39	50	0,450	1,154	42	0	0,000	0,000
	24	10	0,090	0,375	31	0	0,000	0,000
	19	0	0,000	0,000	31	7	0,063	0,203
	36	0	0,000	0,000	60	68	0,612	1,020
	45	20	0,180	0,400	29	0	0,000	0,000
	25	0	0,000	0,000	30	0	0,000	0,000
	27	0	0,000	0,000	41	0	0,000	0,000
	25	28	0,252	1,008	47	0	0,000	0,000
	35	4	0,036	0,103	28	0	0,000	0,000
	28	0	0,000	0,000	55	4	0,036	0,065
	30	2	0,018	0,060	37	0	0,000	0,000
mooyenne	37		0,060	0,174	39		0,084	0,188
variance	369		0,013	0,112	279		0,034	0,177
ecart-type	19		0,116	0,335	17		0,184	0,420
CV	55		193,947	192,664	55		219,648	223,150
SEM	1		0,006	0,018	1		0,010	0,022

	23/07/98 C16				C17			
	poids(g)	ballotini	nourriture(g)	Ingéré(% poids vif)	poids(g)	ballotini	nourriture(g)	Ingéré(% poids vif)
	49	93	0,837	1,708	56	0	0,000	0,000
	38	27	0,243	0,639	17	0	0,000	0,000
	31	0	0,000	0,000	54	14	0,126	0,233
	61	63	0,567	0,930	45	0	0,000	0,000
	26	99	0,891	3,427	51	0	0,000	0,000
	22	0	0,000	0,000	24	0	0,000	0,000
	53	6	0,054	0,102	41	4	0,036	0,038
	39	8	0,072	0,185	54	22	0,198	0,367
	43	82	0,738	1,716	57	0	0,000	0,000
	44	128	1,152	2,618	61	0	0,000	0,000
	73	201	1,809	2,478	40	0	0,000	0,000
	39	0	0,000	0,000	21	16	0,144	0,586
	29	0	0,000	0,000	52	0	0,000	0,000
	37	15	0,135	0,365	38	0	0,000	0,000
	36	8	0,072	0,200	62	0	0,000	0,000
	23	0	0,000	0,000	39	0	0,000	0,000
	21	16	0,144	0,686	35	0	0,000	0,000
	31	0	0,000	0,000	21	0	0,000	0,000
	68	109	0,981	1,443	32	0	0,000	0,000
	38	0	0,000	0,000	55	4	0,036	0,065
moyenne	40		0,385	0,825	43		0,027	0,072
variance	215		0,267	1,107	201		0,003	0,030
écart type	15		0,517	1,052	14		0,058	0,173
CV	37		134,303	127,577	33		214,667	240,217
SEM	1		0,027	0,055	1		0,003	0,009

	30/07/98	C16			C17			
	poids(g)	nb billes	ingéré(g)	ingéré(%poids vif)	poids(g)	nb billes	ingéré(g)	ingéré(%poids vif)
	92	0	0,000	0,000	38	0	0,000	0,000
	54	9	0,031	0,150	28	0	0,000	0,000
	52	19	0,171	0,329	35	0	0,000	0,000
	46	0	0,000	0,000	35	0	0,000	0,000
	29	0	0,000	0,000	38	0	0,000	0,000
	75	5	0,045	0,060	38	0	0,000	0,000
	42	0	0,000	0,000	27	0	0,000	0,000
	47	0	0,000	0,000	107	2	0,018	0,017
	28	0	0,000	0,000	80	0	0,000	0,000
	36	0	0,000	0,000	33	0	0,000	0,000
	36	0	0,000	0,000	57	4	0,036	0,063
	45	0	0,000	0,000	30	2	0,018	0,060
	47	34	0,306	0,651	51	0	0,000	0,000
	37	18	0,162	0,438	59	0	0,000	0,000
	30	43	0,387	1,290	44	0	0,000	0,000
	70	17	0,153	0,219	45	0	0,000	0,000
	42	23	0,207	0,493	40	0	0,000	0,000
	27	0	0,000	0,000	37	0	0,000	0,000
	23	7	0,063	0,274	66	2	0,018	0,027
	18	0	0,000	0,000	15	0	0,000	0,000
moyenne	44		0,079	0,195	45		0,005	0,008
variance	337		0,013	0,106	432		0,000	0,000
écart-type	18		0,116	0,326	21		0,010	0,019
CV	42		146,727	166,993	46		0,000	233,055
SEEM	1		0,006	0,017	1		0,001	0,001

Analyse de variance: deux facteurs (cage et temps) avec répétition d'expérience

RAPPORT DÉTAILLÉ	4/5/98	15/5/98	19/5/98	29/5/98	9/6/98	16/6/98	23/6/98	13/7/98	23/7/98	30/7/98	Total
<i>cage 1</i>											
Nombre d'échantillons	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	200
Somme	0,33	3,91	5,59	1,27	2,38	0,91	3,38	3,48	16,5	3,91	41,66
Moyenne ingéré (% poids vif)	0,02	0,20	0,28	0,06	0,12	0,05	0,17	0,17	0,83	0,20	0,21
Variance	0,01	0,34	0,33	0,05	0,04	0,02	0,11	0,11	1,11	0,11	0,26
écart-type	0,07	0,58	0,58	0,22	0,20	0,13	0,33	0,33	1,05	0,33	0,51
CV (%)	447,21	299,13	206,37	342,72	167,58	290,74	194,95	192,31	127,69	166,87	244,99
SEM	0,00	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,08	0,02	0,03
<i>cage 2</i>											
Nombre d'échantillons	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	200
Somme	0,42	3,91	16,3	3,96	1,9	0,23	0,7	3,77	1,45	0,13	32,77
Moyenne ingéré (% poids vif)	0,02	0,20	0,82	0,20	0,10	0,01	0,04	0,19	0,07	0,01	0,16
Variance	0,01	0,34	2,21	0,17	0,04	0,00	0,02	0,18	0,03	0,00	0,34
Ecart-type	0,07	0,58	1,49	0,41	0,21	0,04	0,16	0,42	0,17	0,01	0,58
CV (%)	351,59	299,13	182,40	205,53	220,68	390,18	447,21	223,09	239,69	219,14	355,47
SEM	0,00	0,03	0,08	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,03
<i>Total</i>											
Nombre d'échantillons	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Somme	0,75	7,82	21,89	5,23	4,28	1,14	4,08	7,25	17,95	4,04	3,87
Moyenne	0,02	0,20	0,55	0,13	0,11	0,03	0,10	0,18	0,45	0,10	0,10
Variance	0,01	0,33	1,31	0,11	0,04	0,01	0,07	0,14	0,70	0,06	0,06
écart-type	0,07	0,58	1,15	0,33	0,20	0,10	0,26	0,38	0,84	0,25	0,25
CV (%)	388,78	295,27	209,32	251,80	189,09	347,40	258,31	207,00	186,52	244,75	244,75
SEM	0,00	0,03	0,06	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,01	0,01
ANALYSE DE VARIANCE											
	<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>				
Échantillon		0,20	1	0,20	0,76	0,38	3,87				
Colonnes		11,04	9	1,23	4,70	6E-06	1,90				
Interaction		9,07	9	1,01	3,86	0,00	1,90				
A l'intérieur du groupe		99,22	380	0,26							
Total		119,5	399								

