

Direction des Ressources Vivantes

IMPACT DE LA PISCICULTURE MARINE INTENSIVE SUR L'ENVIRONNEMENT :

**(1) CONTRIBUTION A LA MODELISATION DE
L'UTILISATION DE L'AZOTE PAR LE TURBOT**

Contrat Région Bretagne-IFREMER 93/2 215 271/F



Rapport IFREMER, DRV Brest, janv. 1995

IFREMER - Centre de Brest
B.P. 70
29280 PLOUZANE
Tél. 98.22.40.40 - Télex 940 627
Télécopie 98.22.45.45

DIRECTION DES RESSOURCES VIVANTES

LABORATOIRE DE PHYSIOLOGIE DES POISSONS
LABORATOIRE DE NUTRITION DES POISSONS

AUTEUR(S) : DOSDAT A., TETU N., METALLER R., HUELVAN C., DESBRUYERES E., LE DELLIOU H.	CODE : N° DRV Brest
TITRE : IMPACT DE LA PISCICULTURE MARINE INTENSIVE SUR L'ENVIRONNEMENT : (1) Contribution à la modélisation de l'utilisation de l'azote par le turbot	Date : Janvier 1995 Nb tirages : Nb pages : 61 Nb figures : Nb photos :
CONTRAT (intitulé) : Etude relative à l'impact de la pisciculture marine intensive sur l'environnement. N° 93/2 215 271/F, Région Bretagne - IFREMER	DIFFUSION : Libre <input checked="" type="checkbox"/> Restreinte <input type="checkbox"/> Confidentielle <input type="checkbox"/>

RESUME :

Ce document présente une étude visant à déterminer le flux de nutriments produits par un élevage de turbots en conditions contrôlées. Les paramètres d'excrétion et de production de fèces ont été abordés en fonction des quantités d'aliment ingéré, en même temps que l'excrétion d'azote corporel.

L'étude montre que le turbot est un animal plus économe que la truite arc-en-ciel pour ce qui concerne l'utilisation des protéines. Ceci est explicable par des particularités physiologiques.

L'utilisation de modèles "salmonidés" pour l'estimation de l'impact environnemental des piscicultures marines est donc déconseillée.

Mots-clés : Pisciculture marine, environnement, turbots, métabolisme.

Direction des Ressources Vivantes

IMPACT DE LA PISCICULTURE MARINE INTENSIVE SUR L'ENVIRONNEMENT :

(1) CONTRIBUTION A LA MODELISATION DE L'UTILISATION DE L'AZOTE PAR LE TURBOT

**A. DOSDAT⁽¹⁾, N. TETU⁽²⁾, R. METAILLER⁽³⁾, C. HUELVAN⁽³⁾,
E. DESBRUYERES⁽¹⁾, H. LE DELLIU⁽³⁾**

- (1) IFREMER, Direction des Ressources Vivantes (DRV), Laboratoire
Physiologie des Poissons, Brest
- (2) Ecole Nationale Vétérinaire (ENV), Nantes
- (3) IFREMER, Direction des Ressources Vivantes (DRV), Laboratoire
Nutrition des Poissons, Brest

Contrat Région Bretagne-IFREMER 93/2 215 271/F

Rapport IFREMER, DRV Brest, janv. 1995

RÉSUMÉ

*Ce document représente la première phase d'une étude plus vaste visant à évaluer, puis à minimiser les rejets issus des élevages de poissons, particulièrement de turbot (*Scophthalmus maximus*) et de truite commune (*Salmo trutta fario*).*

Concernant le turbot dans un premier temps, les travaux présentés ici s'attachent à modéliser la transformation de l'azote alimentaire en trois compartiments:

- les protéines corporelles ;*
- l'excrétion azotée soluble ;*
- l'azote particulaire des fèces.*

En effet, l'azote est généralement le facteur limitant de la production primaire marine (phytoplancton et algues macrophytes). L'étude de son cycle est donc importante dans un souci de prévention d'éventuelles manifestations d'eutrophisation.

A cette fin, un premier ensemble de 6 expériences a été réalisé chez des turbots de 2 tailles (10 et 100 g) à trois températures (12, 16, et 20°C). Pour chaque expérience, 6 rations différentes d'un aliment standard ont été distribuées aux poissons (de 100 à 20% de la ration maximale ingérable). Tous les paramètres zootechniques susceptibles de refléter le métabolisme azoté du turbot ont été mesurés. Les résultats obtenus ont permis d'ébaucher un modèle prédictif valable dans des conditions similaires à celles de l'expérience.

L'azote ammoniacal représente en moyenne 20% de la quantité d'azote ingérée. L'excrétion d'ammoniaque augmente en étroite corrélation avec la ration ingérée et diminue avec le poids individuel. Le cycle d'excrétion d'ammoniaque présente un pic postprandial suivant les mêmes modalités que celui des autres poissons téléostéens étudiés jusqu'à présent dans la littérature scientifique. L'azote excrété sous forme d'urée représente en moyenne 11% de la quantité ingérée. L'excrétion d'urée augmente avec la ration. L'excrétion journalière d'urée augmente aussi avec la température et diminue avec le poids. Le cycle d'excrétion de l'urée chez le turbot présente une originalité importante : le niveau de base est pratiquement nul pendant la journée et l'essentiel de l'excrétion se fait sous la forme d'un pic nocturne élevé, ration-dépendant, qui persiste après dix jours de mise à jeun.

La digestibilité de l'azote est constante à qualité d'aliment égale, quelle que soit la quantité ingérée, la taille et la température. L'azote dans les fèces est donc uniquement fonction de l'azote ingéré par le poisson. Les fèces contiennent une part non négligeable de composés solubles (30%), dont le devenir dans le milieu naturel doit être dissocié des formes non solubles.

La croissance a été évaluée par le taux de croissance spécifique (TCS), qui suit une régression linéaire en fonction de l'aliment ingéré. La température et le poids de l'animal n'interviennent, dans l'utilisation métabolique de l'azote, que par le biais de la quantité ingérée volontairement par le turbot.

Les bilans globaux sont équilibrés, ce qui permet de valider la méthodologie employée pour l'élaboration du modèle.

Les résultats obtenus permettent ainsi de recommander de pas employer les modèles existants issus des salmonidés pour l'évaluation des rejets métaboliques du turbot. Leur utilisation entraînerait en effet une surestimation systématique des pertes azotées solubles et une sous-estimation de l'accrétion corporelle de protéines. Le turbot apparaît comme un animal doué d'une capacité remarquable à utiliser les protéines alimentaires. Son comportement physiologique en fait une exception au sein des poissons téléostéens étudiés jusqu'à présent.

SOMMAIRE

	page
INTRODUCTION	1
☺ PREMIERE PARTIE : MATERIELS ET METHODES	
I. ORGANISATION DES EXPERIENCES	3
II. CONDITIONS D'ELEVAGE	3
II.1. Animaux	3
II.2. Bacs	4
II.3. Eau	4
II.4. Photopériode	4
II.5. Aliment	5
II.6. Alimentation	5
II.7. Pesées	6
II.8. Entretien des bacs	6
III. PRELEVEMENTS	6
III.1. Poissons	6
III.2. Eau	7
III.3. Fèces	7
IV. DEROULEMENT TYPE D'UNE EXPERIENCE	7
V. ACQUISITION DES DONNEES	8
V.1. Echantillons lyophilisés	8
V.1-a. <i>Teneur en eau</i>	8
V.1-b. <i>Teneur en azote</i>	9
V.1-c. <i>Teneur en chrome</i>	9
V.2. Effluents liquides	9
VI. CALCULS DES PARAMETRES NUTRITIONNELS ET DE CROISSANCE	10
VI.1. Digestibilité	10
VI.2. Taux de croissance spécifique	10
VI.3. Indice de conversion	10
VI.4. Coefficient d'utilisation protéique	11
VII. TRAITEMENTS DES DONNEES ET STATISTIQUES	11
VIII. RECAPITULATIF	12

☺ DEUXIEME PARTIE : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

I. EXCRETION SOLUBLE	13
I.1. Ammoniaque	13
I.1-a. <i>Modalités d'excrétion</i>	15
I.1-b. <i>Valeur de l'excrétion journalière</i>	17
I.1-c. <i>Métabolisme des turbots à jeun</i>	19
I.2. Urée	24
I.2-a. <i>Modalités d'excrétion</i>	24
I.2-b. <i>Valeur de l'excrétion journalière</i>	24
I.2-c. <i>Turbots à jeun</i>	26
II. REJETS D'AZOTE DANS LES FECES	31
II.1. Rejets fécaux et digestibilité	31
II.2. Azote soluble des fèces	33
III. CROISSANCE	35
III.1. Croissance globale des poissons	35
III.1-a. <i>Taux de croissance spécifique</i>	35
III.1-b. <i>Indice de conversion</i>	37
III.2. Azote	40
III.2-a. <i>Azote fixé dans l'organisme</i>	40
III.2-b. <i>Coefficient d'utilisation protéique</i>	40
IV. BILANS AZOTES	43
IV.1. Bilans de masse	43
IV.2. Devenir de l'azote ingéré	43
SYNTHESE	47
CONCLUSION	51
BIBLIOGRAPHIE	53
GLOSSAIRE	57
ANNEXES	59

INTRODUCTION

SITUATION DU PROJET

Le turbot, (*Scophthalmus maximus*), est la principale espèce de poisson plat élevée à des fins commerciales en Europe. Son aire de répartition s'étend sur toute la façade Atlantique et la Méditerranée. Outre le caractère saisonnier de la pêche du turbot, la taille des prises diminue et la quantité de turbot débarquée stagne. Ceci, combiné avec l'augmentation de la demande en espèces festives, fait apparaître l'élevage intensif du turbot comme une voie d'avenir.

A partir des années 70, des recherches ont été entreprises concernant la maîtrise des étapes de reproduction et d'élevage larvaire, ainsi que la nutrition et les performances de croissance des turbots en captivité (Person-Le Ruyet, 1992). Elles ont permis le développement d'une filière d'élevage reposant sur de solides connaissances zootechniques, concrétisé en 1993 par une production de 2.000 tonnes en Europe. La zone de production est essentiellement localisée le long des côtes Atlantiques du Nord de l'Espagne et de la France.

Pourtant, des écueils importants persistent : la rentabilité du système reste limitée non seulement par le coût des investissements immobiliers, ou par la conception d'un aliment adéquat, mais aussi par la gestion des déchets piscicoles.

L'implantation d'élevages intensifs implique la connaissance de leur impact potentiel sur l'environnement. En effet, les rejets azotés, phosphorés et carbonés des fermes aquacoles peuvent, s'ils sont mal gérés, déséquilibrer l'écosystème. Ces rejets ont aussi un impact sur les poissons eux-mêmes : d'une part, la toxicité de l'ammoniac est un facteur limitant pour l'élevage, d'autre part le transport de poissons vivant nécessite le contrôle de la qualité de l'eau. C'est pourquoi, les effluents des piscicultures marines doivent être caractérisés de manière exacte, en même temps que la sensibilité des sites vis-à-vis de ces enrichissements (Dosdat, 1992).

A partir de 1993, un projet de détermination de l'impact environnemental de la pisciculture marine intensive en France et en Europe du Sud a été entrepris. Celui-ci sous-entend un partenariat entre plusieurs équipes de recherche au sein de l'IFREMER : l'équipe de Palavas-les-Flots s'intéresse au bar (*Dicentrarchus labrax*), l'équipe de Brest au turbot (*Scophthalmus maximus*) et à la truite fario (*Salmo trutta fario*). Les expériences entreprises à partir de janvier 1993 par l'équipe Aquaculture-Environnement des laboratoires Poisson et Nutrition du Centre IFREMER de Brest ont pour but de caractériser les rejets des élevages de turbot, et d'en fournir un modèle prédictif.

PRINCIPE DE LA METHODE RETENUE

Le but de cette expérimentation est d'élaborer un modèle traduisant l'utilisation métabolique de l'aliment par le turbot sous diverses conditions d'élevage. L'effet des paramètres jugés comme ayant la plus grande influence sur le métabolisme des poissons sera évalué au cours d'un ensemble d'expériences monoparamétriques. Les paramètres d'élevage retenus sont la ration ingérée, la température d'élevage, et la taille des poissons (Jobling, 1981, Brett, 1979). Les facteurs tels que la salinité, la photopériode, la densité, ou la composition de l'aliment sont maintenus constants.

L'aliment ingéré n'est qu'en partie assimilé, la partie non digérée étant rejetée sous forme de fèces. La partie assimilée est utilisée selon plusieurs voies métaboliques : l'anabolisme permet la formation dans l'organisme de tissus nouveaux, donc la croissance ; le catabolisme fournit l'énergie nécessaire à l'organisme. L'utilisation métabolique des nutriments produit donc des déchets éliminés par l'animal : c'est l'excrétion (Randall et Wright, 1969).

La caractérisation de l'utilisation de l'aliment fait donc intervenir simultanément le rejet de la fraction indigestible, la croissance somatique et l'excrétion. La mesure de toutes ces composantes permet d'effectuer un bilan de masse pour l'azote, le phosphore et la matière organique. Dans ce travail, nous ne nous intéressons qu'à l'azote.

L'ambition du projet est d'effectuer 27 expériences (3 tailles, 3 températures, 3 répliques) permettant de définir un modèle de croissance et de rejets pour les gammes de tailles et de températures rencontrées dans les fermes d'élevage. Ce rapport d'étape des six premières expériences réalisées (2 tailles, 3 températures) ébauche un modèle avec les données existantes et vérifie l'adéquation des mesures et des méthodologies utilisées avec la conception du modèle désiré.

PREMIERE PARTIE :
MATERIELS ET METHODES

I. ORGANISATION DES EXPERIENCES

Le schéma ci-dessous montre l'organisation temporelle des expériences. Les installations existantes ne comportent que 7 bacs disponibles en même temps. La réalisation simultanée de plusieurs expériences est donc impossible.

Le projet prévoit la réalisation de chaque expérience en triplicat, soit 27 expériences au total. La répétition des expériences ne peut être effectuée que dans le temps. A ce jour il n'existe qu'une seule mesure pour des turbots de 10 et 100 grammes.

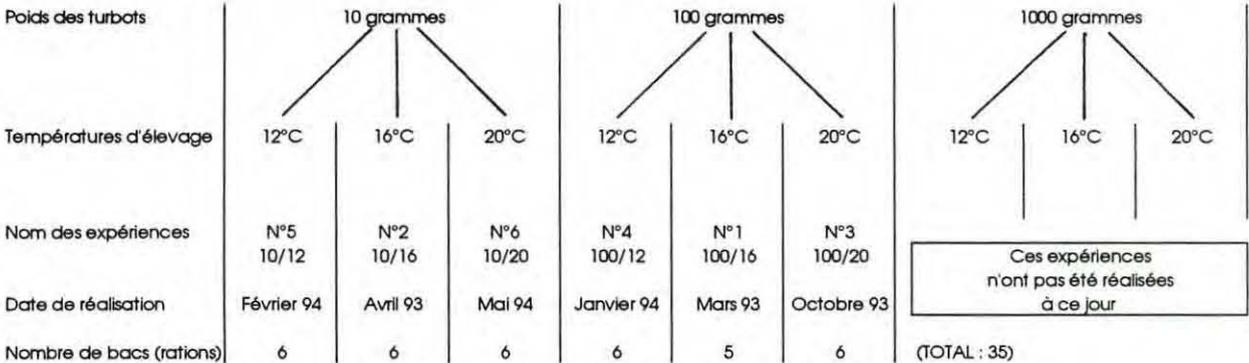


Figure 1 : organisation générale du projet

II. CONDITIONS D'ELEVAGE

II.1- ANIMAUX

Les turbots utilisés pour chaque expérience sont issus d'élevages larvaires menés au centre IFREMER de Brest. Le poids moyen des poissons au début de chaque expérience est respectivement de $13 \pm 0,5$ et 100 ± 10 grammes.

Selon la taille, les poissons sont répartis par lots de 200 ou 20, fixant ainsi la biomasse initiale autour de 2,5 kg par bac (densité 10 kg/m³). Chaque expérience fait intervenir six lots de turbots maintenus dans des bacs séparés.

Aucune mortalité n'a été enregistrée pendant les expériences à l'exception de la totalité du lot nourris à 52% de *ad libitum* dans l'expérience N° 1 (100/16).

II.2- BACS

Pour chaque expérience six bacs sont donc utilisés. Les bacs d'élevage sont des bacs cylindro-coniques de 140 litres. La forme cylindro-conique du fond est nécessaire pour la récolte du matériel sédimentable (fécès). Le turbot étant un poisson benthique, il a besoin d'une surface plane pour se poser. Un panier à fond plat en grillage plastique, est donc suspendu dans chacun des six bacs (voir figure 3). Un septième bac sans poisson est alimenté en eau et sert de bac témoin pour caractériser l'eau d'entrée.

II.3- EAU

L'eau d'alimentation du système d'élevage est pompée en rade de Brest, filtrée sur filtre à sable sous pression, et a une salinité moyenne de 35‰ sur l'année (Gaumet, 1994). Le renouvellement de l'eau de mer est assuré à un débit de 4 à 6 litres par minute suivant la température choisie pour l'expérience. La concentration d'O₂ est ainsi maintenue à un niveau non limitant (supérieur à 80% de la saturation).

Le chauffage de l'eau de mer est assuré par un échangeur thermique à plaques. La température d'expérience est contrôlée à l'aide d'un dispositif de thermorégulation. La température dans les bacs d'élevage est vérifiée quotidiennement.

Les débits sont mesurés deux fois par jour pour chacun des bac, avant et après le nettoyage du filtre à sable par inversion du flux. La décroissance du débit due au colmatage du filtre est considérée comme linéaire en fonction du temps.

II.4- PHOTOPERIODE

Une photopériode de 12 heures de lumière (7-19h) et 12 heures d'obscurité est obtenue grâce à un éclairage entièrement artificiel de la salle d'élevage. Une aube et un crépuscule d'une demi-heure (éclairage moins intense), permettent d'éviter un stress défavorable à l'acclimatation des poissons.

II.5- ALIMENT

L'aliment utilisé est un aliment sec standard mis au point au laboratoire (50% de protéines, 10% de lipides). Il se présente sous deux formes : une forme classique et une forme marquée par l'incorporation d'oxyde de chrome (Cr_2O_3) à 1% de l'aliment. L'oxyde de chrome est retenu comme marqueur dans les études de digestibilité pour son insolubilité et son caractère indigestible. Mis à part cela, la composition de ces deux formes est identique.

Les granulés sont fabriqués par cuisson-extrusion sous une forme "base" facile à conserver. Leur enrichissement en huiles et vitamines se fait au début de chaque expérience, selon les besoins prévus.

Le granulé utilisé pour les deux premières expériences avait une densité telle qu'il coulait. Ce paramètre entraînait des difficultés de distribution puisque le granulé tombait à travers le grillage des paniers. Bien que l'aliment coulant corresponde mieux au comportement alimentaire du turbot élevé sur fond plat, un aliment flottant de même formule a été utilisé. L'adaptation des turbots à l'alimentation en surface est déjà réalisée pendant la phase d'élevage précédant la réquisition des turbots pour chaque expérience. Ainsi la période d'acclimatation est inférieure à 2 semaines, l'ensemble des poissons venant se nourrir à la surface au bout d'un temps plus court.