Analyse de variance: deux facteurs (cage et temps) avec répétition d'expérience

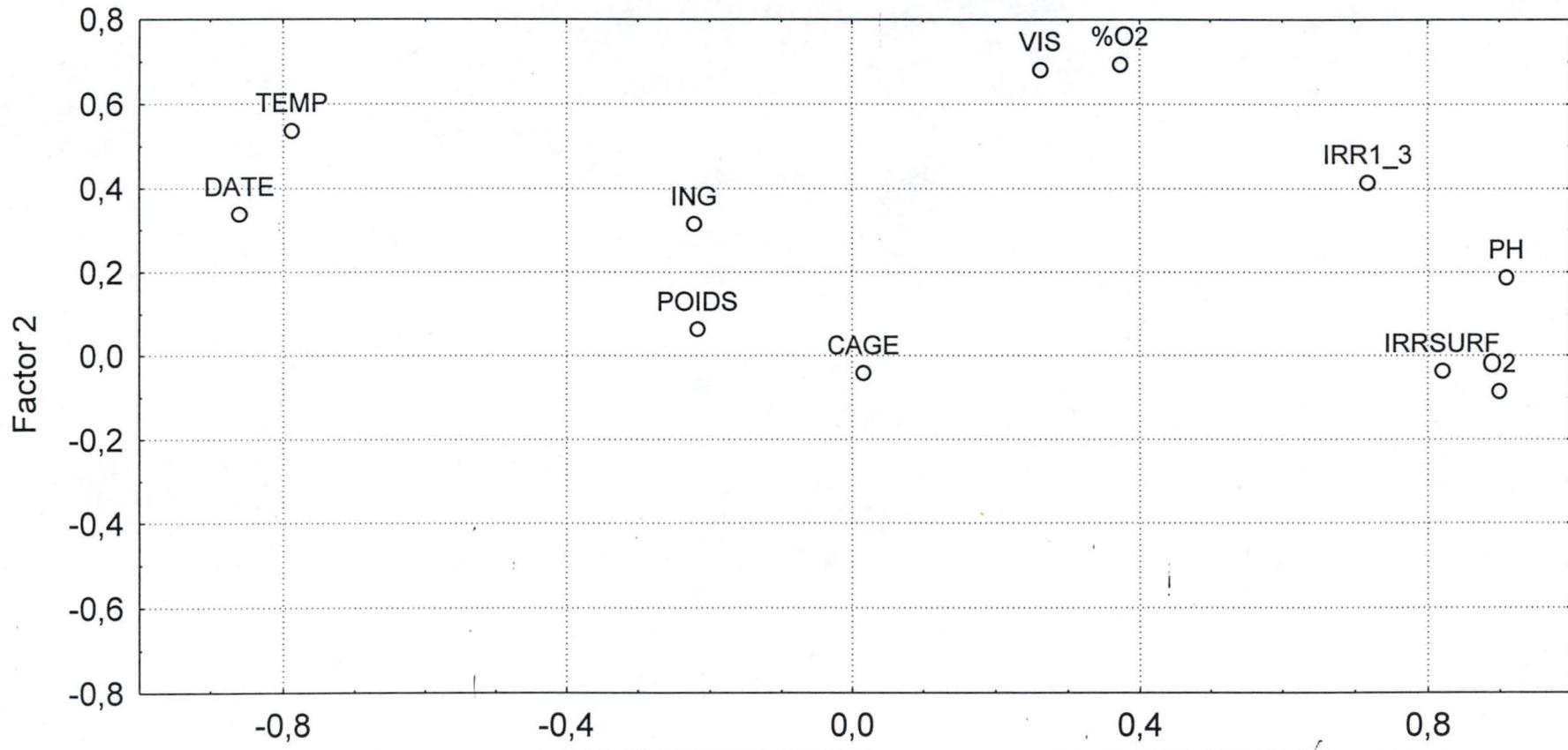
RAPPORT DÉTAILLÉ	4/05/98	15/05/98	19/05/98	29/05/98	9/06/98	16/06/98	23/06/98	13/07/98	23/07/98	30/07/98	Total
<i>Cage 1</i>											
Nombre d'échantillons	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	200
Somme	621	740	603	644	565	698	682	736	801	876	6966
Moyenne poids (g)	31,1	37	30,2	32,2	28,25	34,9	34,1	36,8	40,05	43,8	34,83
Variance	131,4	342,9	87,0	208,7	121,5	298,9	370,7	369,2	214,6	336,6	257,4
Ecart-type	11,5	18,5	9,3	14,4	11,0	17,3	19,3	19,2	14,6	18,3	16,0
CV (%)	37	50	31	45	39	50	56	52	37	42	46
SEM	0,60	0,97	0,49	0,76	0,58	0,91	1,01	1,01	0,77	0,97	0,84
<i>Cage 2</i>											
Nombre d'échantillons	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	200
Somme	728,0	645,0	595,0	557,0	515,0	710,0	631,0	787,0	855,0	903,0	6926,0
Moyenne poids (g)	36,4	32,3	29,8	27,9	25,8	35,5	31,6	39,4	42,8	45,2	34,6
Variance	97,8	168,2	102,1	90,9	103,4	231,4	125,8	279,1	201,5	431,8	211,8
Ecart-type	9,9	13,0	10,1	9,5	10,2	15,2	11,2	16,7	14,2	20,8	14,6
CV (%)	27,2	40,2	34,0	34,2	39,5	42,9	35,6	42,5	33,2	46,0	42,0
<i>Total</i>											
Nombre d'échantillons	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Somme	1349	1385	1198	1201	1080	1408	1313	1523	1656	1779	13892
Moyenne (g)	33,7	34,6	30,0	30,0	27,0	35,2	32,8	38,1	41,4	44,5	34,89
Variance	119,0	254,8	92,2	150,8	111,1	258,5	243,6	317,5	204,6	374,8	211,8
Ecart-type	10,9	16,0	9,6	12,3	10,5	16,1	15,6	17,8	14,3	19,4	14,6
CV (%)	32,3	46,1	32,1	40,9	39,0	45,7	47,5	46,8	34,5	43,5	42,0
SEM	0,6	0,8	0,5	0,6	0,6	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9	0,84
ANALYSE DE VARIANCE											
<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>					
Échantillon	4	1	4	0,02	0,89	3,87					
Colonnes	10410,1	9	1156,7	5,36	6*10e-7	1,90					
Interaction	986,0	9	109,6	0,51	0,87	1,90					
A l'intérieur du groupe	81956,8	380	215,7								
Total	93356,8	399									