II.6- ALIMENTATION

Les poissons de 10 grammes sont nourris deux fois par jour, à 10 heures et 16 heures. Ceux de 100 grammes ne reçoivent qu'un seul repas par jour à 10 h 30. La distribution de l'aliment est manuelle : ceci permet de vérifier que les poissons ingèrent effectivement la totalité des granulés. Les granulés éventuellement non ingérés sont récupérés et proposés à nouveau immédiatement. Si les poissons montrent du désintérêt, le refus est redistribué dans le quart d'heure qui suit. Si malgré l'insistance, il reste de l'aliment, celui-ci est soustrait de la ration théorique. Les quantités distribuées calculées sont donc les valeurs exactes de l'ingéré.

Pendant la phase d'acclimatation de deux semaines, les six lots de turbots de chaque expérience sont nourris à satiété (*ad libitum*) afin de déterminer la moyenne de l'ingéré volontaire maximum. Cela constituera la ration "100%" à partir de laquelle les autres rations sont calculées, respectivement 84, 68, 52, 36 et 20%. Ces rations, exprimées en grammes d'aliment par bac et par jour, sont affectées de façon aléatoire aux six bacs. Elles sont maintenues pendant toute la durée de l'expérience, sans tenir compte de l'évolution de la croissance des animaux.

II.7- PESEES

La biomasse contenue dans chaque bac est mesurée par la pesée du lot entier. Les turbots sont ensuite dénombrés afin de déterminer le poids moyen des poissons du lot considéré.

II.8- ENTRETIEN DES BACS

Une fois par jour, après la distribution de l'aliment, les bacs sont nettoyés. Pour cela les paniers sont sortis des bacs et immergés dans un bac attenant. Le nettoyage s'effectue par la vidange rapide d'une partie de l'eau accompagnée d'un brossage des parois du bac et de l'ensemble de la tuyauterie qui permet le décollement et l'élimination des matières déposées pendant la journée sur les parois du cône.

III. PRELEVEMENTS

III.1- POISSONS

Le nombre de poissons nécessaires à la constitution d'un échantillon pour chaque bac est évalué à 20 poissons de 10 grammes et, 5 poissons de 100 grammes. Ils sont prélevés en prenant soin de ne sélectionner que des poissons d'un poids voisin du poids moyen déterminé.

Le prélèvement effectué en début d'expérience (carcasse initiale : CI) contient des turbots issus de tous les bacs. A la fin de la période d'alimentation (carcasses finales : CF) et de la période de jeûne (carcasses à jeun : CJ), un prélèvement est réalisé pour chaque bac. Les échantillons sont conservés à -20°C jusqu'à la fin de l'expérience. Ils sont ensuite très finement broyés jusqu'à l'obtention d'un homogénat (HOBART, PACO-jet[®]).

N.B. L'appellation "carcasse" est quelque peu erronée puisqu'il s'agit ici de poissons entiers et non de poissons vidés et dépecés . Mais l'utilisation courante de ce terme nous a amené à le conserver.

III.2- EAU

L'eau de sortie des bacs d'élevage et du bac témoin est prélevée de deux manières différentes : par "pool" et "en continu" (Dosdat A. *et al.*, 1993).

La constitution des "pool" nécessite deux pompes péristaltiques à débit faible fonctionnant en alternance, qui prélèvent sur 24 heures un volume d'un litre par bac. Ce prélèvement d'eau est collecté dans des bouteilles contenant un conservateur (7 ml de chloroforme).

Le prélèvement d'eau en continu se fait pendant 24 heures et son analyse est immédiate : une pompe péristaltique à fort débit achemine l'eau de sortie des bacs jusqu'au laboratoire où a lieu l'analyse en flux continu de chaque échantillon. Chacune des sept sorties de bac est prélevée en continu, mais analysée toutes les 17 minutes 30 secondes par un automate.

III.3- FECES

Les fécès de turbot étant particulièrement fragiles, la collecte se fait par décantation dans des bouteilles hautes qui permettent leur dépôt dans un volume d'eau non renouvelée (Spyridakis P., 1989).

Après siphonnage de la plus grande partie de la colonne d'eau, l'ensemble fécès plus eau résiduelle est récupéré et congelé. Ce prélèvement s'effectue avant le repas du matin, durant au moins 5 jours de la période d'alimentation avec l'aliment marqué à l'oxyde de chrome.

Les prélèvements de chacun des six bacs sont rassemblés par bac et centrifugés (15 minutes à 4000 tours/min.) à la fin de l'expérience. Le culot récupéré (fécès culot : FC) est lyophilisé, pesé et broyé avant analyses ; le volume du surnageant (fécès surnageant : FS) est mesuré et un aliquote est conservé pour analyses. Cette méthodologie permet d'estimer la fraction de rejets solubles contenus dans les fécès.

IV. DEROULEMENT TYPE D'UNE EXPERIENCE

La période d'alimentation se divise en deux phases se différenciant par le type d'aliment distribué et par les prélèvements effectués :

- La première phase de nourrissage, destinée à acclimater les turbots à leur ration, débute après pesée des lots initiaux. Les animaux sont nourris pendant 20 jours avec de l'aliment non marqué. Celui-ci est distribué selon les différentes rations, en veillant à ce que la consommation soit maximale.
- La deuxième phase de nourrissage se déroule sur 10 jours avec l'aliment marqué par l'oxyde de chrome. Le procédé de distribution ne varie pas. Des prélèvements d'eau, sous forme de "pools", et de fécès sont réalisés quotidiennement. A la fin de cette période, un prélèvement continu de l'eau est mené pendant 24 heures.

La dernière période de l'expérience est la phase de jeûne. Après pesée, échantillonnage et prélèvements à la fin des 30 jours d'alimentation, tous les lots sont maintenus à jeun, pendant 10 jours. Les effluents (fécès et eau de sortie des bacs) sont collectés selon la même méthode.

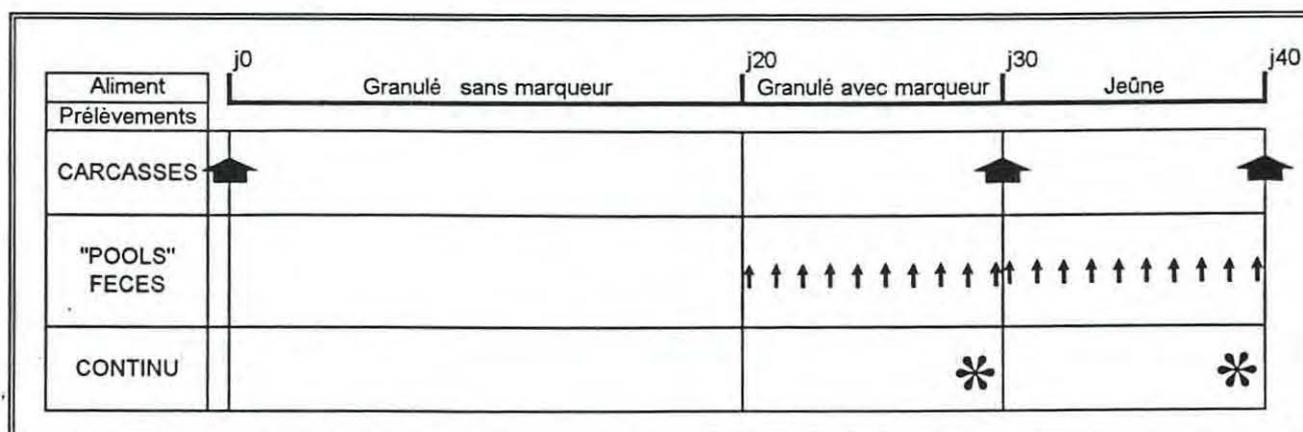


Figure 2 : Déroulement type d'une expérience

V. ACQUISITION DES DONNEES

V.1- ECHANTILLONS LYOPHILISES

V.1-a TENEUR EN EAU

Elle est déterminée par pesée avant et après séchage à l'étuve à 110°C pendant 24 heures. Cette analyse est réalisée pour les poissons broyés, et pour tous les échantillons lyophilisés.

La connaissance de la teneur en eau des échantillons permet d'exprimer la composition en différents nutriments en pourcentage de la matière sèche.

V.1-b TENEUR EN AZOTE

La teneur en azote est déterminée par la méthode de Dumas à l'aide d'un auto analyseur EAGER 200 Fison®. L'azote total est mesuré par combustion de l'échantillon et formation d'azote gazeux. Cet appareil permet d'effectuer rapidement un grand nombre de mesures sur des prélèvements de quelques milligrammes, avec une grande sensibilité.

Ce dosage est réalisé sur les échantillons lyophilisés d'aliment, de carcasse et de fèces (culot et surnageant).

V.1-c TENEUR EN CHROME

La teneur en chrome est déterminée dans les culots de fèces et dans l'aliment marqué par la méthode colorimétrique de Bolin (1952). Elle est obtenue par minéralisation et solubilisation, et mesurée par spectrophotométrie à 440 nm. Le pourcentage de chrome n'est pas recherché dans les surnageants, l'oxyde de chrome étant insoluble.

V.2- EFFLUENTS LIQUIDES

Une chaîne autoanalyser II Technicon® permet les dosages simultanés, en flux continu, des concentrations d'ammoniacque et d'urée par des méthodes colorimétriques :

- L'azote ammoniacal total (total ammonia nitrogen : TAN) est dosé par la méthode de Koroleff (1969) modifiée par Treguer et Le Corre (1975), c'est la méthode dite au bleu d'indophénol.

- L'azote uréique (N-urée : NU) est dosé selon la méthode décrite par Aminot et Kérouel (1982) utilisant l'acétyl-monoxyme comme réactif coloré.

L'excrétion des turbots est ensuite calculée en milligramme d'azote par kilogramme de poids corporel par jour ou par heure. Au jour de mesure, la biomasse est estimée selon une régression linéaire entre la biomasse initiale et la biomasse finale en fonction du temps (la croissance sur une période de 30 jours pouvant être considérée comme linéaire).

VI. CALCULS DES PARAMETRES NUTRITIONNELS ET DE CROISSANCE

VI.1- DIGESTIBILITE

L'oxyde de chrome permet de calculer le coefficient d'utilisation digestive apparent (CUDA ou digestibilité de l'azote : DN). En effet l'utilisation d'un marqueur est rendue obligatoire pour les études de digestibilité chez les poissons par l'impossibilité de récupérer en milieu liquide la totalité des fécès correspondant à un repas donné.

Le CUDA est calculé pour l'azote selon la formule suivante :

$$\text{CUDA} = \left[1 - \frac{[N_F] \times [Cr_A]}{[Cr_F] \times [N_A]} \right] \times 100$$

avec $[N_F]$: concentration d'azote dans les fécès

$[Cr_F]$: concentration de chrome dans les fécès

$[N_A]$: concentration d'azote dans l'aliment

$[Cr_A]$: concentration de chrome dans l'aliment

VI.2- TAUX DE CROISSANCE SPECIFIQUE

Le taux de croissance spécifique (TCS) est calculé en %/j selon la formule :

$$\text{TCS} = 100 \times \frac{\ln B_f - \ln B_i}{t_f - t_i}$$

avec $[B_f]$: biomasse finale après la période d'alimentation

$[B_i]$: biomasse initiale

$[t_f \text{ et } t_i]$: les jours de fin et de début d'alimentation

VI.3- INDICE DE CONVERSION

L'indice de conversion (IC) est calculé ici avec la quantité d'aliment réellement ingérée. Celui qui est calculé en pratique, c'est à dire dans les fermes piscicoles, est calculé à partir de l'aliment distribué. Il faudra donc tenir compte de cette différence pour toute comparaison ou prédiction (cf. la modélisation).

L'indice de conversion, exprimé en pourcentage, est calculé de la manière suivante :

$$IC = \frac{\text{Poids Sec d'Aliment Ingéré}}{\text{Gain de Poids Vif}}$$

VI.4- COEFFICIENT D'UTILISATION PROTEIQUE

Ce coefficient est calculé à partir de la formule suivante :

$$CUP = \frac{\text{Azote fixé dans la carcasse}}{\text{Azote Ingéré}}$$

L'azote fixé dans la carcasse pendant la période d'alimentation est aussi appelé Gain d'azote dans la carcasse (GNC) au cours de cette étude.

VII. TRAITEMENTS DES DONNEES ET STATISTIQUES

Le grand nombre de données obtenues a été traité, pour l'obtention des profils et des valeurs des pools, grâce à la réalisation de fichiers de calcul dans un tableur (Excell 4[®] pour Windows[®]).

Une Analyse en Composantes Principales a été réalisée à l'aide du logiciel Statitcf[®] afin d'explorer les relations entre les variables étudiées avant tout autre calcul.

Tous les tests de régressions simples en fonction de la quantité d'azote ingérée ont été menés grâce au logiciel Deltagraph[®] pour Windows[®] qui a également permis de tracer les graphiques.

Les régressions linéaires multiples, calculées pas à pas, ont été réalisées à l'aide du logiciel Statgraphics[®]. Les valeurs p représentent la probabilité d'accepter à tort la relation entre la variable explicative et la variable expliquée.

Les tests statistiques entrepris sont uniquement des tests de Student calculés manuellement.

Le seuil de signification retenu pour l'ensemble de l'étude est $\alpha = 0,05$.

VIII. RECAPITULATIF

L'ensemble des mesures et calculs effectués lors de chaque expérience permet la réalisation d'un bilan de masse pour l'azote, comme l'illustre la figure ci-dessous :

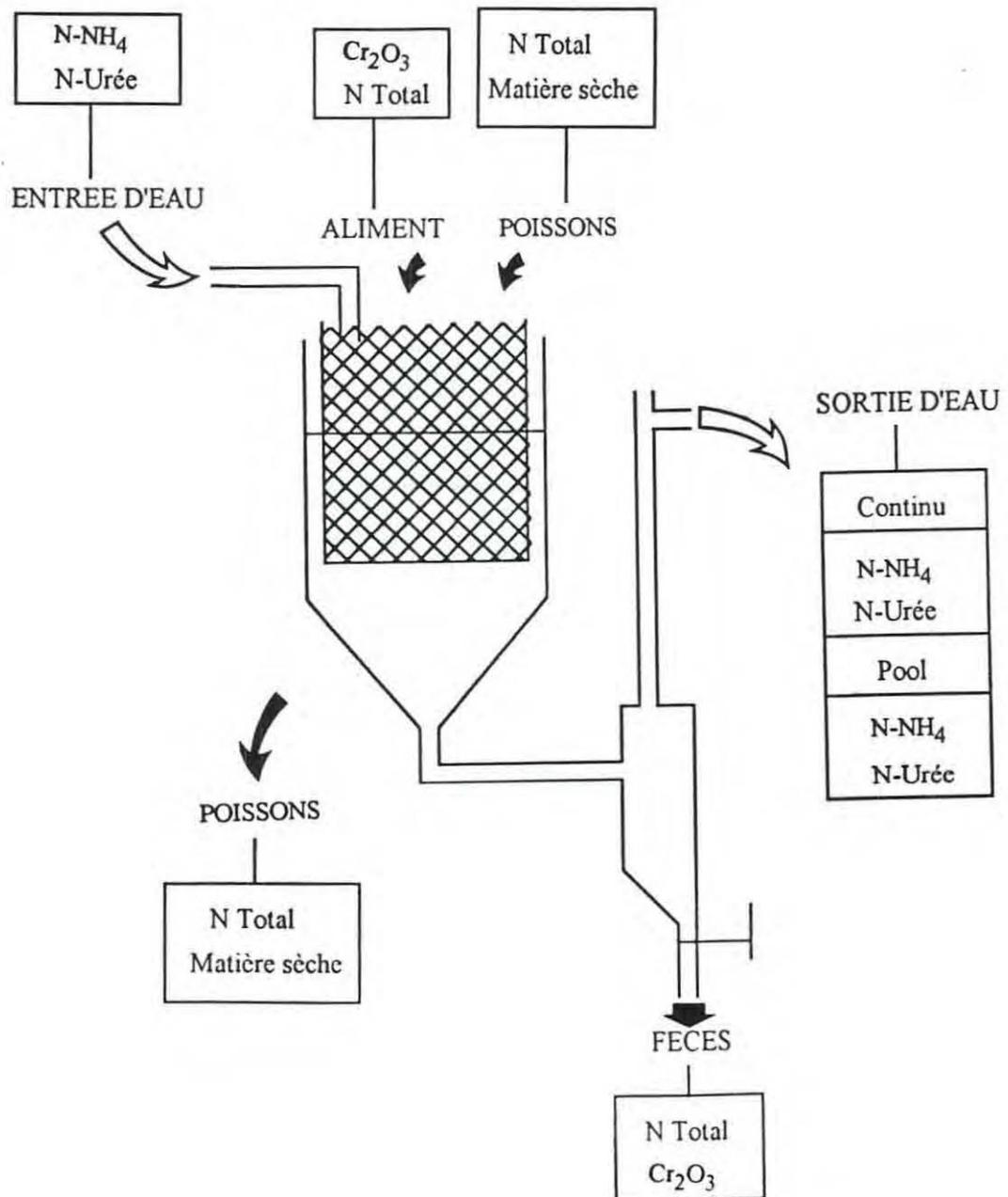


Figure 3 : Montage expérimental et mesures réalisées

DEUXIEME PARTIE :
RESULTATS ET INTERPRETATIONS

I.1- AMMONIAQUE

I.1-a. MODALITES D'EXCRETION

Le profil de l'excrétion horaire d'ammoniaque en conditions de routine (le métabolisme de routine est celui de poissons nourris, ayant une activité spontanée, acclimatés à des conditions environnementales stables) est rapporté dans la figure 4 pour les turbots de 10 grammes et dans la figure 5 pour les turbots de 100 grammes.

La mesure en continu sur 24 heures permet de mettre en évidence un cycle d'excrétion ammoniacale initié par la prise de nourriture : lorsque les poissons reçoivent un repas par jour (turbots de 100 grammes), un pic d'excrétion est observé 5 à 8 heures après la distribution. Dans le cas d'une distribution biquotidienne (turbots de 10 grammes) deux pics apparaissent 3 à 5 heures après chaque repas, leur amplitude ne permettant pas toujours de bien les différencier pour les faibles rations. Le délai d'apparition de ces pics semble lié à la température et à la ration ingérée : il sont retardés pour les basses températures et les grandes rations. A la suite de ces pics, le retour à un niveau faible d'excrétion d'ammoniaque se fait sur plusieurs heures. Le délai d'apparition des pics semble augmenter avec la taille des poissons (de 5 heures pour les turbots de 10 grammes, il passe à 8 heures pour ceux de 100 grammes).