manque de données

Factor Loadings, Factor 1 vs. Factor 2, IACP 1

Rotation: Unrotated

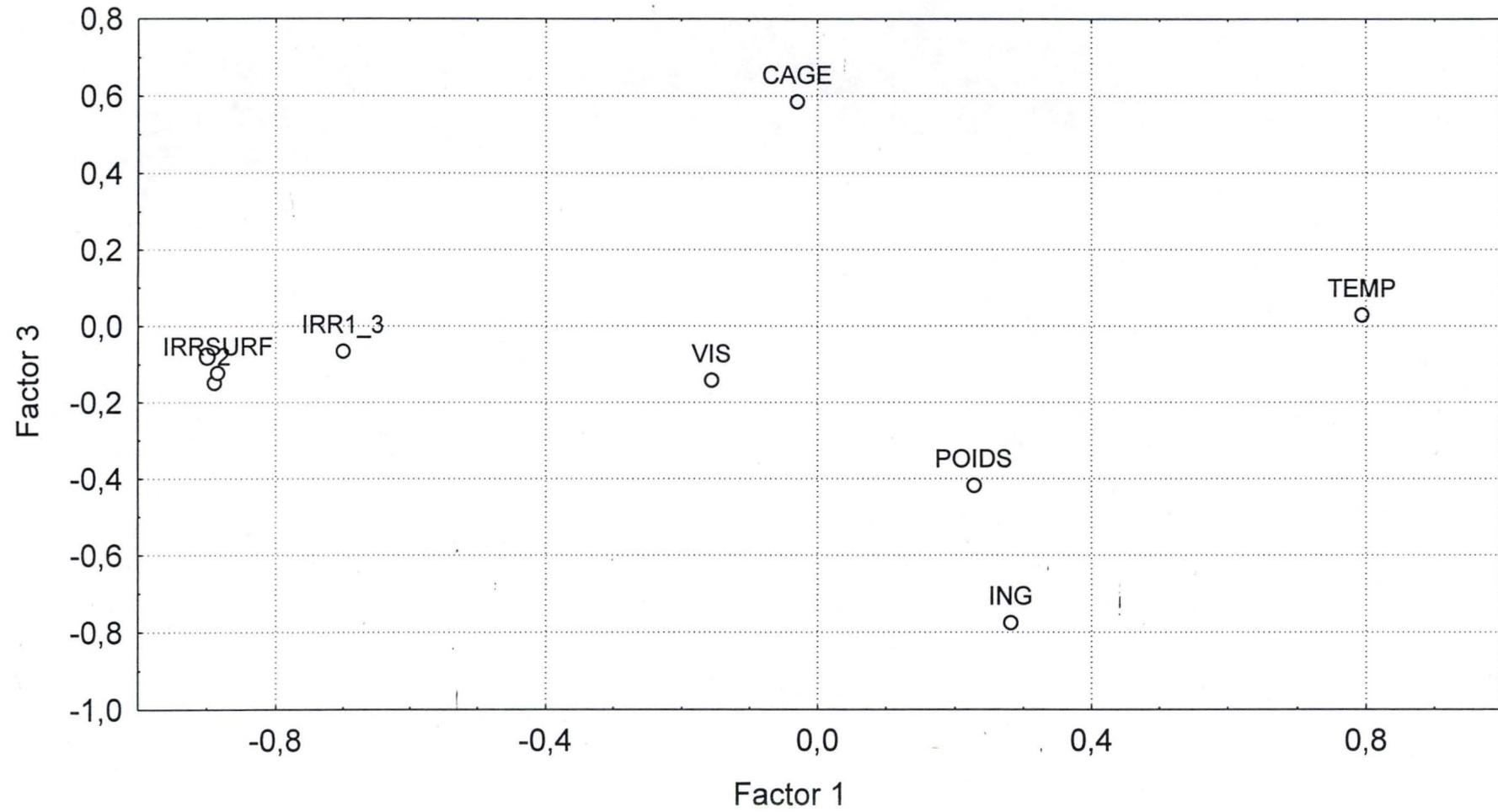
Extraction: Principal components



Annexe 3 : Exemples choisis d'ACP concernant l'ingéré.

STAT. Factor Loadings (Unrotated) (lacc2.sta)									
FACTOR Extraction: Principal components									
ANALYSIS (Marked loadings are > ,700000)									
Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7	Factor 8	Factor 9
DATE	-,522732	-,156317	-,051032	,051076	-,755632*	,318068	,157175	-,015877	,000122
CAGE	,046469	,009522	-,053452	,995681*	,057971	,012015	,002471	-,000485	,000004
POIDS	-,047919	,177042	-,819981*	-,014740	-,213277	-,497721	,023120	,004992	,000015
ING	,163697	-,332441	-,693679	-,063183	,317383	,525169	,031133	,000368	-,000023
TEMP	-,309684	-,897828*	,007848	,018772	-,065451	-,136635	-,273024	-,005946	-,007440
%O2	,891720*	-,308811	-,011632	,004095	-,222507	-,008011	-,233082	-,073086	,008741
O2	,896502*	,406744	-,017464	-,010891	-,115927	,082963	,024043	-,097123	-,009340
PH	,955742*	-,032232	,020425	,004195	-,233833	,061302	-,036550	,159085	-,001912
VIS	,506937	-,701789*	,116401	-,003979	,090142	-,221425	,423578	-,019215	,000335
Expl.Var	3,169716	1,726833	1,173489	,998721	,850595	,703243	,336416	,040764	,000223
Prp.Totl	,352191	,191870	,130388	,110969	,094511	,078138	,037380	,004529	,000025

Factor Loadings, Factor 1 vs. Factor 3, lacp 12
Extraction: Principal components

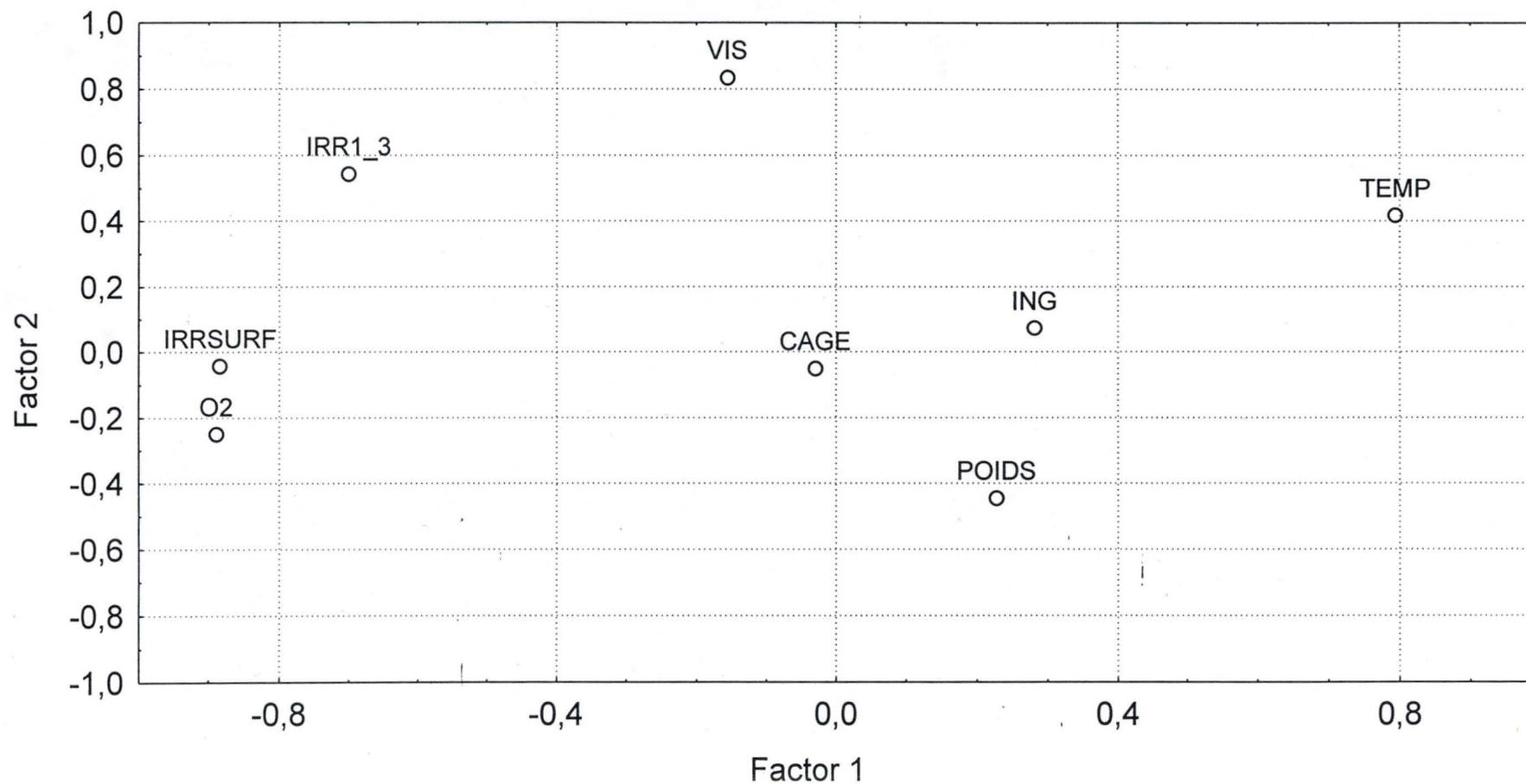


STAT. FACTOR ANALYSIS		Factor Loadings (Unrotated) (lacc22.sta)				
		Extraction: Principal components (Marked loadings are > ,700000)				
Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6
CAGE	-,034232	,165089	,299540	,921885*	,178784	-,003863
POIDS	,250850	,394316	-,685327	,277570	-,483103	-,038497
ING	,293729	-,359220	-,713699*	,104097	,513954	-,018272
TEMP	,911309*	-,199036	,171357	,039120	-,108533	,295344
O2	-,870404*	-,250075	-,268413	,126070	-,096578	,287391
VIS	,026575	-,904353*	,075863	,204495	-,331562	-,154704
Expl.Var	1,739167	1,231784	1,175928	,996994	,660541	,195586
Prp.Totl	,289861	,205297	,195988	,166166	,110090	,032598

Factor Loadings, Factor 1 vs. Factor 2, lacc 12

Rotation: Unrotated

Extraction: Principal components

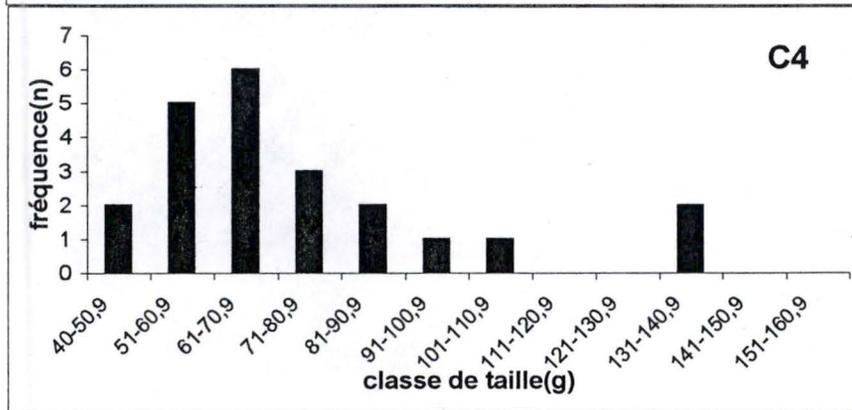
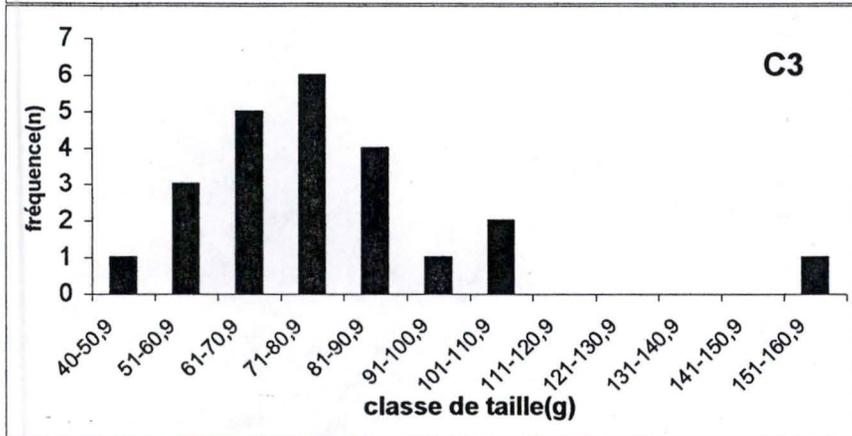
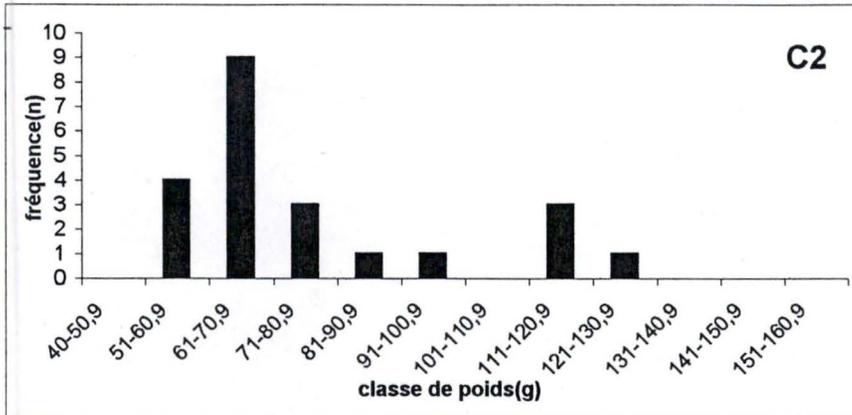


STAT. Factor Loadings (Unrotated) (lacpl.sta)
 FACTOR Extraction: Principal components
 ANALYSIS (Marked loadings are > ,700000)

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7	Factor 8	Factor 9	Factor 10
DATE	-,556770	,438251	-,413871	,298043	,397054	,103699	,057879	,230291	-,114174	,000325
CAGE	,018439	-,045137	-,017175	,726642*	-,589829	,301801	,173684	,013022	,000045	,000008
POIDS	-,214233	,147640	-,649097	-,142777	-,491860	-,250573	-,414059	,120025	,005614	-,000006
ING	-,213490	,342364	-,150696	-,675171	-,285134	,387098	,347510	,082028	,002522	,000044
TEMP	-,739531*	,518474	,246675	,094052	-,075089	-,296337	,129088	-,051824	,041169	,009258
%O2	,420175	,729610*	-,354102	,151703	,099806	-,115475	,129667	-,315023	,057818	-,005388
O2	,884863*	-,056981	-,393791	-,005058	,102937	,171253	-,033650	-,123224	-,049000	,005740
PH	,889724*	,206031	-,061183	,069460	,167077	,231225	-,144484	,208904	,107027	,004931
VIS	,299322	,579279	,583371	-,079702	-,164334	,198337	-,371989	-,122857	-,091406	-,000133
IRRSURF	,849505*	-,139394	-,083337	-,094872	-,194416	-,348753	,264877	-,067421	-,093929	,003120
IRR1_3	,742328*	,321363	,308396	,041427	-,077001	-,282705	,134907	,380506	-,000525	-,003742
Expl.Var	4,062154	1,638222	1,403046	1,146859	,953621	,739300	,607944	,399513	,049145	,000196
Prp.Totl	,369287	,148929	,127550	,104260	,086693	,067209	,055268	,036319	,004468	,000018

STAT. Factor Loadings (Unrotated) (lacpl.sta)
 FACTOR Extraction: Principal components
 ANALYSIS (Marked loadings are > ,700000)

Variable	Factor 11
DATE	,000000
CAGE	,000000
POIDS	-,000000
ING	,000000
TEMP	-,000000
%O2	,000000
O2	-,000000
PH	,000000
VIS	,000000
IRRSURF	,000000
IRR1_3	-,000000
Expl.Var	,000000
Prp.Totl	,000000



poids(g)	ingéré	par classe			var	écart type	CV	SEM
		total	moyenne					
58	0,063							
60	0,09	0,153	0,0765	0,0003645	0,01909188	24,9567099	0,01909188	
70	0,378							
72	0,801							
75	0,657							
77	0,207							
78	0,684							
80	0,747							
81	0,018							
84	0,594							
86	1,71	5,796	0,644	0,2286855	0,47821073	209,112833	0,05977634	
90	0,864							
93	0,792							
95	0,774							
97	0,873							
98	0,423	3,726	0,7452	0,0343197	0,18525577	539,794256	0,00686394	
121	0,369							
124	0,72							
141	0,522							
142	0,738	2,349	0,58725	0,03074625	0,17534609	570,300724	0,01024875	
total(g)	12,024							
moyenne	0,6012							
var	0,14373322							
écart type	0,37912164							
CV	63,0608191							