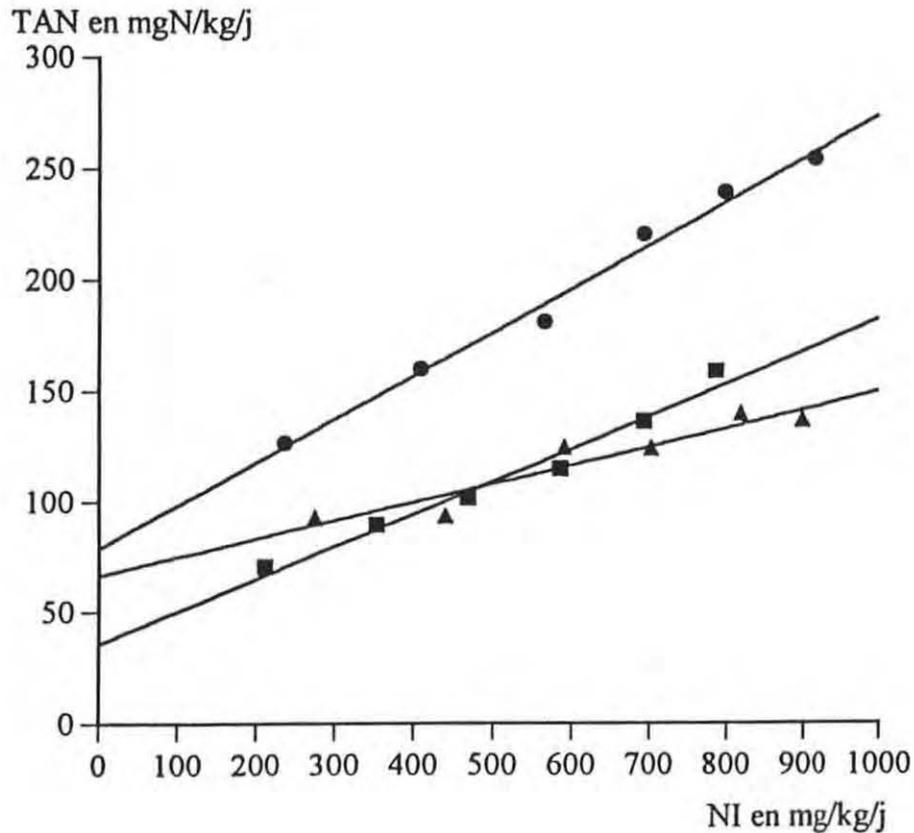
Tous les profils issus de notre étude expérimentale concordent avec les données préexistantes en ce qui concerne la présence d'un pic postprandial d'une amplitude croissante avec la ration ingérée. Ce pic postprandial est retrouvé pour d'autres espèces à des niveaux comparables. Brett et Zala (1975) chez le saumon sockeye (*Oncorhynchus nerka*), et Kikuchi *et al.* (1991) chez la plie japonaise (*Paralichthys olivaceus*), soulignent le fait que le taux d'excrétion d'ammoniaque présente une augmentation pendant une durée qui dépend de la quantité d'aliment ingérée.

Kaushik (1980), chez la carpe (*Cyprinus carpio* L.) et la truite (*Oncorhynchus mykiss*), observe aussi que le nombre de pics est égal au nombre de repas distribués.

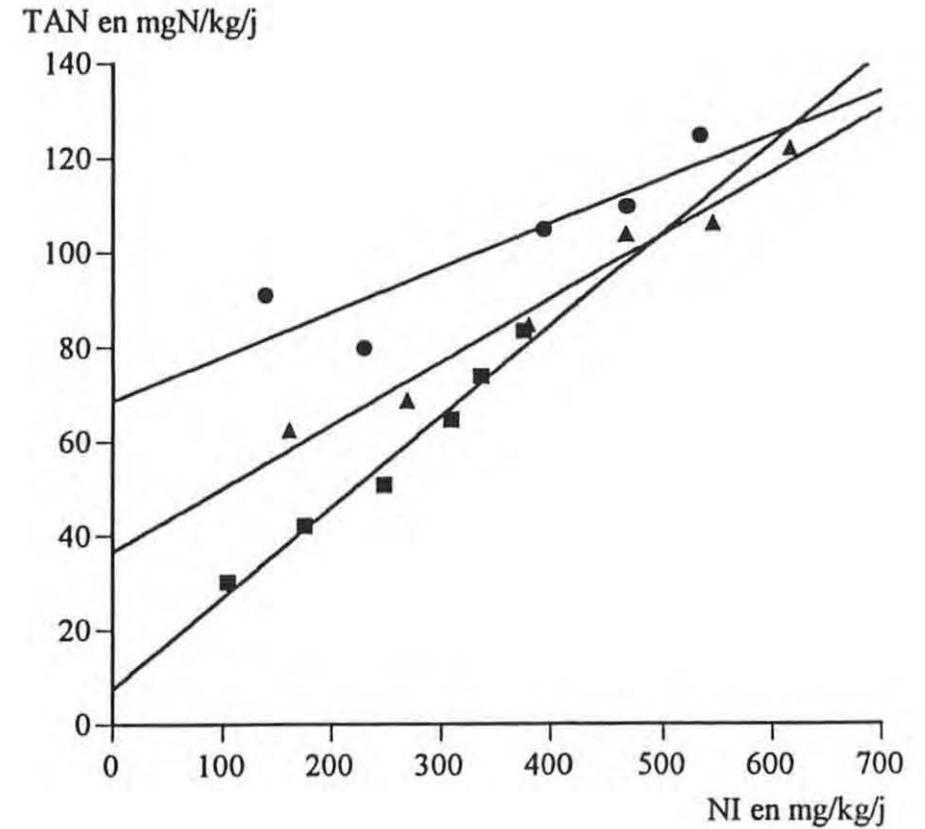
Ramnarine *et al.* (1987), chez la morue atlantique (*Gadus morhua* L.), montrent que les distributions répétées se répercutent par des variations du cycle d'excrétion ammoniacale. Pour de faibles rations, le niveau d'excrétion diminue entre chaque pic alors que pour des rations élevées, l'effet du deuxième repas est cumulatif : le volume du repas a un effet sur la durée du pic d'excrétion. Le même effet cumulatif est retrouvé dans la présente étude. Pour de grandes rations, le deuxième pic est plus élevé que le premier chez les lots nourris 2 fois par jour.

Figure 6 : AMMONIAQUE EXCRETEE EN FONCTION DE L'AZOTE INGERE

TURBOTS DE 10 GRAMMES

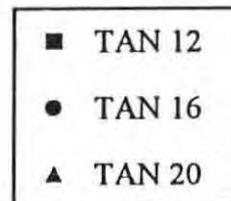


TURBOTS DE 100 GRAMMES



EQUATIONS DE REGRESSION :

12°C : TAN = 0,1478 NI + 35,50 $r^2 = 0,975$
 16°C : TAN = 0,1960 NI + 78,82 $r^2 = 0,989$
 20°C : TAN = 0,0837 NI + 66,62 $r^2 = 0,896$



EQUATIONS DE REGRESSION :

12°C : TAN = 0,1933 NI + 7,47 $r^2 = 0,977$
 16°C : TAN = 0,0941 NI + 68,64 $r^2 = 0,587$
 20°C : TAN = 0,1345 NI + 36,61 $r^2 = 0,969$

EXCRETION HORAIRE D'AMMONIAQUE : CYCLE SUR 24 HEURES TURBOTS DE 10 GRAMMES

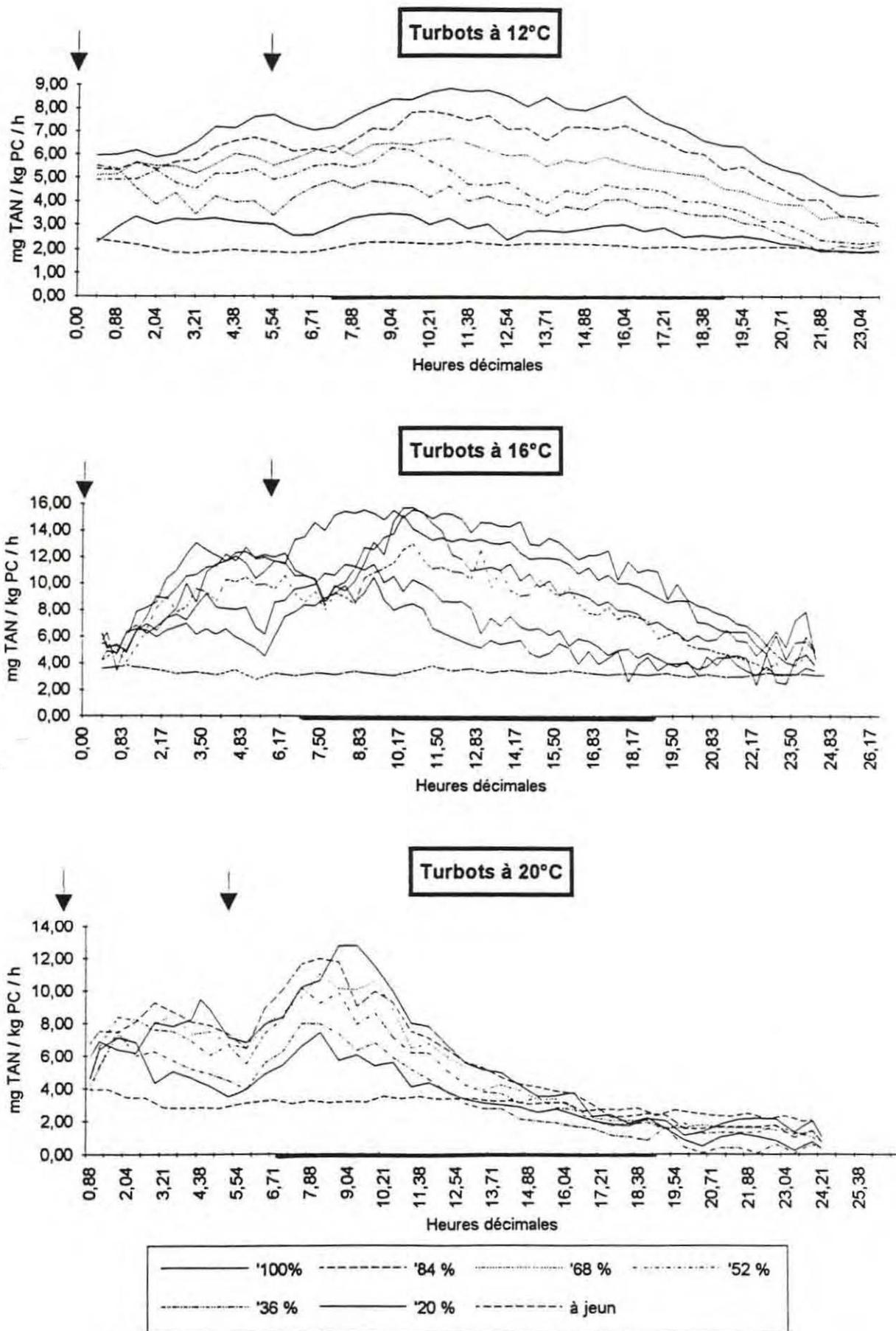


Figure 4 : Les flèches représentent le moment de distribution des repas.
La partie noircie représente la phase obscure de la photopériode.

EXCRETION HORAIRE D'AMMONIAQUE : CYCLE SUR 24 HEURES TURBOTS DE 100 GRAMMES

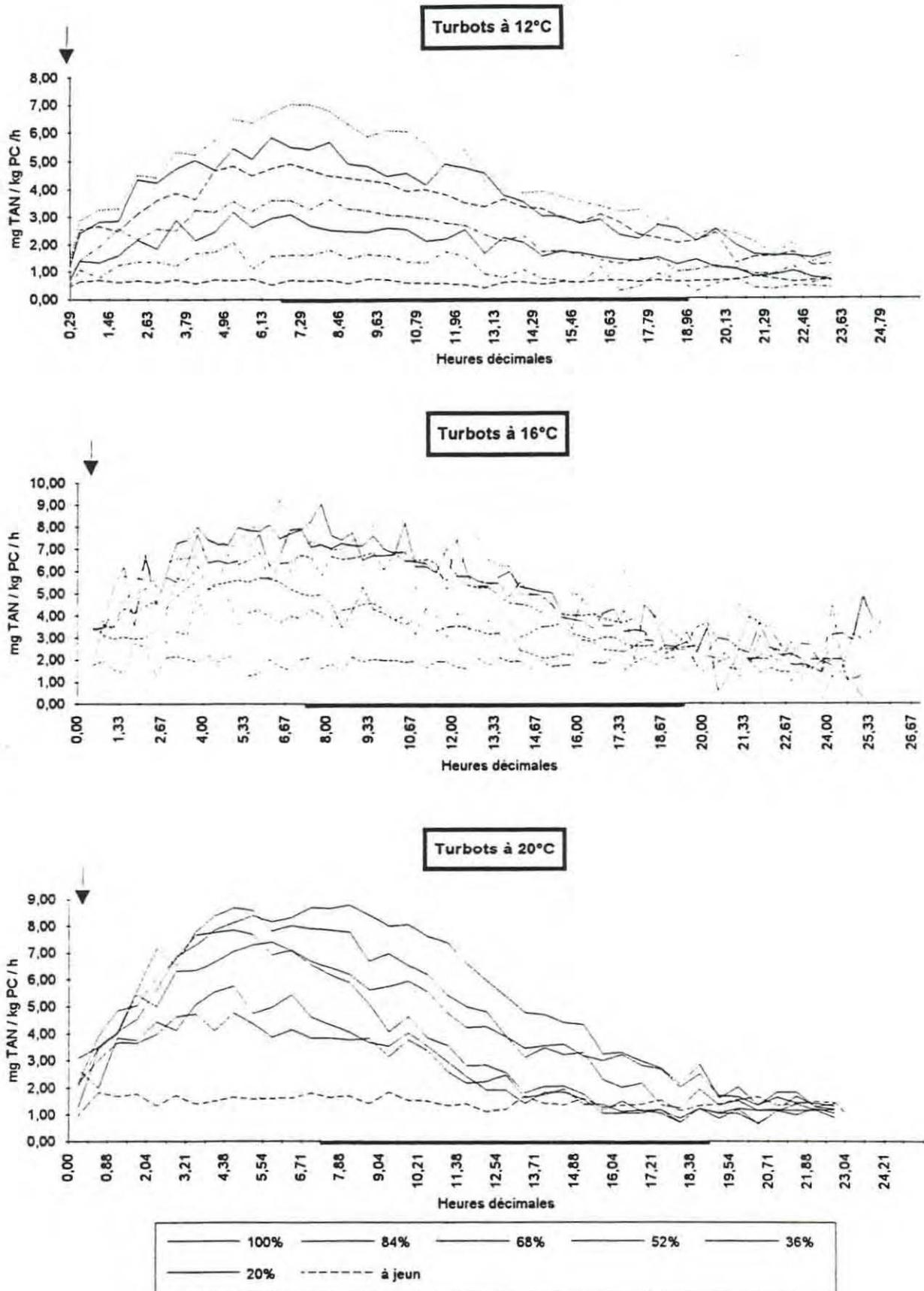


Figure 5 : Les flèches représentent le moment de distribution du repas. La partie noire représente la phase obscure de la photopériode.

Les modalités d'excrétion de l'ammoniaque par les poissons sont très intéressantes à considérer, surtout au vu du caractère toxique de la molécule. En effet une valeur moyenne d'excrétion sur la journée ne rend pas compte de la concentration importante d'ammoniaque qui existe au moment du pic postprandial et des effets de cette forte concentration.

I.1-b. VALEUR DE L'EXCRETION JOURNALIERE

Le taux journalier d'excrétion d'ammoniaque des turbots nourris est donné en fonction de la quantité d'azote ingérée pour chaque expérience dans la figure 6.

Les valeurs mesurées pour chaque température et taille des individus sont proportionnelles à la quantité d'azote ingérée. Les coefficients de détermination des droites de régression calculées sont très élevés (> 0,97). Les lots d'animaux nourris à la ration maximale ont un taux d'excrétion d'ammoniaque représentant en moyenne 20% de l'azote ingéré (TAN/NI = 0,2). Ceci constitue une originalité du turbot par rapport aux autres espèces où l'excrétion de l'ammoniaque été étudiée. Le tableau 1 reprend les résultats d'études intéressantes à mettre en parallèle avec le turbot puisque ciblées essentiellement sur des poissons marins. On remarque ainsi que la plie japonaise présente, pour des tailles similaires à celle de notre étude, un ratio TAN/NI proche de celui du turbot. Ceci pourrait être expliqué par leur appartenance au même ordre, celui des pleuronectiformes, ainsi que par un mode de vie similaire (poissons benthiques).

Tableau 1 : EXCRETION AZOTEE DE QUELQUES ESPECES DE TELEOSTEENS : Toutes les données sont exprimées en mg N/kg PC/j d'après Dosdat et al, 1994 (soumis à Aq. and Fish. Man.)

ESPECES	CONDITIONS EXPERIMENTALES		AZOTE INGERE	EXCRETION D'AMMONIAQUE		TAN/NI %	EXCRETION D'UREE		N.U/NI %	REFERENCES
	Poids	Température		à jeun	nourris		à jeun	nourris		
BAR	40g	14°C	778	—	548	70	—	—	—	Spyridakis, 1989
<i>Dicentrarchus labrax</i>	7g	23°C	2000	216	1160	58	~50	180	9	Vitale-Lelong, 1989
MORUE ATLANTIQUE	200g	14°C	325	156	244	75	—	—	—	Ramnarine et al, 1987
<i>Gadus morhua</i>			1302	—	801	62	—	—	—	
DAURADE	90g	24°C	998	—	353	35	—	0	0	Porter et al, 1987
<i>Sparus aurata</i>	3g	24°C	2899	—	1032	36	—	0	0	
SAUMON ATLANTIQUE	2000g	12°C	641	—	144	22	—	22	3	Fivelstad et al, 1994
<i>Salmo salar</i>										
TRUITE ARC-EN-CIEL	130g	15 - 18°C	1143	64	517	45	20	83	7	Kaushik, 1980
<i>Salmo gairdneri</i>										
BREME	35g	15°C	400	60	220	55	10	25	6	Tatrai, 1981
<i>Abramis brama</i>			(zooplancton)							
PLIE JAPONAISE	1,8 - 5g	20°C	2280	183	517	23	21	66	3	Kikuchi et al, 1990
<i>Paralichthys</i>	15 - 50g	20°C	990	54	205	21	17	38	4	Kikuchi et al, 1991
<i>olivaceus</i>	189 - 575g	20°C	723	48	267	37	10	30	4	Kikuchi et al, 1992
ESTURGEON	270g	17°C	1125	32	315	28	—	—	—	Salin et Williot, 1994
<i>Acipenser baeri</i>										
TURBOT	10g	12°C	786	49	159	20	19	71	9	résultats de notre étude
<i>Scophthalmus</i>	10g	20°C	898	82	137	15	29	100	11	
<i>maximus</i>	100g	12°C	375	15	83	22	13	42	11	
	100g	20°C	615	37	122	20	15	69	11	

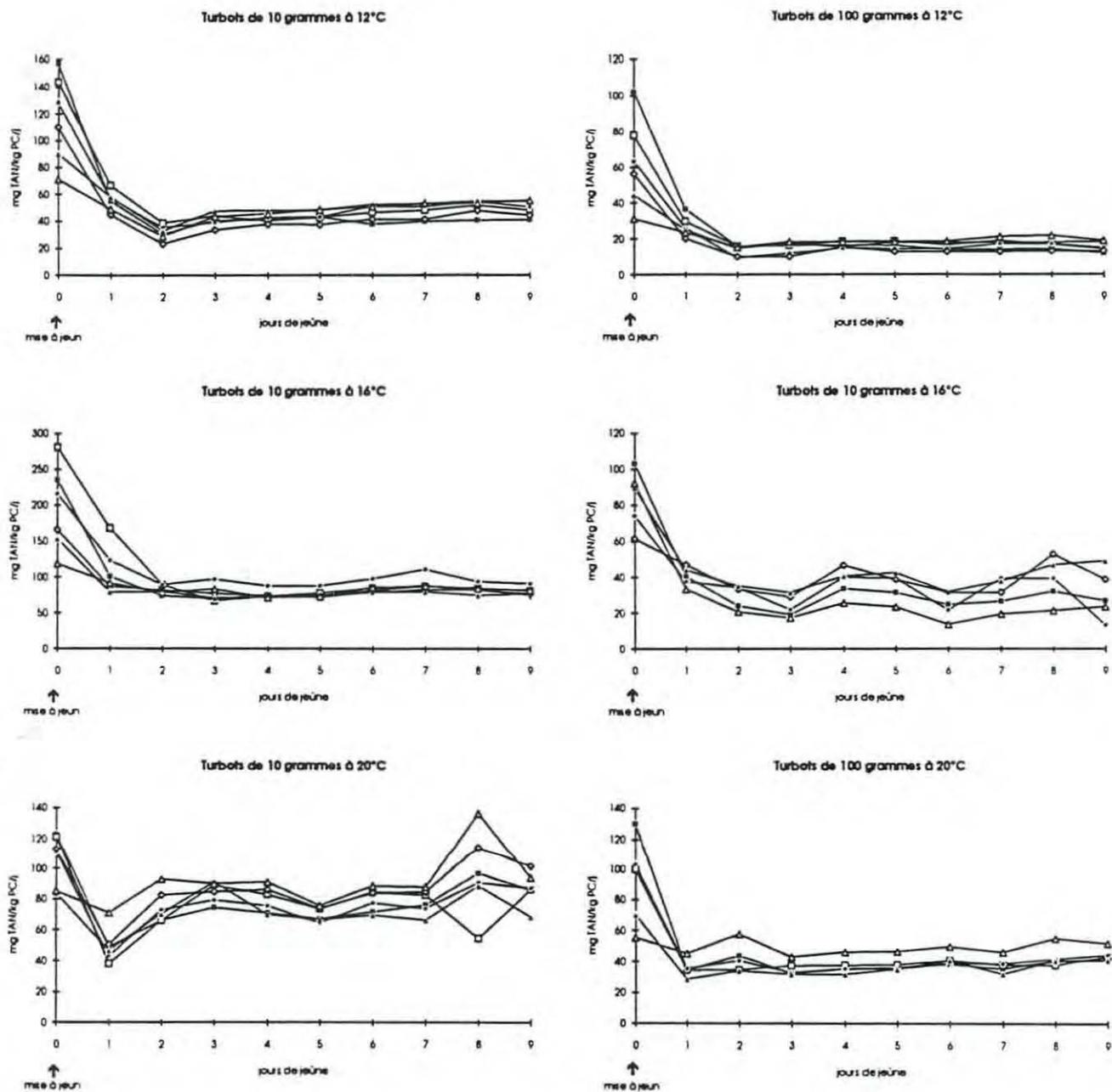


Figure 7 : EVOLUTION DE L'EXCRETION D'AMMONIAQUE PENDANT LE JEÛNE

La régression linéaire multiple montre qu'il existe une action hautement significative de l'azote ingéré ($p < 0,0001$ pour NI) et du poids ($p < 0,0001$ pour Log P) sur l'azote ammoniacal excrété. Par ailleurs l'action de la température n'est pas significative ($p > 0,80$) : il n'existe pas de relation simple entre l'excrétion d'ammoniaque et la température dans les conditions de notre étude.

La régression linéaire multiple nous permet d'écrire l'équation suivante :

$$\text{TAN} = 1,55 \cdot 10^{-1} \text{ NI} - 25,7 \text{ Log P} + 83,69 \quad r^2 = 0,68 \quad (\text{Eq. 1})$$

avec : TAN et NI en mg N/kg PC/j P en grammes

Cette équation semble être le modèle le plus adapté pour la prévision de l'excrétion d'ammoniaque sous nos conditions expérimentales (Le logarithme du poids est préféré au poids corporel car l'équation en Log P est plus représentative).

I.1-c. METABOLISME DES TURBOTS A JEUN

La figure 7 montre l'évolution normale de l'excrétion d'ammoniaque des différents lots de turbots pendant toute la période de jeûne qui suit la phase d'alimentation. Pour chaque température et chaque taille étudiées l'allure de ces courbes est la même : l'excrétion décroît très rapidement pour se stabiliser dès le 3^{ème} jour à une valeur similaire quelque soit le bac considéré (pentes inférieures au seuil d'erreur et valeurs des différents bacs non significativement différentes d'après le test de Student au seuil de 5%).

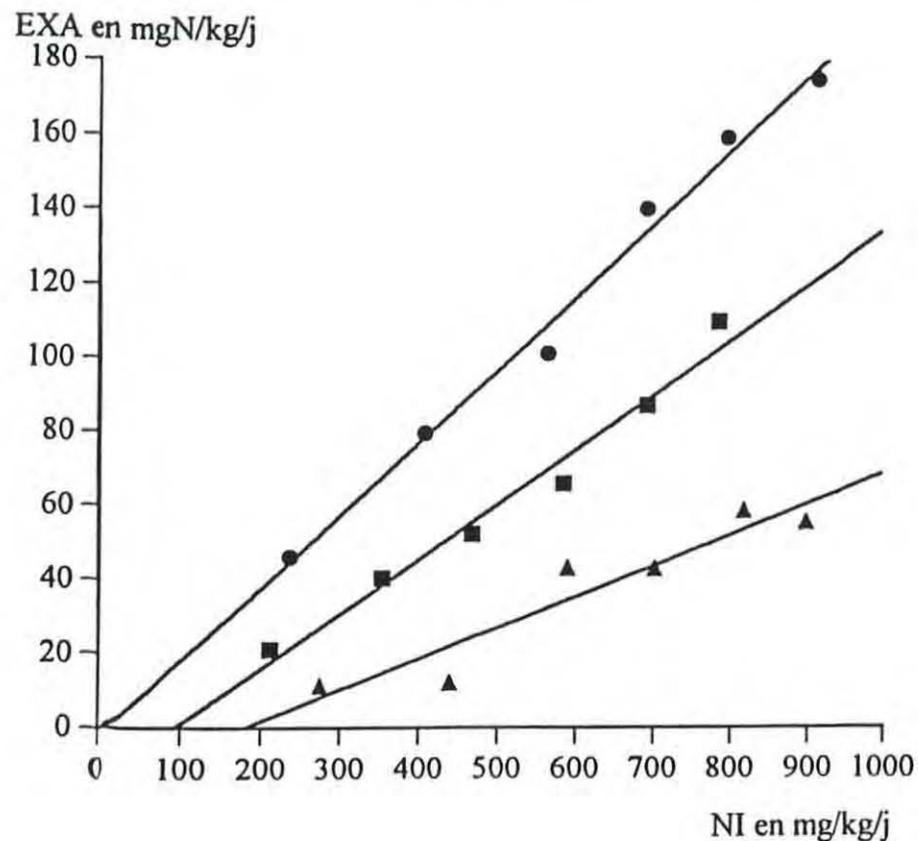
L'évolution conjointe des lots précédemment nourris à des rations différentes, laisse supposer que l'acclimatation à une période de jeûne se fait de la même manière pour tous les poissons, quelles qu'aient été leurs conditions de vie antérieures. Les turbots mis à jeun dans des conditions expérimentales identiques présentent tous la même valeur d'excrétion endogène. Cette valeur est le reflet du métabolisme standard pour chaque taille de turbot maintenu à une température donnée (le métabolisme standard est défini par l'activité métabolique d'un poisson acclimaté à une température stable, en l'absence de stimuli et maintenu à jeun).

Guérin-Ancey (1976) décrit le même phénomène de diminution de l'ammoniaque excrété au cours du jeûne pour le bar de 5 à 250 grammes. Mais lors de son étude, le niveau de stabilisation n'est atteint qu'entre le 6^{ème} et le 8^{ème} jour de jeûne.

Les valeurs de l'excrétion endogène d'ammoniaque, (estimées par le calcul de la moyenne des valeurs d'excrétion à jeun des 6 bacs de chaque expérience sur les 3 derniers jours) données dans le tableau 2, permettent une comparaison avec les ordonnées à l'origine des droites de régression. Les valeurs calculées par les régressions linéaires sont très proches des valeurs mesurées pour les turbots à jeun. Ce modèle donne donc une très bonne estimation de l'intensité du métabolisme d'entretien du turbot de 10 et 100 grammes aux différentes températures étudiées. Quand on dépasse la température à laquelle les turbots sont acclimatés, leur métabolisme standard augmente.

Figure 8 : PART EXOGENE D'AMMONIAQUE EXCRETEE EN FONCTION DE L'AZOTE INGERE

TURBOTS DE 10 GRAMMES



EQUATIONS DE REGRESSION :

12°C : EXA = 0,148 NI - 13,78 $r^2 = 0,975$

16°C : EXA = 0,196 NI - 1,68 $r^2 = 0,989$

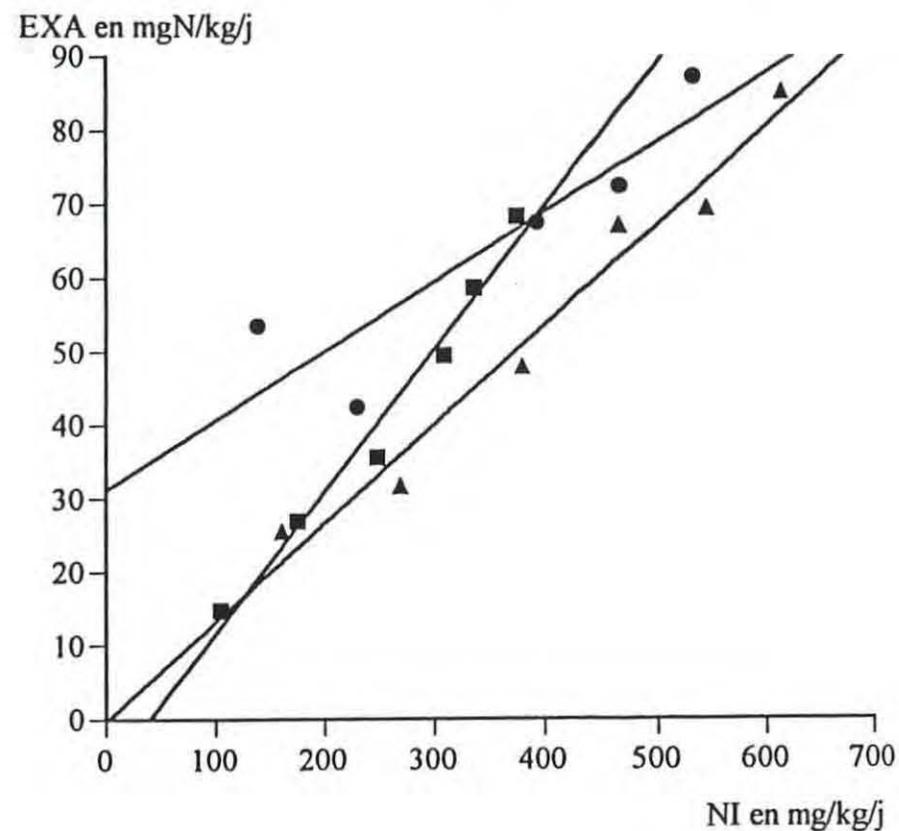
20°C : EXA = 0,084 NI - 14,98 $r^2 = 0,896$

■ EXA 12

● EXA 16

▲ EXA 20

TURBOTS DE 100 GRAMMES



EQUATIONS DE REGRESSION :

12°C : EXA = 0,193 NI - 7,73 $r^2 = 0,977$

16°C : EXA = 0,094 NI + 31,18 $r^2 = 0,802$

20°C : EXA = 0,134 NI - 0,284 $r^2 = 0,969$

Tableau 2 : les valeurs d'excrétion sont exprimées en mg N/kg PC/j

Conditions d'élevage	N ammoniacal : excrétion à jeun	
	mesurée	prédite par le modèle
10g 12°C	49,3	35,5
10g 16°C	80,5	78,8
10g 20°C	81,6	66,6
100g 12°C	15,2	7,5
100g 16°C	37,5	68,6
100g 20°C	36,9	36,6

La connaissance de cette valeur est importante pour le transport des poissons. En effet l'ammoniaque excrétée par des poissons maintenus dans un faible volume d'eau non renouvelée peut avoir de graves effets toxiques. Lorsqu'un transport est prévu, les poissons sont en général mis à jeun quelques jours avant, ce qui permet de diminuer l'excrétion azotée. On voit ici que la durée du jeûne peut être réduite à 24 heures pour le turbot, avec une excrétion résiduelle réduite de moitié par rapport à l'excrétion des mêmes turbots nourris.

Les valeurs d'excrétion à jeun permettent de calculer la part de l'ammoniaque excrétée due au métabolisme exogène (EXA : figure 8), c'est à dire à l'assimilation et au catabolisme des protéines alimentaires. Comme l'excrétion d'azote ammoniacal étudiée ci-dessus, l'excrétion exogène ne semble pas augmenter avec la température.

Les taux d'excrétion horaire varient très peu entre les bacs d'une même expérience, malgré le passé différent de chaque lot. Le profil de l'excrétion horaire étudié est obtenu par le calcul de la moyenne des concentrations de sortie de tous les bacs. Les profils d'excrétion ammoniacale à jeun, pour chaque expérience (courbes à jeun des figures 4 et 5), ne montrent pas une cyclicité comparable à celle des poissons nourris. Les fluctuations du niveau d'excrétion sont faibles, sur l'ensemble des 24 heures. Le niveau d'excrétion horaire d'ammoniaque varie, comme la valeur de l'excrétion journalière, inversement à la taille des turbots considérés et dans le même sens que la température. La valeur de l'excrétion horaire moyenne à jeun peut être déduite avec une précision convenable par la simple division par 24 de l'excrétion journalière.

EXCRETION HORAIRE D'UREE : CYCLE SUR 24 HEURES TURBOTS DE 10 GRAMMES

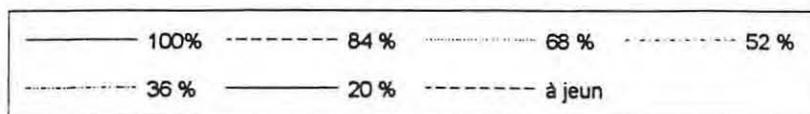
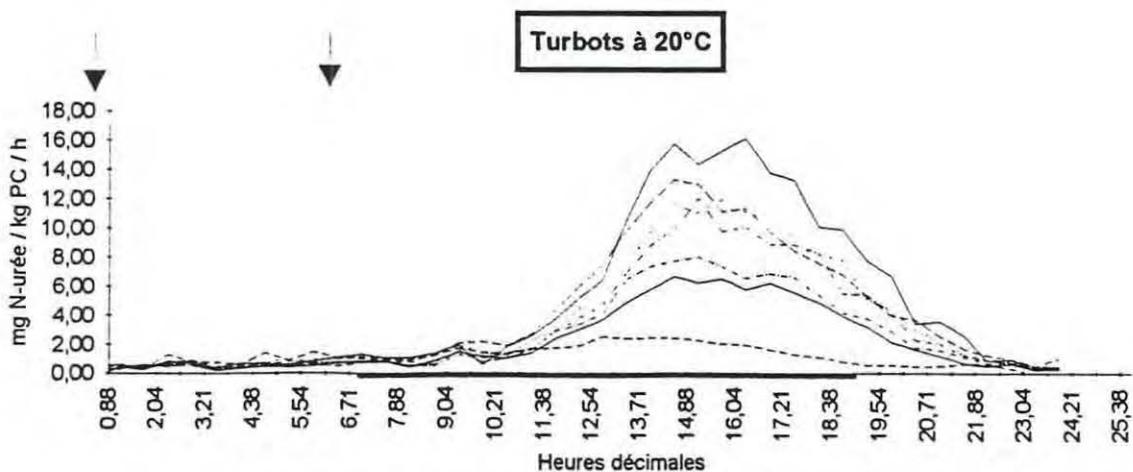
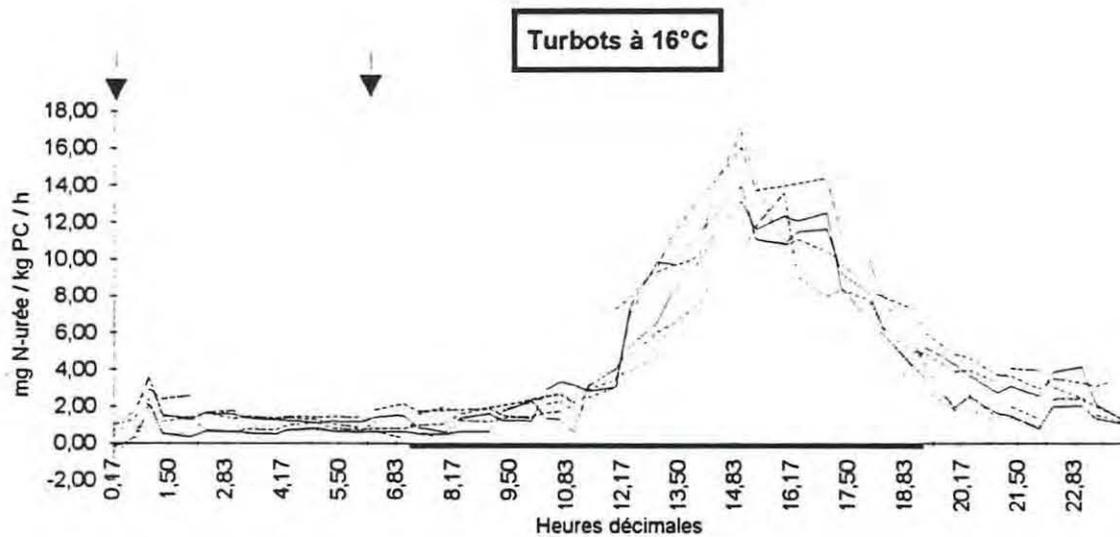
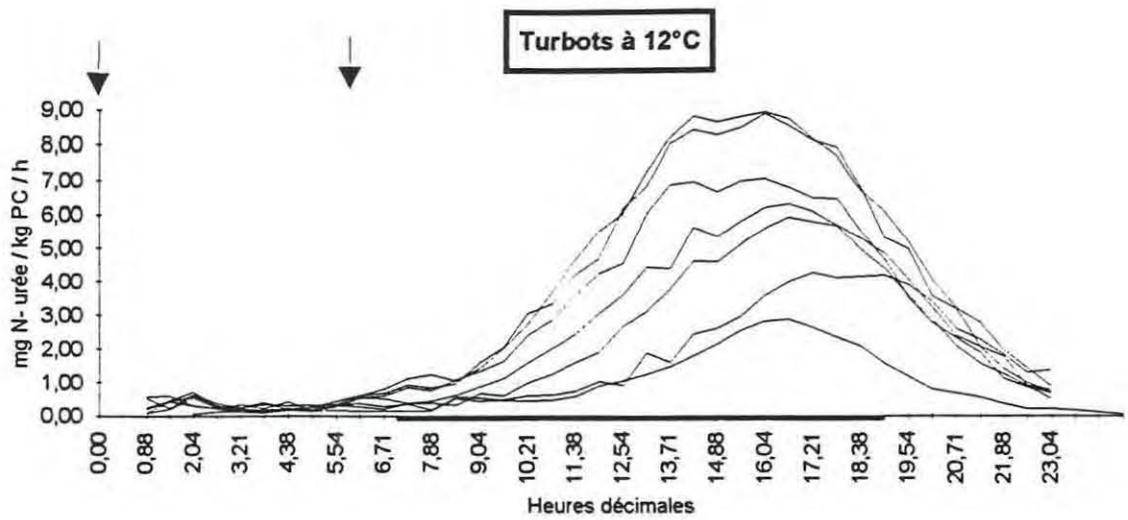


Figure 9 : Les flèches représentent le moment de distribution des repas. La partie noircie représente la phase obscure de la photopériode.