Données

date	cage	poids total(g)	poids filtre(g)	ingéré total(g)	ingéré artificiel(g)	ingéré naturel(g)
23/06/98	C16	0,568	0,516	0,052	0,057	0
		0,554	0,526	0,028	0,098	0
		0,535	0,515	0,020	0,148	0
		0,514	0,510	0,003	0,000	0,003
		0,571	0,515	0,056	0,156	0
		0,511	0,508	0,003	0	0,0027
		0,509	0,503	0,006	0	0,0063
		0,536	0,480	0,055	0	0,0553
		0,577	0,521	0,056	0,098	0
		0,537	0,512	0,025	0,057	0
		0,535	0,525	0,010	0	0,01
		0,572	0,511	0,060	0,295	0
		0,513	0,510	0,003	0	0,003
		0,511	0,509	0,002	0	0,002
		0,501	0,498	0,003	0	0,003
		0,522	0,513	0,009	0,016	0
		0,524	0,499	0,025	0	0,025
		0,589	0,513	0,076	0,033	0,043
		0,539	0,523	0,016	0,016	0
		0,534	0,522	0,012	0	0,0115
		0,526	0,523	0,003	0	0,0026
		0,520	0,518	0,001	0	0,0012
		0,490	0,487	0,003	0	0,003
		0,685	0,525	0,160	0,033	0,127
		0,514	0,510	0,003	0	0,003
		0,521	0,517	0,004	0	0,004
		0,508	0,506	0,002	0	0,002
		0,519	0,518	0,001	0	0,001
		0,508	0,506	0,002	0	0,002
		0,503	0,502	0,001	0	0,001
		0,515	0,491	0,024	0	0,024
		0,530	0,505	0,025	0	0,025
		0,522	0,521	0,001	0	0,001
0,514	0,512	0,002	0	0,002		
0,508	0,507	0,001	0	0,001		
0,508	0,507	0,001	0	0,001		
0,534	0,533	0,001	0	0,001		
0,576	0,520	0,056	0	0,056		
0,548	0,511	0,037	0	0,037		
0,552	0,514	0,038	0	0,038		
13/07/98	C16	0,525	0,522	0,003	0	0,003
		0,734	0,510	0,224	0	0,224
		0,536	0,495	0,041	0	0,041
		0,547	0,510	0,037	0	0,037
		0,511	0,510	0,001	0	0,001
		0,527	0,518	0,009	0,036	0
		0,584	0,524	0,061	0	0,0609
		0,522	0,507	0,015	0,135	0
		0,524	0,503	0,021	0	0,0214
		0,704	0,521	0,183	0,45	0
		0,528	0,499	0,029	0,135	0
		0,520	0,518	0,002	0	0,002
		0,522	0,519	0,003	0	0,003
		0,519	0,516	0,003	0	0,003
		0,609	0,519	0,091	0,27	0
0,527	0,525	0,002	0	0,002		
0,767	0,528	0,239	0,558	0		
0,529	0,507	0,022	0	0,022		
0,520	0,517	0,003	0	0,003		
0,626	0,517	0,109	0	0,109		
30/07/98	C16	0,644	0,516	0,128	0	0,128
		0,526	0,513	0,014	0,081	0
		0,507	0,490	0,017	0,171	0
		0,840	0,515	0,325	0	0,325
		0,514	0,509	0,005	0	0,005
		0,932	0,520	0,412	0,045	0,367
		0,715	0,507	0,208	0	0,208
		0,848	0,518	0,330	0	0,330
		0,640	0,509	0,131	0	0,131
		0,541	0,526	0,015	0	0,015
		0,499	0,498	0,001	0	0,001
		0,507	0,504	0,003	0	0,003
		0,511	0,510	0,001	0	0,001
		0,887	0,513	0,374	0	0,374
		0,503	0,496	0,007	0	0,007
0,514	0,513	0,001	0	0,001		
0,517	0,516	0,001	0	0,001		
0,662	0,511	0,150	0,018	0,132		
0,655	0,515	0,139	0	0,139		
0,525	0,514	0,011	0	0,011		

flush	16/06/98				
poisson	poids(g)	nour.art.(g)	nour.nat.(g)	zooplancton (g)	alevin (g)
1	50	0,03	0	0	0
2	39	0	0,03	0,03	0
3	64	0	0,04	0,04	0
4	21	0	0,01	0,01	0
5	58	0,2	0	0	0
6	19	0	0	0	0
7	67	0	0,03	0,03	0
8	59	0,3	0	0	0
9	14	0	0,02	0	0,02
10	29	0	0,01	0,01	0
total(g)		0,53	0,14	0,12	0,02

exp 9/07/98	cage C3			
poids(g)	tag	Ballotinis	nourriture(g)	nourriture(%poids vif)
71	01234484	57	0,513	0,723
99	00F5F304	108	0,972	0,982
120	01BC3957	74	0,666	0,555
69	013CF9AC	20	0,180	0,261
72		0	0,000	0,000
173	013CCBB9b	152	1,368	0,791
100	012240E6	0	0,000	0,000
69		0	0,000	0,000
61		8	0,072	0,118
69		76	0,684	0,991
50		3	0,027	0,054
98	012210D	125	1,125	1,148
67		0	0,000	0,000
60	013CBEC2	0	0,000	0,000
74	01237816	0	0,000	0,000
58		2	0,018	0,031
101	013CF866	37	0,333	0,330
65		0	0,000	0,000
37		3	0,027	0,073
49		26	0,234	0,478
72		131	1,179	1,638
60	01D2BDBC	0	0,000	0,000
84	01221F09	14	0,126	0,150
53		12	0,108	0,204
86	01BB3D31	30	0,270	0,314
73	01DA7BB3	64	0,576	0,789
72	013CABC7	38	0,342	0,475
114	01220630	21	0,189	0,166
85	00F7CD96	39	0,351	0,413
62	013CDF20	119	1,071	1,727
75		0	0,000	0,000
48		0	0,000	0,000
89	013C4FAE	15	0,135	0,152
79		32	0,288	0,365
51		0	0,000	0,000
62		25	0,225	0,363
57		0	0,000	0,000
47		9	0,081	0,172
48	01BC6972	2	0,018	0,038
59		0	0,000	0,000
55		4	0,036	0,065
51		0	0,000	0,000
40		0	0,000	0,000
63	013CED12	59	0,531	0,843
77	01BC3322	1	0,009	0,012
33		0	0,000	0,000
20		0	0,000	0,000
91	01221792	75	0,675	0,742
24		0	0,000	0,000
n=49		somme	12,429	15,160
poids moyen(g)	69	moyenne	0,254	0,309
variance	680	variance	0,134	0,186
écart type	26	écart-type	0,431	0,431
CV	37,80	CV	169,908	139,303
SEM	0,53	ES	0,009	0,009