EXCRETION HORAIRE D'UREE : CYCLE SUR 24 HEURES TURBOTS DE 100 GRAMMES

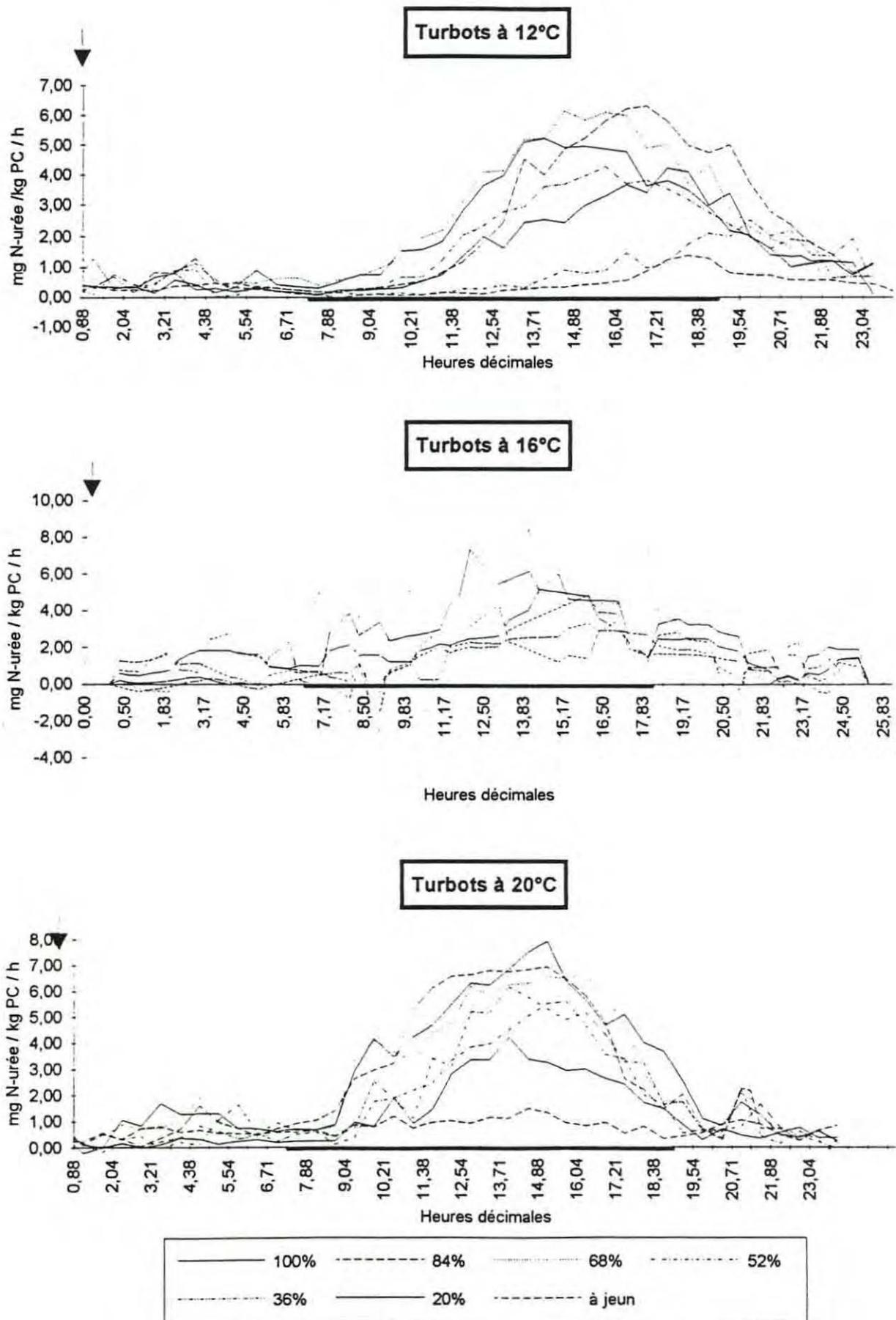


Figure 10 : Les flèches représentent le moment de distribution du repas. La partie noircie représente la phase obscure de la photopériode.

I.2-UREE

I.2-a. MODALITES D'EXCRETION

Les profils de l'excrétion horaire d'urée sur 24 heures sont donnés dans les figures 9 et 10.

Quelle que soit l'expérience, un pic d'excrétion d'urée est observé la nuit. Le niveau de base est très faible tout au long de la journée, mais une augmentation du taux horaire d'excrétion d'urée semble faire suite à l'extinction des lumières. Ainsi le maximum du pic est atteint en moyenne au bout de 7 heures d'obscurité. Le moment d'apparition du pic ne semble pas lié à l'heure de distribution du repas.

D'autres équipes du Centre IFREMER de Brest, utilisant une photopériode différente, ont retrouvé un pic d'excrétion nocturne chez le turbot, atteignant son maximum 6 à 8 heures après la tombée de la nuit (Burel, communication personnelle).

Ce phénomène original n'a jamais été décrit chez d'autres espèces. Pour les études précédentes, l'excrétion d'urée a toujours été décrite comme constante au cours de la journée (Brett et Zala, 1975, chez le Saumon sockeye) ou sans cyclicité apparente (Kaushik, 1980, chez la truite, et Tàtrai, 1981, chez la brème).

La valeur du maximum observé est fonction pour chaque expérience de la ration distribuée. L'excrétion suit le gradient de ration de la même manière que pour l'excrétion d'ammoniaque. Le délai d'apparition du pic semble lui aussi influencé par le volume de la ration, mais dans le sens inverse de l'ammoniaque : pour l'urée l'augmentation de la taille de la ration accélère l'apparition du pic.

La valeur maximale du pic, chez les poissons nourris *ad libitum*, augmente avec la température et diminue quand la taille des poissons augmente. L'excrétion d'urée suit donc la même loi que le métabolisme du poisson : elle augmente avec la température.

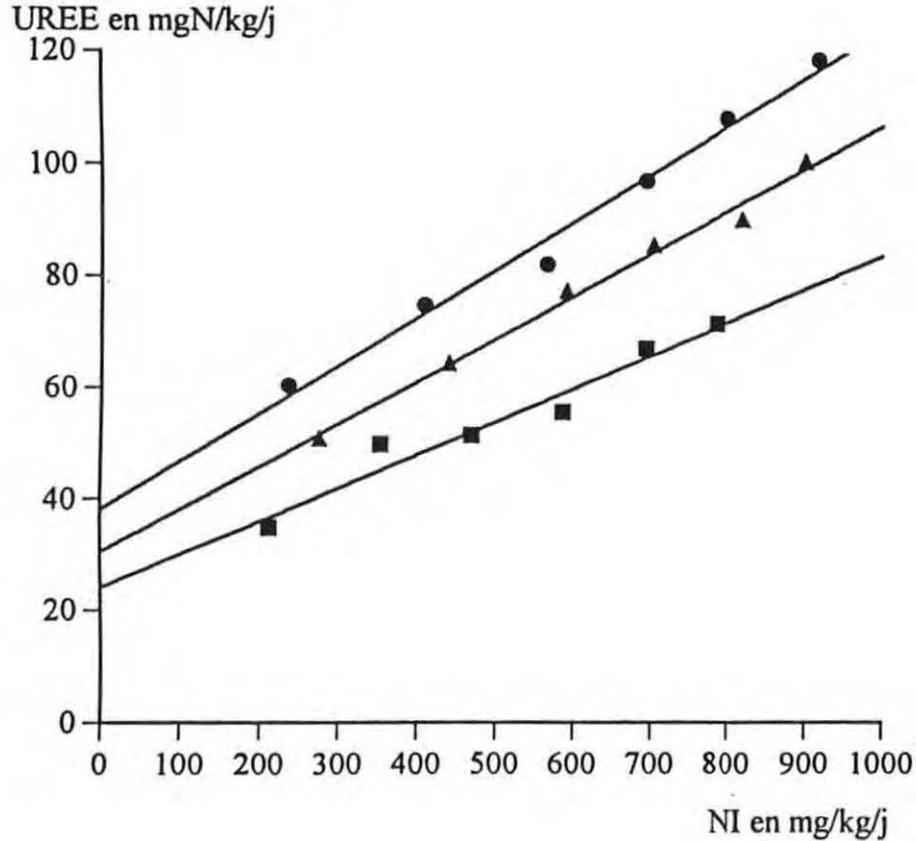
I.2-b. VALEUR DE L'EXCRETION JOURNALIERE

La figure 11 représente le taux journalier d'excrétion d'azote uréique (NU) en fonction de la quantité d'azote ingérée. La corrélation linéaire est très forte entre ces deux paramètres quelles que soient la taille et la température d'élevage ($r^2 > 0,95$). La régression linéaire s'est avérée être le meilleur modèle traduisant l'excrétion d'urée par rapport à l'azote ingéré.

Les bacs nourris à la ration *ad libitum* présentent une excrétion d'urée égale en moyenne à 11% de la quantité d'azote ingérée. Ce ratio de l'excrétion sur l'ingéré est élevé par rapport aux valeurs retrouvées pour les espèces précédemment étudiées. Le tableau 1 (voir I.1-b.) montre que l'ensemble des poissons présente en général une excrétion uréique faible. Le turbot apparaît donc, ici encore, comme une espèce originale.

Figure 11 : UREE EXCRETEE EN FONCTION DE L'AZOTE INGERE

TURBOTS DE 10 GRAMMES



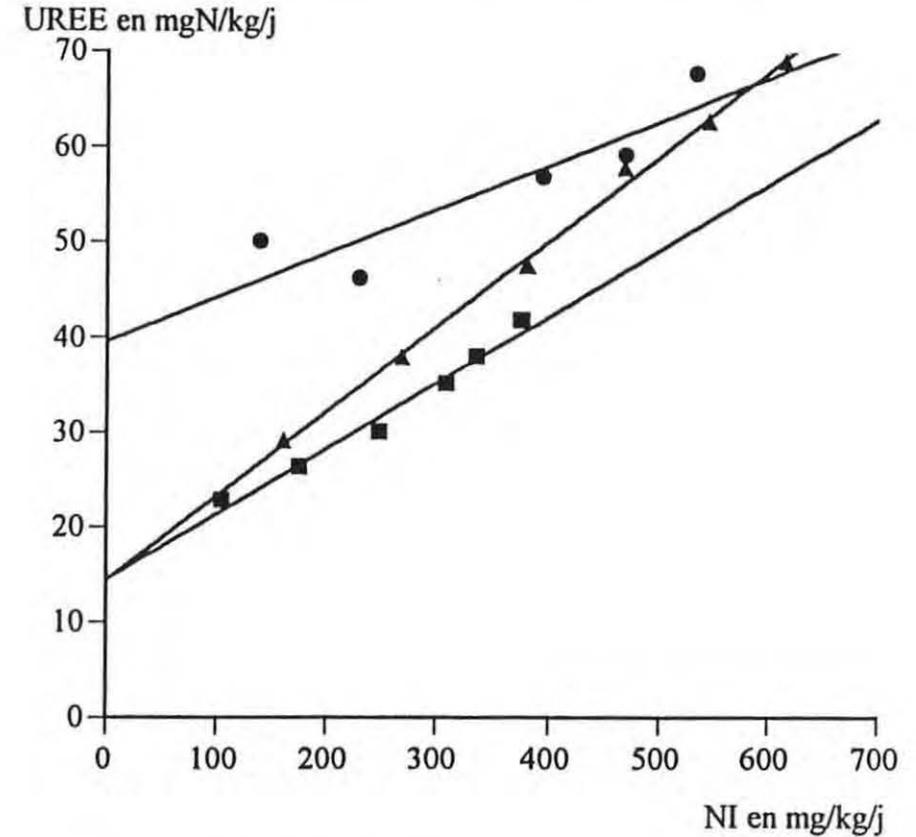
EQUATIONS DE REGRESSION :

12°C : UREE = 0,0598 NI + 24,03 $r^2 = 0,954$

16°C : UREE = 0,0862 NI + 38,07 $r^2 = 0,986$

20°C : UREE = 0,0767 NI + 30,44 $r^2 = 0,991$

TURBOTS DE 100 GRAMMES



■ URE 12

● URE 16

▲ URE 20

EQUATIONS DE REGRESSION :

12°C : UREE = 0,0693 NI + 14,42 $r^2 = 0,978$

16°C : UREE = 0,0462 NI + 39,57 $r^2 = 0,825$

20°C : UREE = 0,0893 NI + 14,34 $r^2 = 0,996$

Le taux d'excrétion journalier d'urée chez le turbot est dépendant de la taille de la ration ingérée : 11 à 20 % de l'NI. Le ratio NU/NI augmente quand la taille de la ration diminue: ceci est retrouvé chez la plie japonaise, à des taux plus faibles : 2 à 4 % de l'azote ingéré (Kikuchi, 1991), ainsi que chez le bar chez lequel Guérin-Ancey (1976) décrit une relation entre l'urée excrétée et l'azote ingéré.

Il existe rarement de telles relations : chez l'esturgeon (*Acipenser ruthenus*), Gershanovitch et Pototskij (1992) mettent en évidence une différence entre le niveau d'excrétion d'urée des poissons nourris et celui des poissons à jeun, mais ils considèrent tout de même l'excrétion d'urée comme indépendante de la taille de la ration.

Le taux d'excrétion de N-urée représente donc en moyenne 50% du taux d'excrétion de TAN. De manière générale, chez les téléostéens, l'ammoniaque et l'urée représentent à eux seuls environ 90% de l'azote total excrété (Jobling, 1981, Fivelstad *et al*, 1990). Chez le turbot, l'azote uréique représente en moyenne 35% de l'azote excrété. Cette valeur de 35% pour notre étude est encore plus éloquente que la seule valeur absolue d'excrétion de N-urée. En comparaison avec celle des autres poissons comme la plie japonaise (19% : Kikuchi, 1991) ou la truite arc-en-ciel (14% : Kaushik, 1980), le turbot excrète beaucoup d'urée.

Les valeurs d'excrétion à 16°C sont toujours plus élevées qu'à 12 et 20°C. Cela suppose que l'excrétion d'urée, même si elle ne semble pas influencée de manière linéaire par la température, subit quand même son influence ($p < 0,02$ pour la régression linéaire multiple).

La régression linéaire multiple effectuée pour l'urée nous permet de modéliser son excrétion sous la forme de l'équation suivante :

$$N.U = 7,85 \cdot 10^{-2} NI + 1,35 T - 10,41 \text{ Log } P + 19,5 \quad r^2 = 0,86 \quad (\text{Eq. 2})$$

I.2-c. TURBOTS A JEUN

Le profil d'excrétion d'urée à jeun présente lui aussi un pic nocturne, moins élevé que chez les turbots nourris, mais pourtant marqué. Cela confirmerait l'hypothèse selon laquelle l'excrétion d'urée ne serait pas liée uniquement à l'alimentation, mais est aussi induite par des facteurs du métabolisme. Comme pour l'ammoniaque, les valeurs d'excrétion varient peu d'un bac à l'autre, la moyenne de l'excrétion des six bacs a seule été retracée (voir figures 9 et 10).

L'évolution de l'excrétion des turbots à jeun est représentée dans la figure 12 .