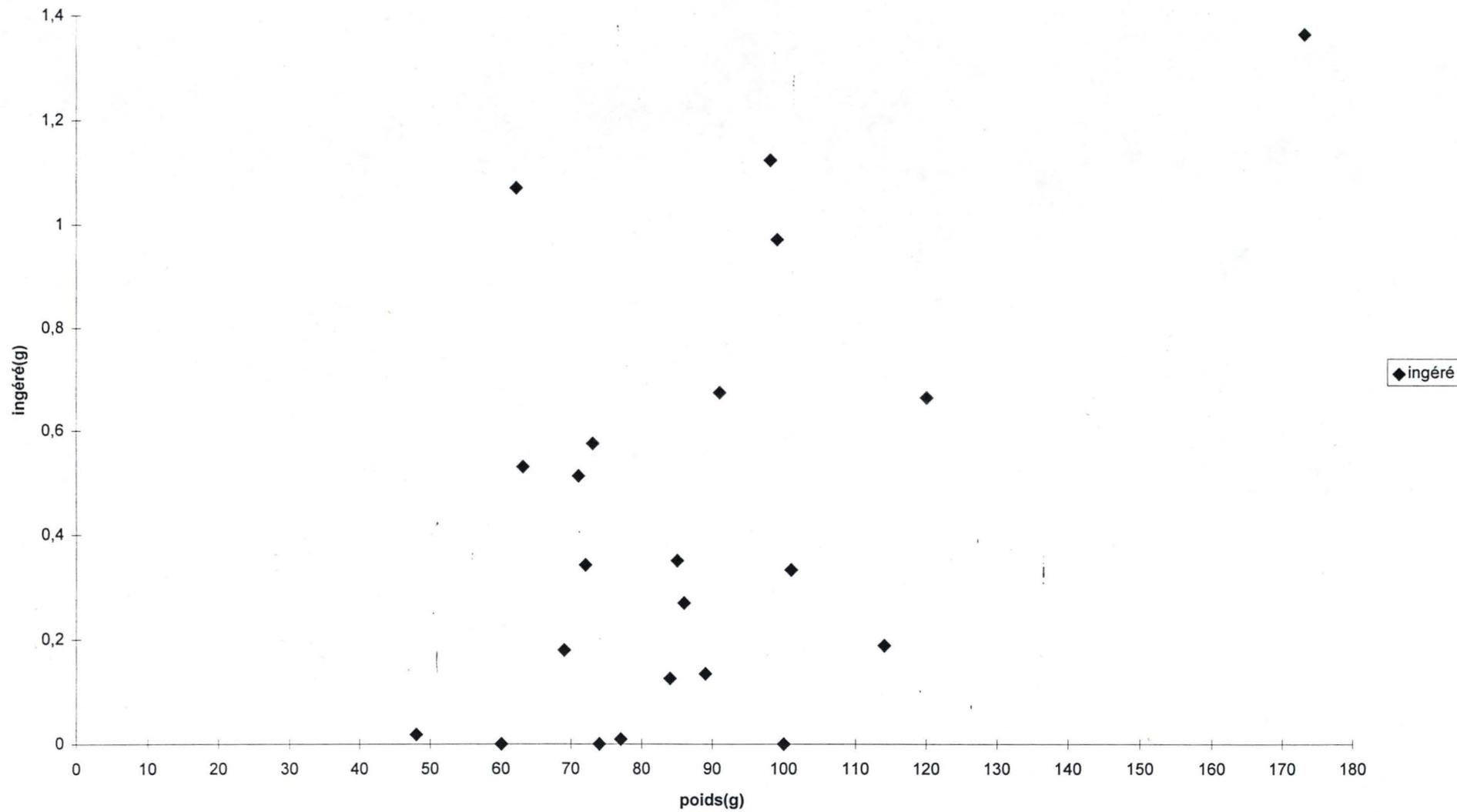
poids(g)	Ingéré (g)	Ingéré (%poids vif)	par classe		var	écart type	CV	SEM
			total	moyenne				
58	0,063	0,109		0,109				
60	0,090	0,150	0,259	0,129	0,000	0,019	14,764	0,019
70	0,378	0,540						
72	0,801	1,113						
75	0,657	0,876						
77	0,207	0,269						
78	0,684	0,877						
80	0,747	0,934						
81	0,018	0,022						
84	0,594	0,707						
86	1,710	1,988	7,326	0,814	0,229	0,478	209,113	0,060
90	0,864	0,960						
93	0,792	0,852						
95	0,774	0,815						
97	0,873	0,900						
98	0,423	0,432	3,958	0,792	0,034	0,185	539,794	0,007
121	0,369	0,305						
124	0,720	0,581						
141	0,522	0,370						
142	0,738	0,520	1,776	0,587	0,031	0,175	570,301	0,010
total(g)	12,024	13,318						
moyenne	0,601	0,666						
var	0,144	0,199						
écart type	0,379	0,446						
CV	63,061	66,932						
SEM	0,020	0,023						

ballotini	Ingéré(g)	Ingéré(% poids corps)
48	0,432	1,600
97	0,873	0,900
123	1,107	1,604
0	0,000	0,000
7	0,063	0,109
3	0,027	0,064
66	0,594	0,707
40	0,360	0,581
64	0,576	1,087
46	0,414	0,583
91	0,819	1,107
57	0,513	1,425
45	0,405	0,698
58	0,522	0,370
58	0,522	1,214
88	0,792	0,852
82	0,738	0,520
80	0,720	0,581
73	0,657	0,876
76	0,684	1,244
49	0,441	1,002
104	0,936	0,875
92	0,828	0,974
98	0,882	1,604
96	0,864	0,982
86	0,774	0,815
83	0,747	0,934
0	0,000	0,000
42	0,378	0,540
0	0,000	0,000
23	0,207	0,269
190	1,710	1,988
76	0,684	0,877
55	0,495	0,811
33	0,297	0,594
0	0,000	0,000
47	0,423	0,432
83	0,747	1,494
123	1,107	1,006
2	0,018	0,022
31	0,279	0,416
35	0,315	0,534
0	0,000	0,000
5	0,045	0,113
89	0,801	1,113
41	0,369	0,305
59	0,531	0,781
10	0,090	0,150
total(g)	24,786	34,751
moyenne(g)	0,516	0,724
variance(g)	0,131	0,253
écart-type	0,362	0,503
CV	70,090	69,541
ES	0,008	0,010