Le niveau de l'excrétion endogène de NU met plus de temps à se stabiliser que celui du TAN : entre le deuxième et le cinquième jour l'excrétion d'urée montre une légère augmentation. Comme pour

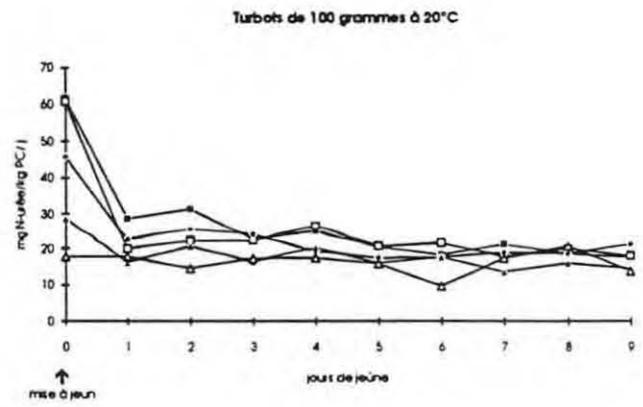
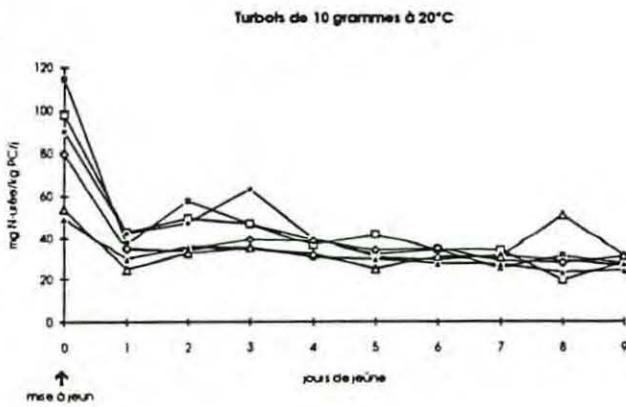
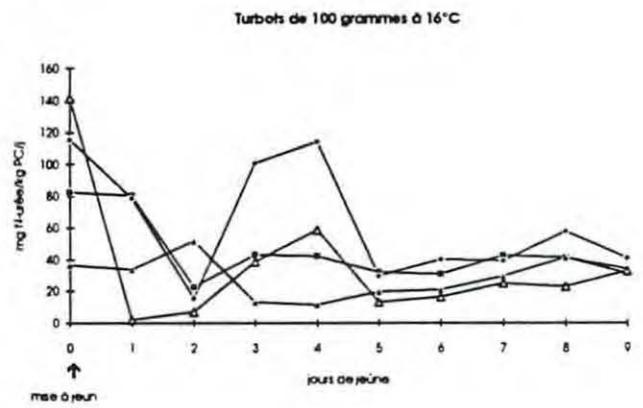
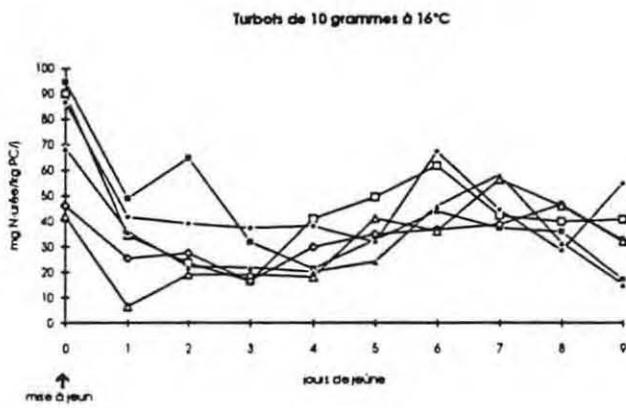
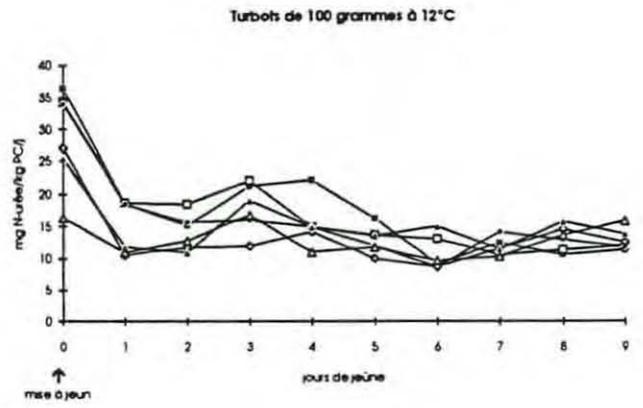
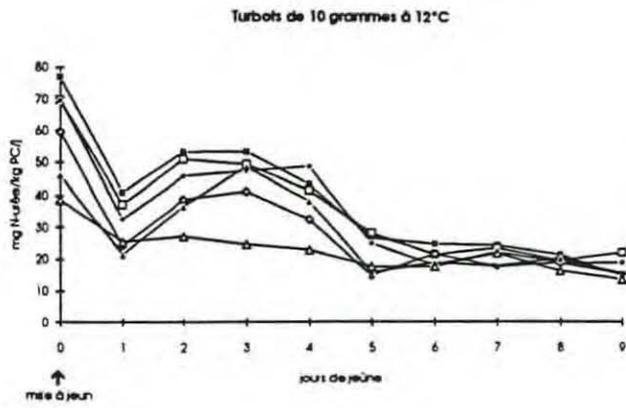
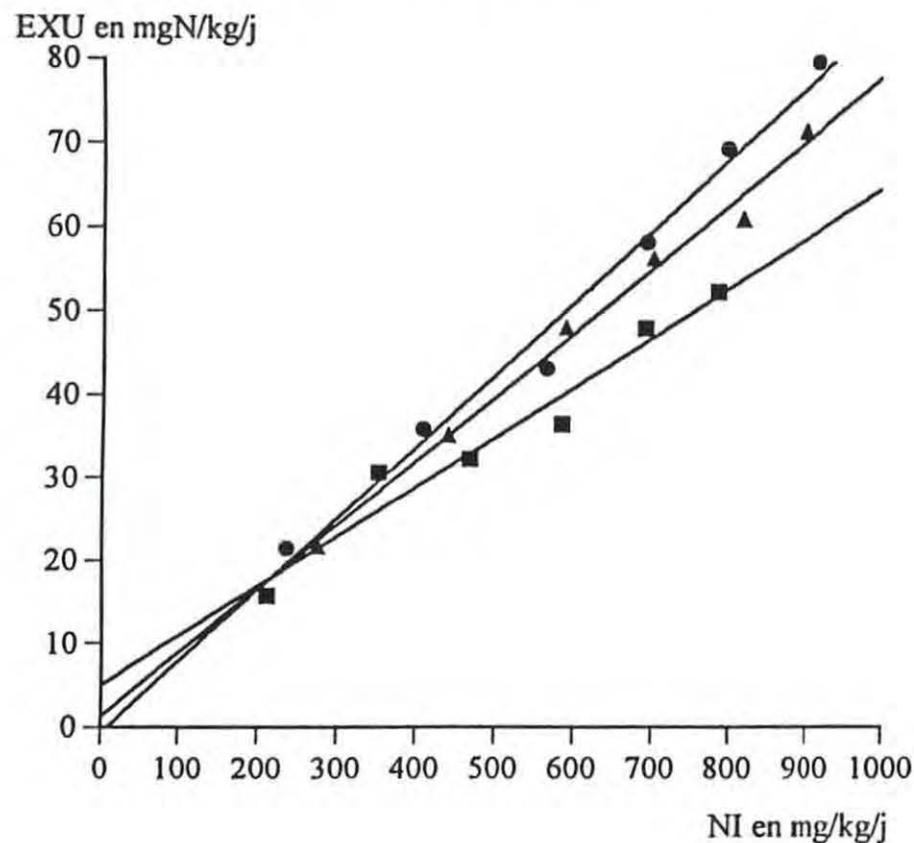


Figure 12: EVOLUTION DE L'EXCRETION D'UREE PENDANT LE JEÛNE

Figure 13 : PART EXOGENE D'UREE EXCRETEE EN FONCTION DE L'AZOTE INGERE

TURBOTS DE 10 GRAMMES



EQUATIONS DE REGRESSION :

12°C : $EXU = 0,0598 NI + 4,98$ $r^2 = 0,954$

16°C : $EXU = 0,0862 NI - 0,74$ $r^2 = 0,986$

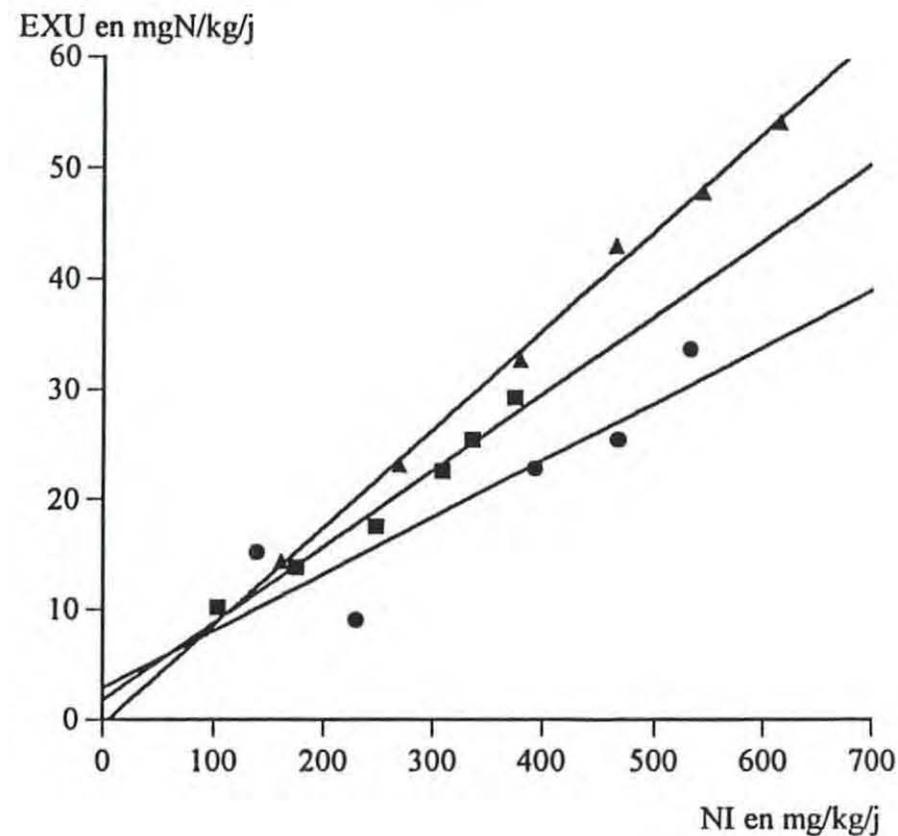
20°C : $EXU = 0,0768 NI + 1,27$ $r^2 = 0,991$

■ EXU 12

● EXU 16

▲ EXU 20

TURBOTS DE 100 GRAMMES



EQUATIONS DE REGRESSION :

12°C : $EXU = 0,0696 NI + 1,73$ $r^2 = 0,976$

16°C : $EXU = 0,0518 NI + 2,83$ $r^2 = 0,803$

20°C : $EXU = 0,0893 NI - 0,466$ $r^2 = 0,996$

l'excrétion d'ammoniaque, il ne semble pas exister de différence significative de l'excrétion d'urée des six bacs au bout de 10 jours de jeûne. Le tableau 3 montre que la valeur d'excrétion d'urée à jeun au bout de 10 jours reste dans le même ordre de grandeur que la valeur calculée par la régression linéaire pour une quantité d'azote ingérée nulle. Le modèle représenté par les régressions linéaire de l'excrétion d'azote uréique en fonction de l'azote ingéré semble valide.

Tableau 3 : les valeurs d'excrétion sont exprimées en mg N/kg PC/j

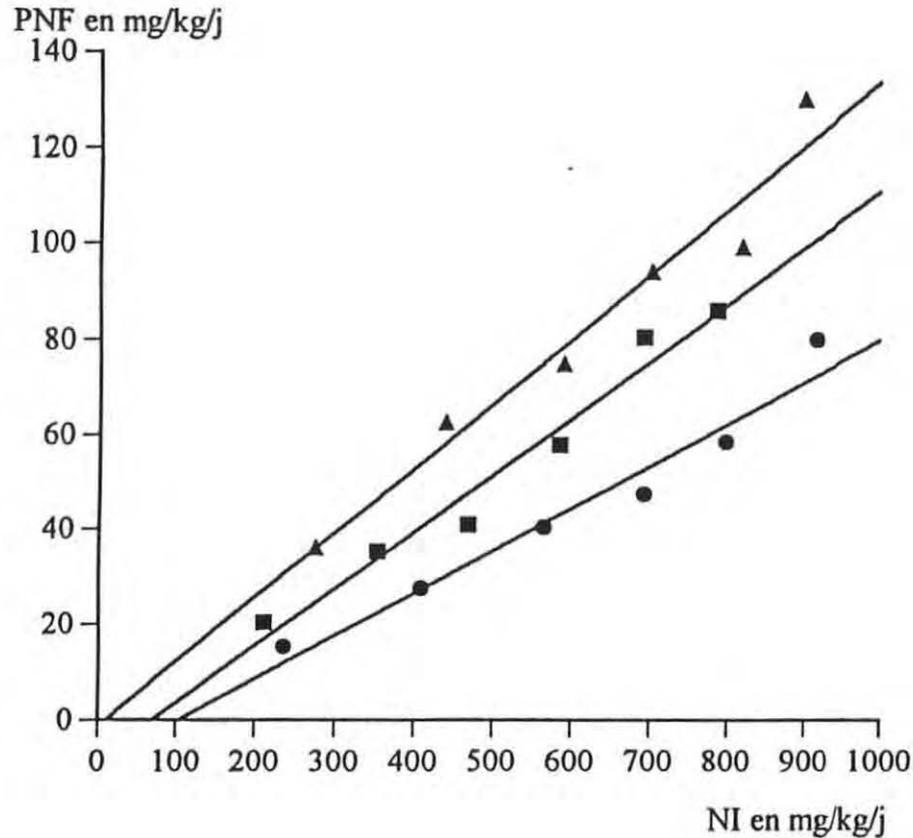
Conditions d'élevage	N uréique : excrétion à jeun	
	mesurée	prédite par le modèle
10g 12°C	19,0	24,0
10g 16°C	38,8	38,1
10g 20°C	29,1	30,4
100g 12°C	10,0	14,4
100g 16°C	34,9	39,6
100g 20°C	14,8	14,3

Chez les autres téléostéens étudiés (voir tableau 1), la valeur de l'excrétion d'urée à jeun est comparable à celle observée pour le turbot. Ainsi, chez le turbot, la valeur d'excrétion des poissons à jeun est le tiers de la valeur de l'excrétion des poissons nourris. C'est ce qu'on observe aussi chez les autres poissons cités en exemple.

De la même manière que pour l'ammoniaque, l'excrétion d'urée d'origine exogène peut être calculée. Elle est reportée dans la Figure 13 en fonction de la quantité d'azote ingérée. L'origine métabolique de l'urée étant encore inconnue chez le turbot, la part exogène d'urée excrétée n'apporte pas d'information utilisable en pratique. Ce point reste à explorer.

Figure 14 : AZOTE FECAL EN FONCTION DE L'AZOTE INGERE

TURBOTS DE 10 GRAMMES

EQUATIONS DE REGRESSION :

$$12^{\circ}\text{C} : \text{PNF} = 0,120 \text{ NI} - 8,51 \quad r^2 = 0,968$$

$$16^{\circ}\text{C} : \text{PNF} = 0,090 \text{ NI} - 9,32 \quad r^2 = 0,959$$

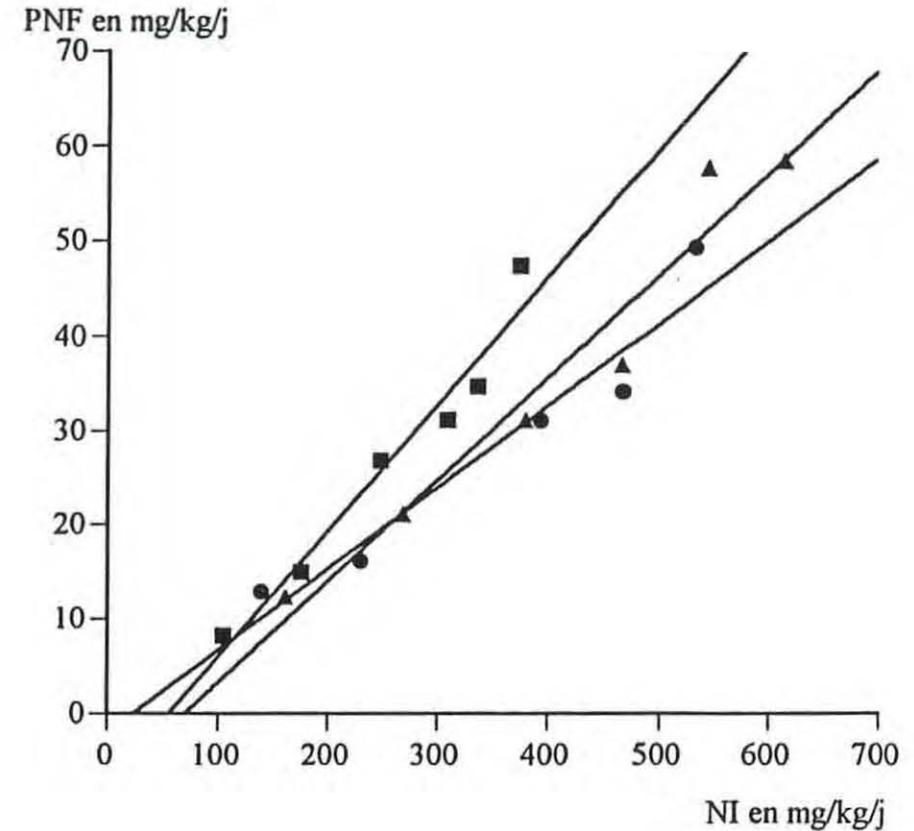
$$20^{\circ}\text{C} : \text{PNF} = 0,134 \text{ NI} - 1,34 \quad r^2 = 0,958$$

■ PNF 12

● PNF 16

▲ PNF 20

TURBOTS DE 100 GRAMMES

EQUATIONS DE REGRESSION :

$$12^{\circ}\text{C} : \text{PNF} = 0,134 \text{ NI} - 7,50 \quad r^2 = 0,958$$

$$16^{\circ}\text{C} : \text{PNF} = 0,087 \text{ NI} - 2,05 \quad r^2 = 0,935$$

$$20^{\circ}\text{C} : \text{PNF} = 0,108 \text{ NI} - 7,59 \quad r^2 = 0,951$$

II. REJETS D'AZOTE DANS LES FECES

II.1- REJETS FECAUX ET DIGESTIBILITE

Les pertes d'azote dans les fécès (PNF) sont exprimées en fonction de la quantité d'azote ingérée dans la figure 14.

Les quantités rejetées sont directement proportionnelles aux quantités d'azote ingérées. Les pentes des courbes sont très voisines. Ceci a déjà été montré chez la carpe (Steffens, 1989) et est à mettre en rapport avec une digestibilité constante quelle que soit la ration alimentaire. L'équation reliant les pertes d'azote dans les fécès à la ration ingérée s'écrit comme suit :

$$\text{PNF} = 1,14 \cdot 10^{-1} \text{NI} - 6,54 \quad r^2 = 0,81 \quad (\text{Eq. 3})$$

La figure 15 et l'analyse de variance à un facteur montrent en effet que la digestibilité de l'azote est constante non seulement quelle que soit la ration, mais aussi quelles que soient la taille des turbots et la température (pente de la régression non significativement différente de zéro). La valeur du CUDa est donc de $90,8 \pm 0,6 \%$ pour toutes les expériences. Cette valeur est très proche de celle calculée par plusieurs équipes de recherche (Nijhof, 1993).

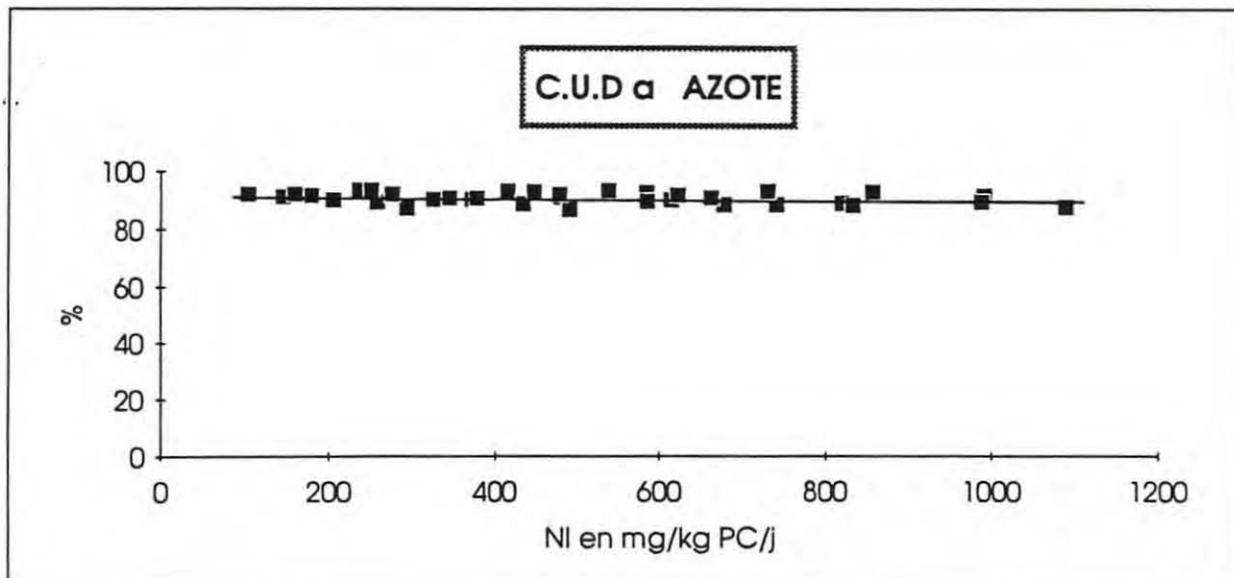


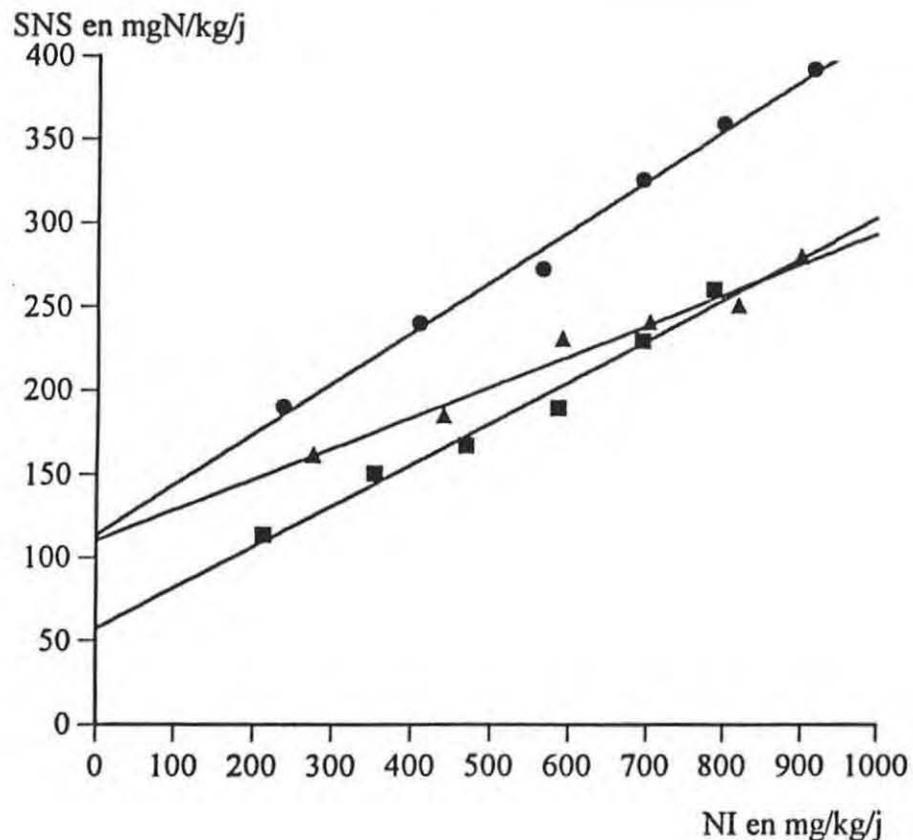
Figure 15 : Digestibilité des protéines en fonction de la ration.

L'équation de la droite de régression peut s'écrire : $\text{CUD} = - 0,0019 \text{NI} + 91,75 \quad r^2 = 0,069$

La valeur $t = - 1,56$ est inférieure à la valeur t de la table de Student à 34 degrés de liberté l'hypothèse d'égalité de la pente à la valeur zéro n'est donc pas rejetée.

Figure 16 : SOMME DE L'AZOTE SOLUBLE REJETE EN FONCTION DE L'AZOTE INGERE

TURBOTS DE 10 GRAMMES



EQUATIONS DE REGRESSION :

12°C : SNS = 0,248 NI + 57,30 $r^2 = 0,978$

16°C : SNS = 0,305 NI + 113,63 $r^2 = 0,993$

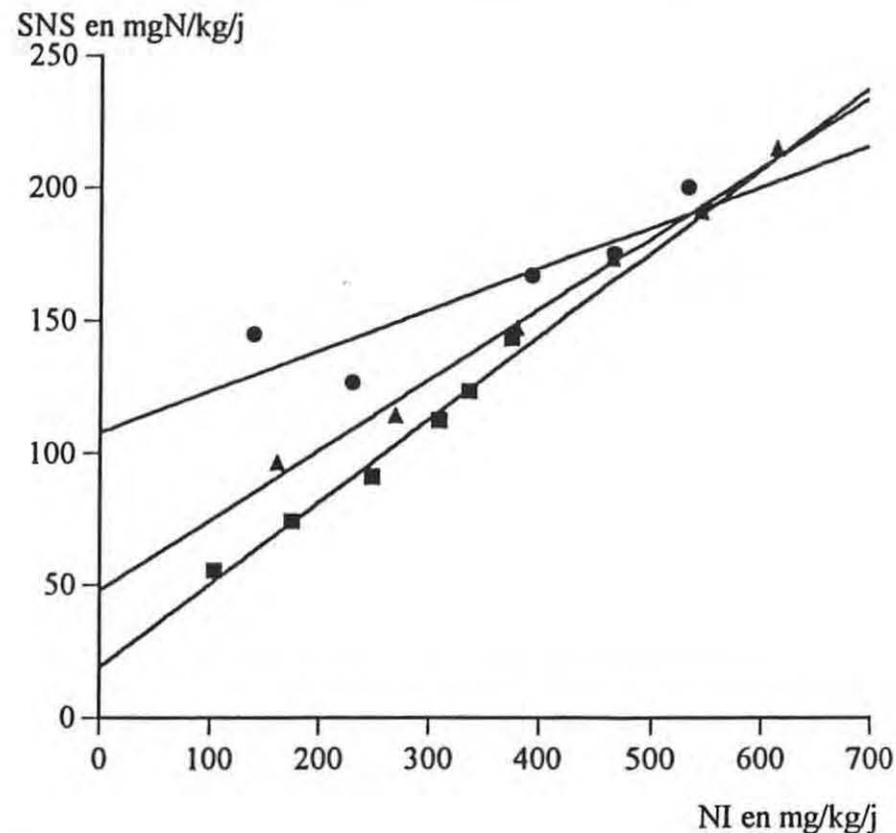
20°C : SNS = 0,185 NI + 110,43 $r^2 = 0,969$

■ SNS 12

● SNS 16

▲ SNS 20

TURBOTS DE 100 GRAMMES



EQUATIONS DE REGRESSION :

12°C : SNS = 0,313 NI + 18,96 $r^2 = 0,981$

16°C : SNS = 0,154 NI + 107,92 $r^2 = 0,802$

20°C : SNS = 0,266 NI + 47,87 $r^2 = 0,993$

D'après Steffens (1989), le CUD apparent varie avec la quantité de protéines ingérées aux faibles rations. Cette variation disparaît avec le calcul du CUD réel. De plus l'augmentation de température aurait un effet stimulateur de la digestibilité des protéines. Comme Steffens, Cho (1979) montre une différence pour le CUDa entre 18°C et la gamme de 9 à 15°C. Dans notre expérience ces variations ne sont pas mises en évidence.

II.2- AZOTE SOLUBLE DES FECES

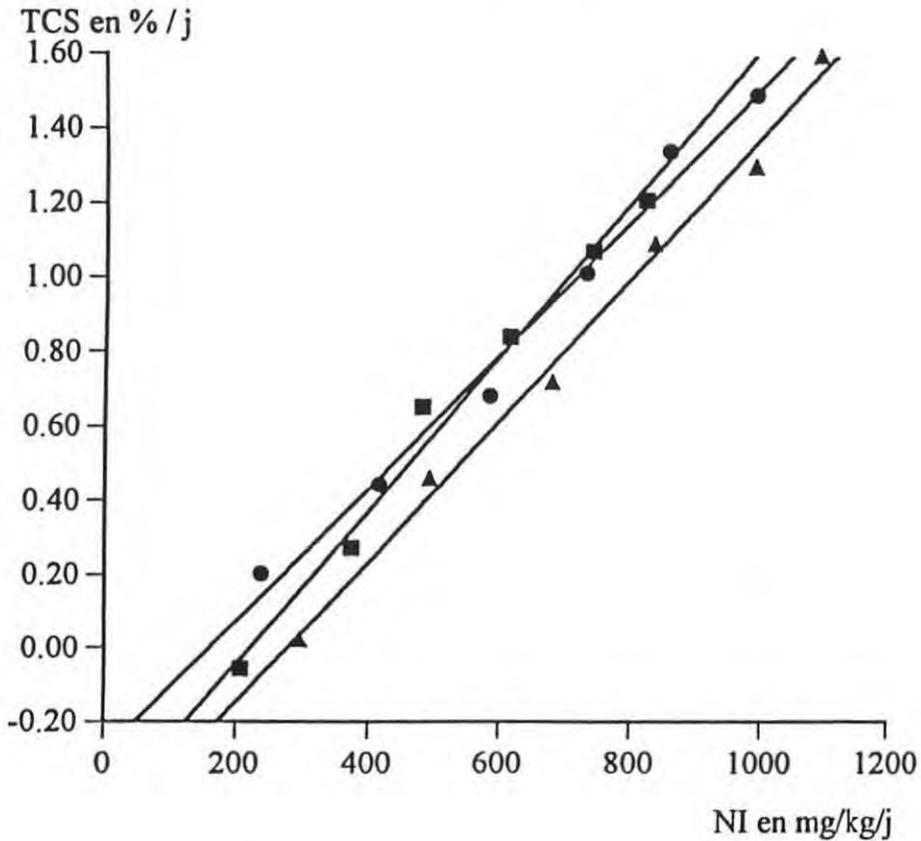
La partie soluble de l'azote contenu dans les fécès représente en moyenne 33% de l'ensemble des rejets fécaux. Ce fort pourcentage sous-entend une solubilisation très rapide qui limiterait la validité du CUD calculé et modifie la caractérisation classique des effluents piscicoles.

La quantité d'azote contenue dans le surnageant des fécès est additionnée à la quantité d'ammoniaque et d'urée excrétées. Le rejet total d'azote soluble qui en résulte est exprimé dans la figure 16, en fonction de la quantité d'azote ingérée. Pour les lots ayant reçu la ration alimentaire maximale, ce rejet représente de 31 à 45% de la quantité d'azote ingérée.

Cette valeur représente donc la totalité de l'azote présent en solution dans l'eau de rejet des élevages de turbots c'est à dire la partie dont le rejet ne peut pas être évité en pratique, par simple décantation ou filtrage. La dispersion des rejets solubles augmente leur importance. Leur existence n'est peut-être pas assez été prise en compte avant notre étude pour la caractérisation de l'impact des fermes piscicoles sur l'environnement.

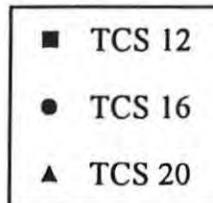
Figure 17 : TAUX DE CROISSANCE SPECIFIQUE EN FONCTION DE L'AZOTE INGERE

TURBOTS DE 10 GRAMMES

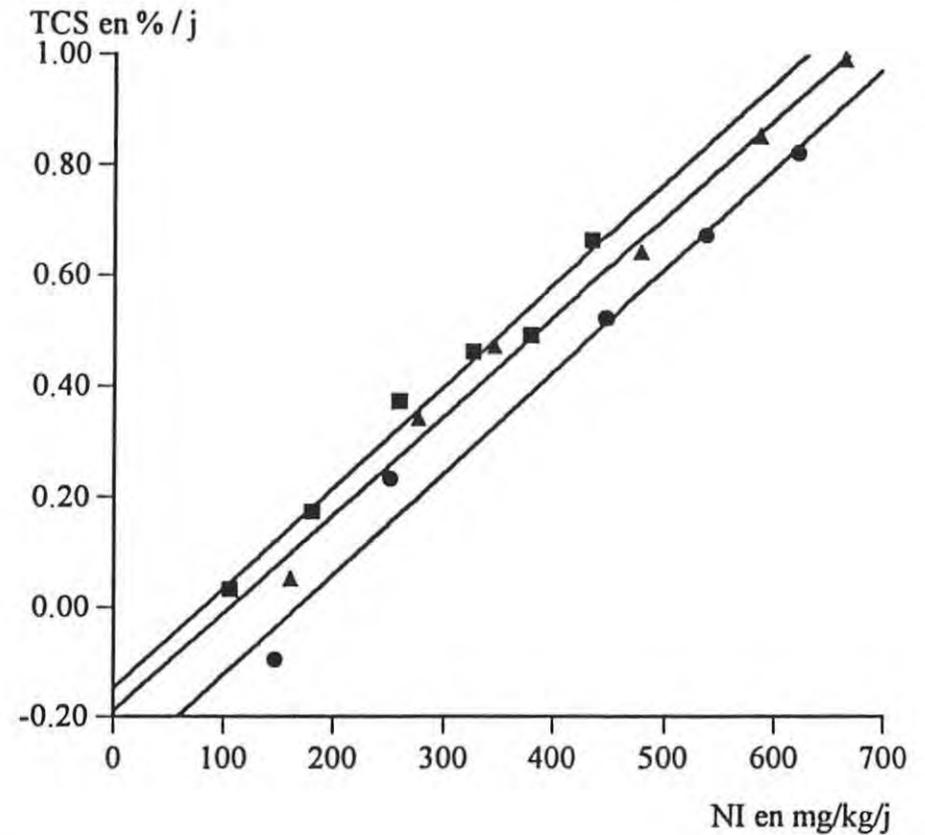


EQUATIONS DE REGRESSION :

12°C : TCS = 0,002075 NI - 0,458 $r^2 = 0,986$
 16°C : TCS = 0,001796 NI - 0,285 $r^2 = 0,985$
 20°C : TCS = 0,001908 NI - 0,529 $r^2 = 0,993$



TURBOTS DE 100 GRAMMES



EQUATIONS DE REGRESSION :

12°C : TCS = 0,001824 NI - 0,150 $r^2 = 0,979$
 16°C : TCS = 0,001830 NI - 0,308 $r^2 = 0,982$
 20°C : TCS = 0,001781 NI - 0,190 $r^2 = 0,990$

III.1- CROISSANCE GLOBALE DES POISSONS

Les expériences ont une durée limitée à 30 jours. La croissance des turbots sur cette période est donc considérée comme linéaire. La biomasse a été calculée chaque jour grâce à une régression linéaire entre les valeurs des pesées initiale et finale.

L'absence de pesées intermédiaires interdit la réalisation d'une courbe de croissance, mais la linéarité est un modèle convenable pour l'estimation de la biomasse. En effet la comparaison avec un modèle exponentiel pour le calcul de la biomasse moyenne ne donne pas de différences significatives.

III.1-a. TAUX DE CROISSANCE SPECIFIQUE

Le taux de croissance spécifique (TCS) est donné en fonction de la ration alimentaire dans la figure 17.

Pour une composition similaire de l'aliment distribué ad libitum, Caceres-Martinez *et al.* (1984) obtiennent une valeur de TCS quasiment identique (1,8% pour des turbots de 10 grammes à 18°C contre 1,6% dans l'expérience 10/20 de notre étude).

Quelles que soient la taille des individus et la température d'élevage, la pente des droites de régression semble la même pour chaque expérience. Mais la variance des pentes étant de 5.10^{-9} , aucune conclusion ne peut être tirée. Il semble en effet difficile d'affirmer que l'âge des poissons (donc le poids) n'a aucune influence sur le taux de croissance de ceux-ci.

Nijhof (1993), qui examine les données de diverses expériences menées par plusieurs équipes de recherche, montre qu'une relation linéaire existe entre le TCS et la quantité de protéines ingérée.

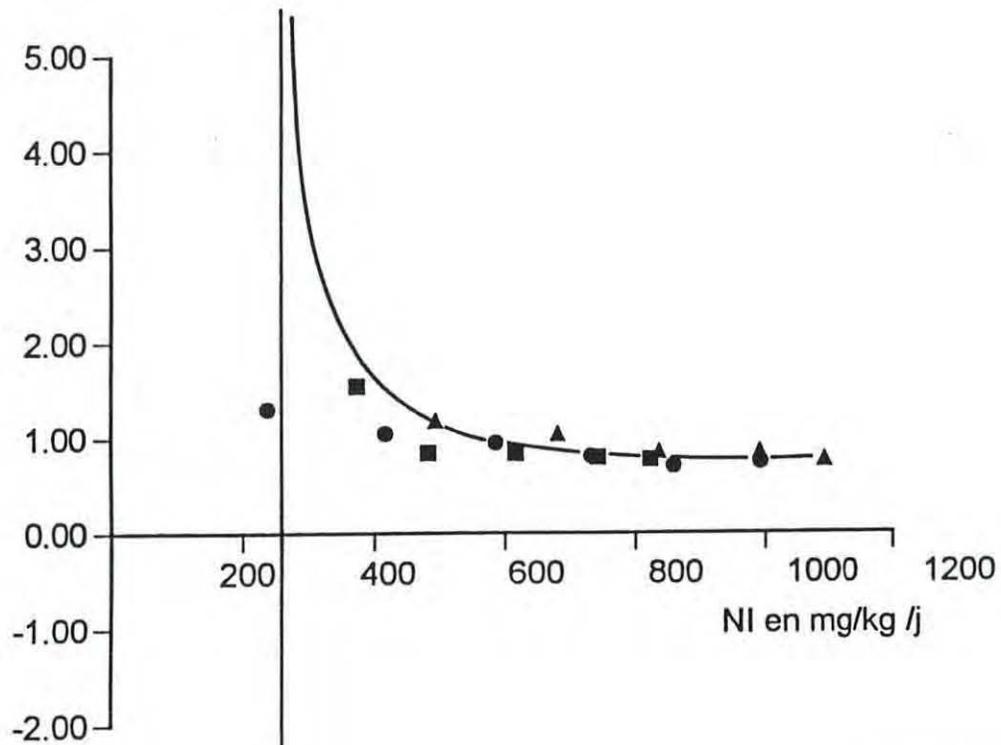
From et Rasmussen (1984) ont également retrouvé une relation similaire entre l'augmentation de poids et l'aliment ingéré, et l'ont exprimé selon la formule :

$$\frac{dP}{dt} = (\text{aliment ingéré}) - (\text{féces}) - (\text{excrétion}).$$

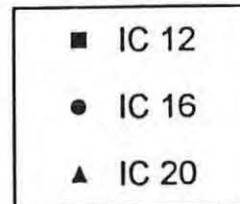
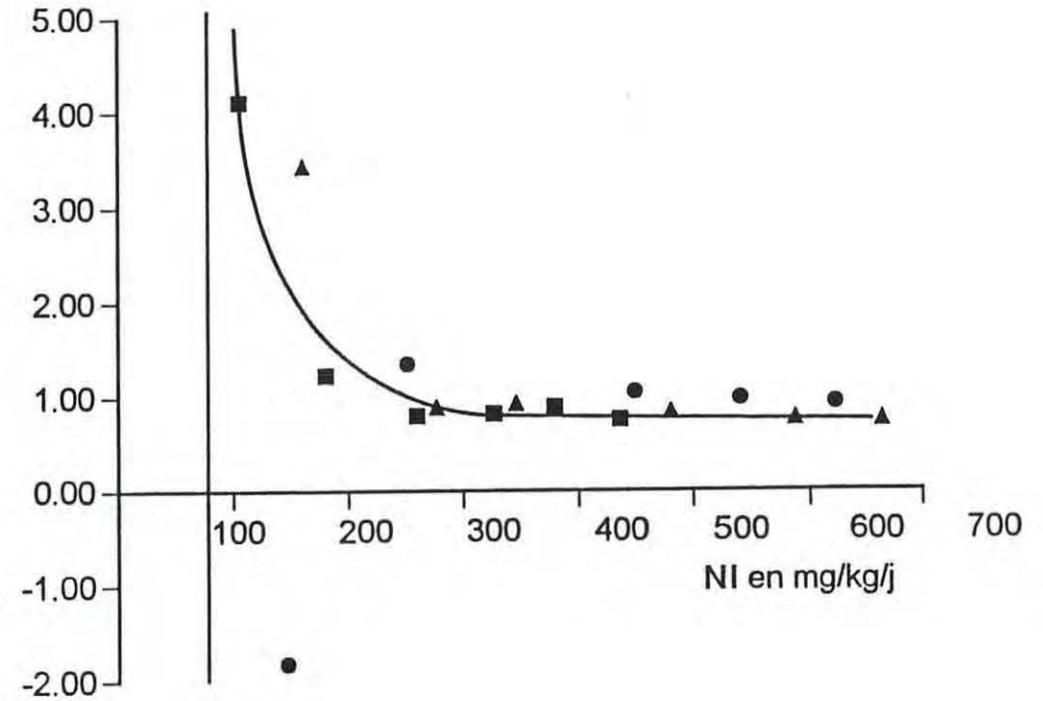
Une étude précédente (Scherrer et Person-Le Ruyet, 1983) a montré que le TCS variait du simple au double entre 10 et 20°C. Les auteurs en concluaient donc que le grossissement du juvénile de turbot est étroitement corrélé à la température (la température optimale pour la croissance se situant entre 16 et 19°C). La température joue en effet un rôle activateur de la croissance mais vraisemblablement par le seul biais de l'augmentation de l'ingestion volontaire d'aliment. Il est en effet généralement admis qu'une

Figure 18 : INDICE DE CONVERSION EN FONCTION DE L'AZOTE INGERE

TURBOTS DE 10 GRAMMES



TURBOTS DE 100 GRAMMES



augmentation de la température stimule le métabolisme et, augmentant le besoin énergétique, stimule aussi l'appétit (Jobling, 1993).