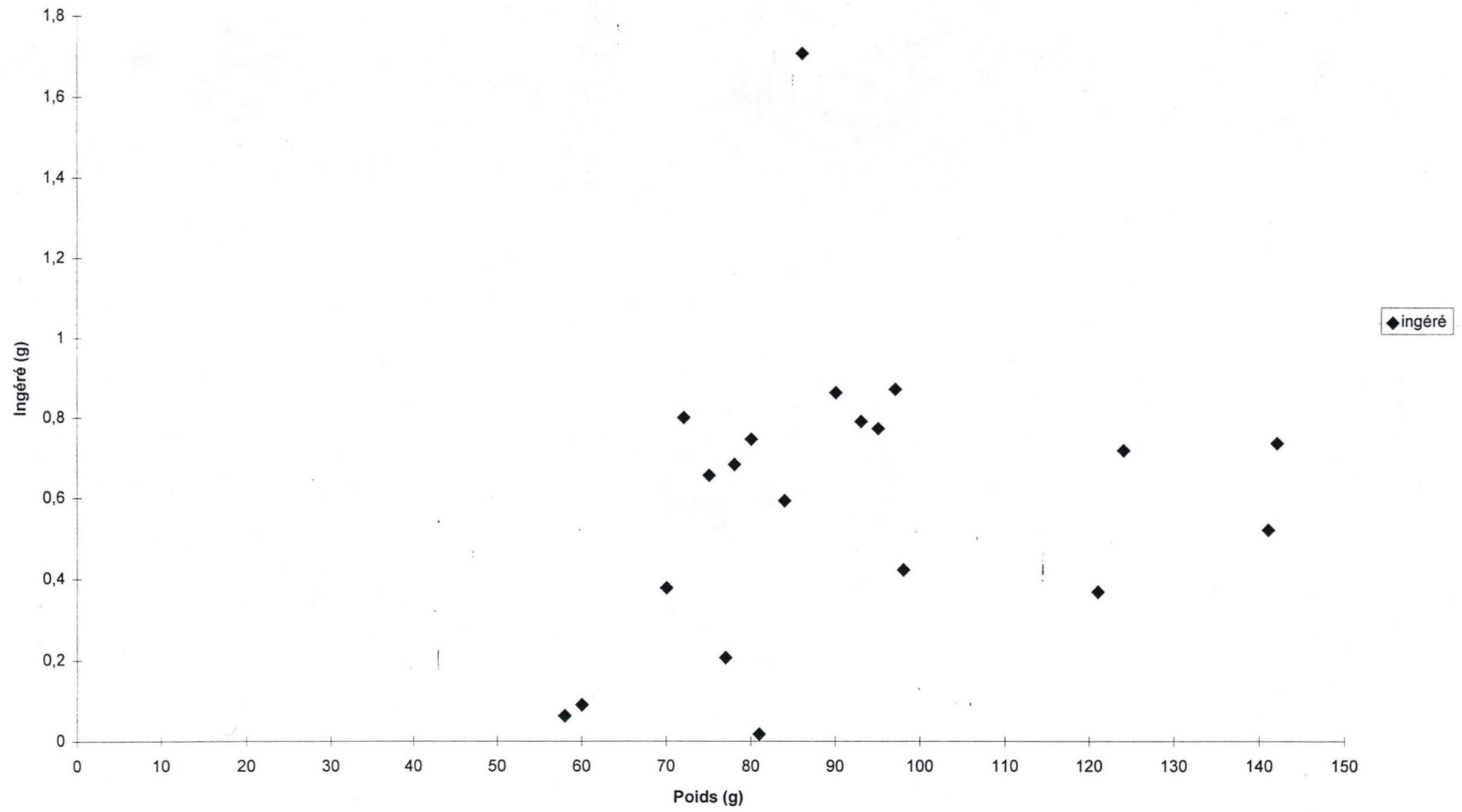
Feuil2

ingéré	9juillet(C3)					
poids(g)	Ingéré (%poids corps)	moyenne(%)	var	SD	CV	SEM
48	0,038	0,038				
60	0,000					
60	0,000					
62	1,727					
63	0,843	0,643	0,681	0,825	128,420	0,275
69	0,261					
71	0,723					
72	0,475					
73	0,789					
74	0,000					
77	0,012	0,377	0,118	0,343	91,066	0,069
84	0,150					
85	0,413					
86	0,314					
89	0,152					
91	0,742	0,354	0,059	0,244	68,890	0,061
98	1,148					
99	0,982					
100	0,000					
101	0,330	0,615	0,293	0,541	87,995	0,180
114	0,166					
120	0,555	0,360	0,076	0,275	76,364	0,275
173	0,791	0,791				

Ingéré poissons marqués dans la cage C3 9/07/98



Ingéré cage C2 14/07/98



Feuil1

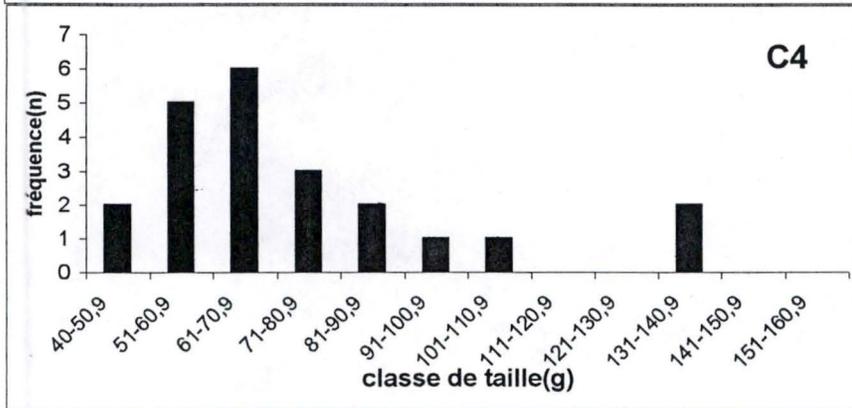
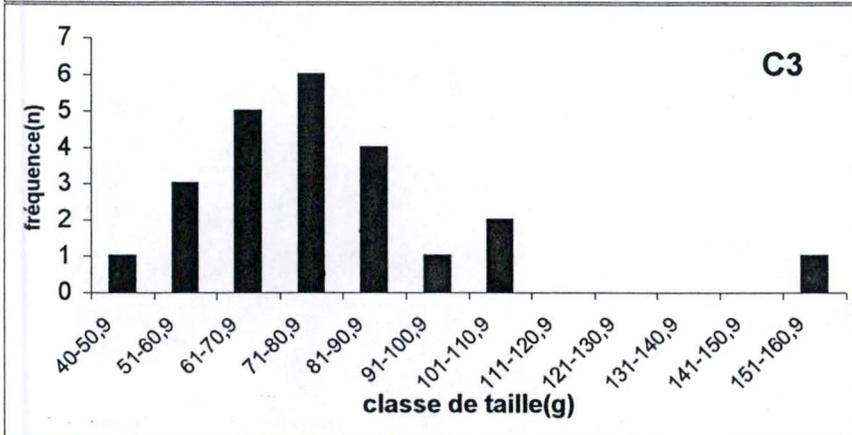
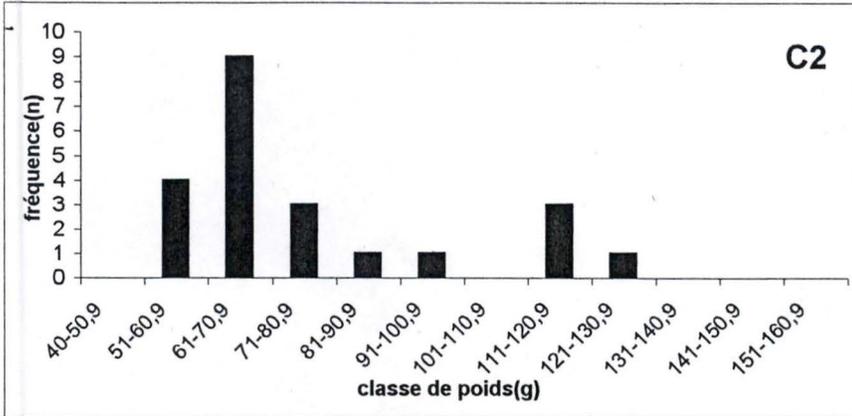
C2

classe (g)	SGR moyen(%/jour)	variance	écart type	CV (%)	ES
inf 60	0,32	0,00	0,04	11,75	0,04
70-90	0,52	0,03	0,16	30,25	0,02
90-100	0,52	0,02	0,13	25,12	0,03
120-140	0,43	0,01	0,12	27,06	0,04

C3

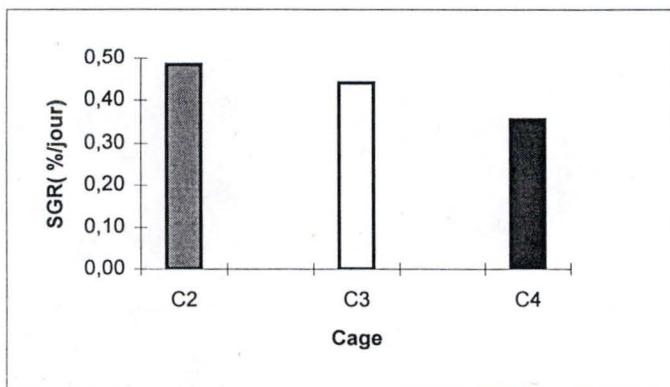
classe (g)	SGR moyen(%/jour)	variance	écart type	CV (%)	ES
inf 60	0,6				
60-65	0,35	0,07	0,26	74,72	0,09
70-80	0,42	0,03	0,16	38,27	0,03
80-90	0,48	0,02	0,14	29,61	0,04
90-100	0,49	0,05	0,21	43,21	0,07
110-120	0,43	0,01	0,10	23,20	0,10
sup. 150	0,43				

classe (g)	SGR moyen (% /jour)	variance	écart type	CV (%)	ES
45-65	0,32	0,09	0,30	94,10	0,10
70-80	0,32	0,02	0,13	41,23	0,03
80-95	0,46	0,02	0,13	29,23	0,04
95-120	0,37	0,01	0,08	20,83	0,04
sup 140	0,28				



SGR(%/j)					
C2	C2	C3	C3	C4	C4
00F5F0273	0,66	013CF866	0,33	013CD1E1	0,52
013CCCE8	0,49	1221792	0,26	1220940	0,34
01CA4F2D	0,47	01DA7BB3	0,40	01DA71B2	0,41
013CFAB8	0,54	1220630	0,50	01BB3F62	0,41
013CBFD6	0,39	013CABC7	0,25	012FB739	0,48
013CBD19	0,68	013CBB9B	0,43	01BB3E79	0,33
00F60697	0,38	01BC6972	0,60	013CF659	0,61
01BB6700	0,77	01D2BDBC	0,23	00F768F1	0,32
0122428F	0,46	01BC3957	0,36	01BB37F8	0,61
013CE9C9	0,46	012210D2	0,77	01D26E68	0,43
01BB68CO	0,40	1237816	0,49	00F5861	0,31
01BC3ECO	0,73	1224OE6	0,32	013CBB80	0,39
01DA73D7	0,48	013CED12	0,58	01BC3CFF	0,28
013CC063	0,60	1234484	0,33	01BC311C	0,36
013CC804	0,56	013CF9AC	0,70	013CD4B4	0,37
00F55403	0,35	01BC3322	0,34	00F5F29D	0,08
013CE03B	0,27	00F5F304	0,55	013CD71B	-0,10
013CD279	0,35	013CBEC2	0,04	012344CC	0,28
013CDECA	0,30	01221F09	0,47		
00F677BA	0,36	00F7CD96	0,66		
		01BB3D31	0,48		
		013C4FAE	0,52		
		013CDF20	0,54		

	C2	C3	C4
moyenne(%j	0,48	0,44	0,36
variance	0,02	0,03	0,03
écart- type	0,14	0,17	0,17
CV	0,30	0,39	0,47
ES	0,01	0,01	0,01



Feuil6

	23/06/98		13/07/98		23/07/98	
	art	nat	art	nat	art	nat
C16						
* moyenne(% poids)	0,169	0,030	0,153	0,087	0,097	0,151
variance	0,109	0,003	0,130	0,013	0,033	0,022
écart-type	0,329	0,057	0,360	0,115	0,182	0,149
CV	194,708	190,660	235,610	132,263	187,597	98,480
SEM	0,017	0,003	0,040	0,013	0,020	0,017
C17						
moyenne(% poids)	0,004	0,044	0,248	0,037	0,004	0,067
variance	0,000	0,005	0,263	0,006	0,000	0,015
écart-type	0,016	0,071	0,513	0,080	0,011	0,121
CV	447,214	159,759	206,876	219,657	261,010	180,539
SEM	0,001	0,004	0,057	0,009	0,001	0,013



	23/07/98 C16				C17			
	poids(g)	ballotini	nourriture(g)	Ingéré(% poids vif)	poids(g)	ballotini	nourriture(g)	Ingéré(%poids vif)
	49	93	0,837	1,708	56	0	0,000	0,000
	38	27	0,243	0,639	17	0	0,000	0,000
	31	0	0,000	0,000	54	14	0,126	0,233
	61	63	0,567	0,930	45	0	0,000	0,000
	26	99	0,891	3,427	51	0	0,000	0,000
	22	0	0,000	0,000	24	0	0,000	0,000
	53	6	0,054	0,102	41	4	0,036	0,088
	39	8	0,072	0,185	54	22	0,198	0,367
	43	82	0,738	1,716	57	0	0,000	0,000
	44	128	1,152	2,618	61	0	0,000	0,000
	73	201	1,809	2,478	40	0	0,000	0,000
	39	0	0,000	0,000	21	16	0,144	0,686
	29	0	0,000	0,000	52	0	0,000	0,000
	37	15	0,135	0,365	38	0	0,000	0,000
	36	8	0,072	0,200	62	0	0,000	0,000
	23	0	0,000	0,000	39	0	0,000	0,000
	21	16	0,144	0,686	35	0	0,000	0,000
	31	0	0,000	0,000	21	0	0,000	0,000
	68	109	0,981	1,443	32	0	0,000	0,000
	38	0	0,000	0,000	55	14	0,036	0,065
moyenne	40		0,385	0,825	43		0,027	0,072
variance	215		0,267	1,107	201		0,003	0,030
écart type	15		0,517	1,052	14		0,058	0,173
CV	37		134,303	127,577	33		214,667	240,217
SEM	1		0,027	0,055	1		0,003	0,009

poids	ingéré (g)	ingéré (%poids vif)	moyenne	var	ET	CV	SEM
48	0,018	0,038	0,018				
60	0,000	0,000					
60	0,000	0,000					
62	1,071	1,727					
63	0,531	0,843	0,643	0,681	0,825	128,420	0,275
69	0,180	0,261					
71	0,513	0,723					
72	0,342	0,475					
73	0,576	0,789					
74	0,000	0,000					
77	0,009	0,012	0,377	0,118	0,343	91,066	0,069
84	0,126	0,150					
85	0,351	0,413					
86	0,270	0,314					
89	0,135	0,152					
91	0,675	0,742	0,354	0,059	0,244	68,890	0,061
98	1,125	1,148					
99	0,972	0,982					
100	0,000	0,000					
101	0,333	0,330	0,615	0,293	0,541	87,995	0,180
114	0,189	0,166					
120	0,666	0,555	0,360	0,076	0,275	76,364	0,275
173	1,368	0,791	1,368				

poids(g)	Ingéré (g)	Ingéré (%poids vif)	par classe		var	écart type	CV	SEM
			total	moyenne				
58	0,063	0,109						
60	0,090	0,150	0,259	0,129	0,000	0,019	14,764	0,019
70	0,378	0,540						
72	0,801	1,113						
75	0,657	0,876						
77	0,207	0,269						
78	0,684	0,877						
80	0,747	0,934						
81	0,018	0,022						
84	0,594	0,707						
86	1,710	1,988	7,326	0,814	0,229	0,478	209,113	0,060
90	0,864	0,960						
93	0,792	0,852						
95	0,774	0,815						
97	0,873	0,900						
98	0,423	0,432	3,958	0,792	0,034	0,185	539,794	0,007
121	0,369	0,305						
124	0,720	0,581						
141	0,522	0,370						
142	0,738	0,520	1,776	0,587	0,031	0,175	570,301	0,010
total(g)	12,024	13,318						
moyenne	0,601	0,666						
var	0,144	0,199						
écart type	0,379	0,446						
CV	63,061	66,932						
SEM	0,020	0,023						