Le modèle le plus significatif pour l'expression du TCS en fonction de la ration est linéaire. Il est admis que la courbe représentant le TCS en fonction de la ration s'infléchit aux valeurs élevées de celle-ci (Brett, 1979), le modèle le plus approprié pour les rations plus faibles restant la droite. Une explication serait que, pour chacune de nos expériences, les turbots n'ingèrent pas la quantité d'aliment correspondant à l'*ad libitum* vrai (maximum dans des conditions optimales). Les conditions dans lesquelles ils sont placés (les paniers grillagés peuvent être un facteur de stress) auraient une influence sur leur appétit.

Le taux de croissance spécifique est donc influencé par la ration (NI), la température (T) et le poids (P). L'équation suivante a été utilisée pour modéliser le TCS dans la gamme de température et de poids de notre étude ($r^2 = 0,97$) :

$$\text{TCS} = 1,83 \cdot 10^{-3} \text{ NI} - 1,28 \cdot 10^{-2} \text{ T} + 1,54 \cdot 10^{-1} \text{ Log P} - 3,44 \cdot 10^{-1} \quad (\text{Eq. 4})$$

III.1-b. INDICE DE CONVERSION

Les valeurs calculées de l'indice de conversion alimentaire (IC) pour chaque expérience, ainsi que son allure théorique, sont donnés dans la figure 18.

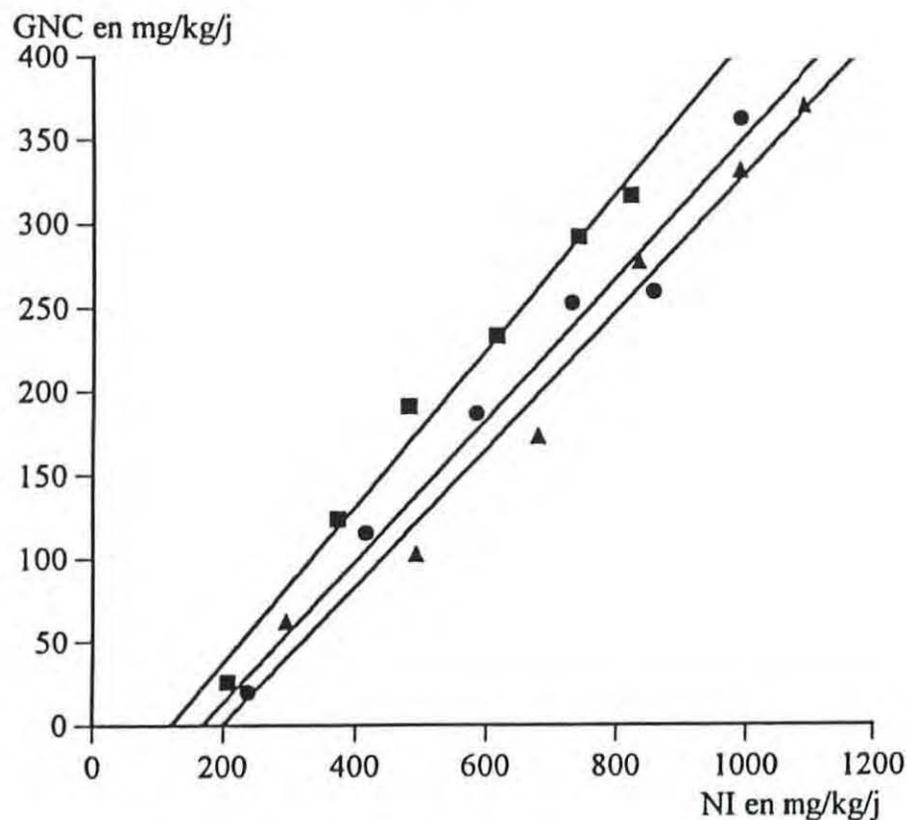
Pour les plus grandes rations, IC est constant (la pente de la régression linéaire de IC en fonction de NI est de $2 \cdot 10^{-3}$) et a la même valeur (0,8) quelle que soit l'expérience considérée. La température et la taille des animaux ne semblent donc pas influencer l'indice de conversion pour les turbots nourris à plus de 50% de l'*ad libitum*.

Les lots les moins nourris (20 à 30% de l'*ad libitum*) ont un indice de conversion qui augmente très rapidement quand la ration alimentaire diminue même faiblement aux alentours d'une valeur critique. Il est généralement admis que l'indice de conversion suit une courbe de forme hyperbolique (Brett, 1979), présentant une asymptote située à la valeur de la ration d'entretien (courbe théorique de la figure 18). La ration d'entretien est la valeur de la ration qui correspond exactement aux besoins métaboliques du poisson. Nourris en dessous de cette ration, les poissons perdent du poids.

La ration d'entretien a une valeur qui semble différente selon la température et la taille considérées. Ceci est en accord avec les connaissances acquises en physiologie : le taux métabolique est en effet affecté par la taille des individus et par la température de l'eau.

Figure 19 : GAIN D'AZOTE DANS LA CARCASSE EN FONCTION DE L'AZOTE INGERE

TURBOTS DE 10 GRAMMES

EQUATIONS DE REGRESSION :

$$12^{\circ}\text{C} : \text{GNC} = 0,469 \text{ NI} - 56,41 \quad r^2 = 0,986$$

$$16^{\circ}\text{C} : \text{GNC} = 0,425 \text{ NI} - 71,45 \quad r^2 = 0,976$$

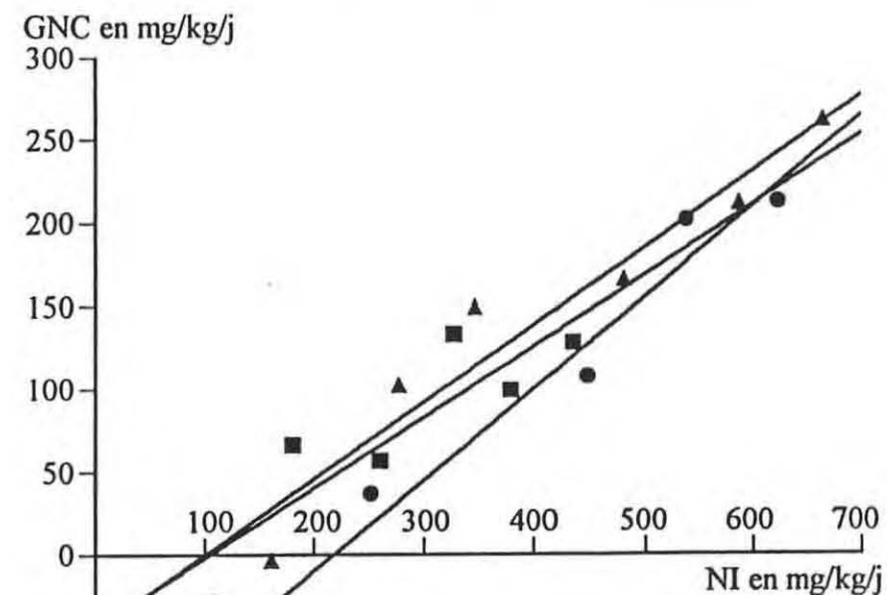
$$20^{\circ}\text{C} : \text{GNC} = 0,413 \text{ NI} - 81,78 \quad r^2 = 0,978$$

■ GNC 12

● GNC 16

▲ GNC 20

TURBOTS DE 100 GRAMMES

EQUATIONS DE REGRESSION :

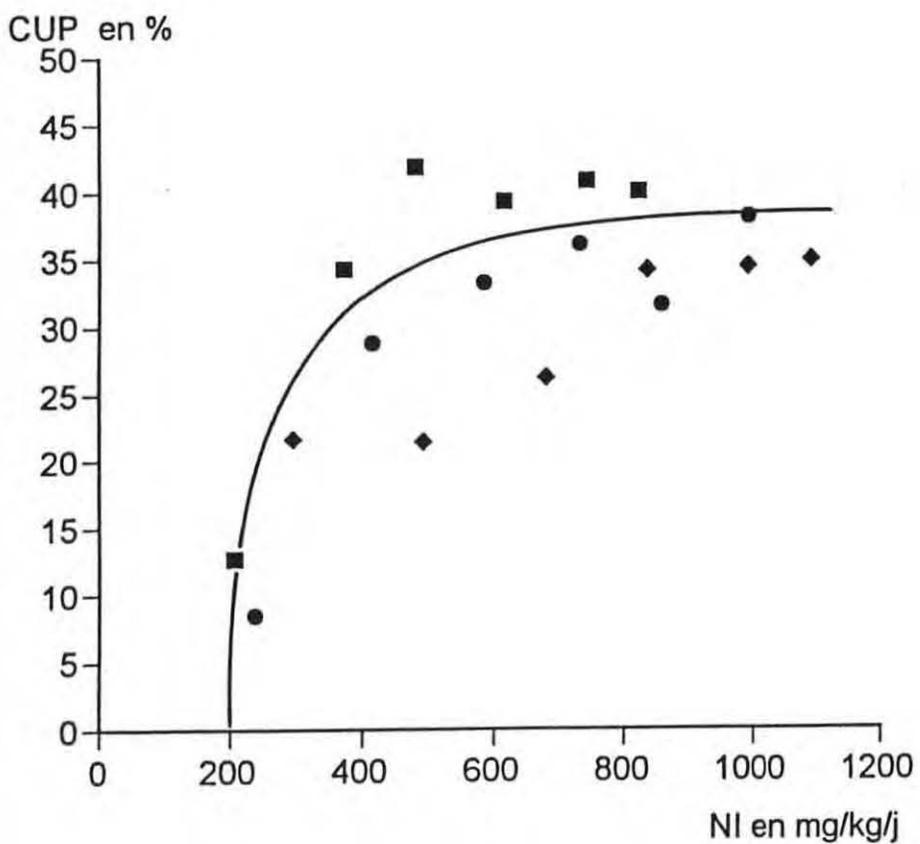
$$12^{\circ}\text{C} : \text{GNC} = 0,427 \text{ NI} - 45,11 \quad r^2 = 0,773$$

$$16^{\circ}\text{C} : \text{GNC} = 0,551 \text{ NI} - 120,34 \quad r^2 = 0,969$$

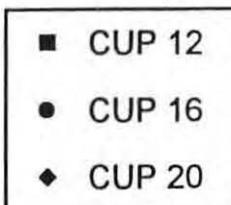
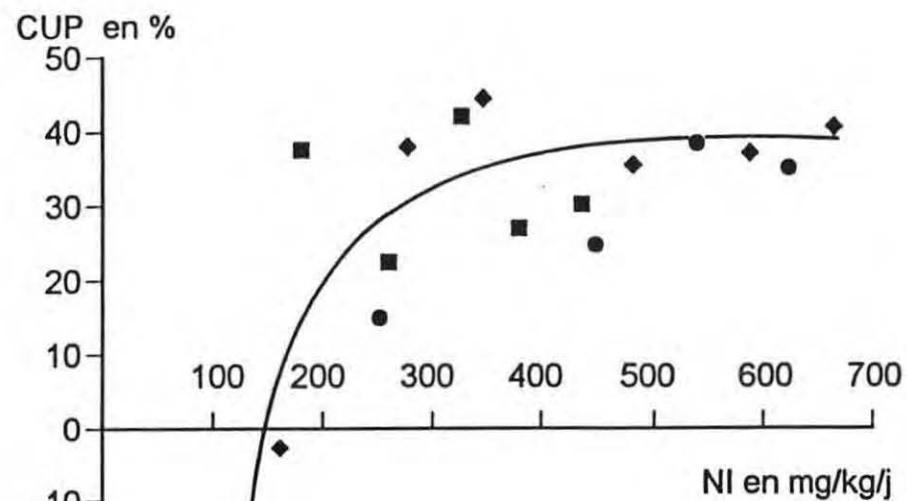
$$20^{\circ}\text{C} : \text{GNC} = 0,463 \text{ NI} - 46,70 \quad r^2 = 0,930$$

Figure 20 : COEFFICIENT D'UTILISATION PROTEIQUE EN FONCTION DE L'AZOTE INGERE

TURBOTS DE 10 GRAMMES



TURBOTS DE 100 GRAMMES



III.2- AZOTE

III.2-a. AZOTE FIXE DANS L'ORGANISME

Le gain d'azote dans les carcasses durant la phase d'alimentation (GNC) est exprimé en fonction de la quantité d'azote ingérée, dans la figure 19.

Il augmente de façon régulière avec la ration ingérée. L'intersection des droites de régression avec l'axe des abscisses se fait à la valeur de la ration d'entretien définie dans le paragraphe précédent. L'ordonnée à l'origine donne une estimation de la perte d'azote à jeun pour chaque température. Cette perte d'azote a aussi été estimée par le dosage dans les carcasses. Mais la durée du jeûne, ainsi que la pesée et l'échantillonnage des poissons à jeun sont tels que la variabilité des mesures est grande. Certaines valeurs semblant aberrantes (certains lots de turbots ont exprimé un dépôt d'azote pendant le jeûne), aucune conclusion ne peut être portée.

La température et la taille ne semblent pas influencer de manière simple sur le gain d'azote par rapport à la quantité ingérée. Une régression linéaire multiple confirme cette hypothèse : ni le poids ni la température n'ont un effet significatif sur le GNC (respectivement $p > 0,09$ et $p > 0,12$) qui ne dépend que de la ration :

$$\text{GNC} = 4,07 \cdot 10^{-1} \text{NI} - 47,16 \qquad R^2 = 0,92 \qquad (\text{Eq. 5})$$

Le dépôt d'azote dans l'organisme se ferait toujours de la même façon quelle que soit la température. Dans les limites de notre étude, le métabolisme de croissance ne semble donc pas affecté par la température.

III.2-b. COEFFICIENT D'UTILISATION PROTÉIQUE

Le contenu des carcasses en azote permet de calculer le coefficient d'utilisation des protéines (CUP) qui est rapporté à la quantité d'azote ingérée dans la figure 20.

Pour les rations les plus fortes, le CUP atteint des valeurs voisines de 40%. Par contre on observe une nette diminution de la valeur du CUP aux basses rations. En reprenant la formule du CUP, on montre que l'équation du CUP en fonction de la quantité d'azote ingérée, sur le domaine étudié peut être assimilé à une hyperbole :

$$\text{CUP} = \frac{\text{GNC}}{\text{NI}}$$

or $\text{GNC} = a \text{NI} + b$ donc $\text{CUP} = a + \frac{b}{\text{NI}}$

Cette évolution est la même pour chaque expérience.

En outre les valeurs maximales du CUP sont similaires quelles que soient la taille et la température (figure 20), ce qui est en accord avec le résultat précédant. L'azote fixé dans l'organisme, reflet de l'anabolisme azoté, est indépendant de ces deux paramètres.

Tableau 4 : BILAN DE MASSE DE L'AZOTE (en grammes)

	AZOTE INGERE	AZOTE CARCASSE INITIALE	AZOTE TOTAL ENTREES	AZOTE CARCASSE FINALE	PERTES AZOTE FECES	PERTES AZOTE AMMONIACAL	PERTES AZOTE UREE	AZOTE TOTAL SORTIES	
	g	g	g	g	g	g	g	g	%
10 g	66,2	57,9	124	84,5	7,2	13,4	6,0	111,1	89,5
	61,6	61,0	123	86,2	6,9	12,1	5,8	111,0	90,6
	49,1	60,8	110	80,1	4,8	9,6	4,7	99,2	90,3
	36,2	58,9	95	74,1	3,2	7,8	4,0	89,1	93,7
12 °C	27,6	61,2	89	70,7	2,7	7,0	3,9	84,2	94,8
	14,2	59,5	74	61,3	1,4	4,7	2,3	69,8	94,7
10 g	67,0	59,4	126	84,9	5,7	18,7	8,7	118,0	93,4
	57,0	59,6	117	77,6	4,1	17,1	7,7	106,5	91,3
	45,9	58,8	105	75,3	3,1	14,6	6,4	99,5	95,0
	35,4	59,0	94	70,7	2,5	11,4	5,1	89,8	95,1
16 °C	25,7	62,1	88	69,5	1,8	10,1	4,7	86,0	97,9
	12,9	56,2	69	57,3	0,8	6,9	3,3	68,3	98,8
10 g	113,7	61,5	175	101,4	14,0	17,3	12,7	145,5	83,1
	104,2	65,8	170	101,9	10,8	17,8	11,5	142,0	83,5
	87,0	67,4	154	97,3	10,1	15,4	10,6	133,5	86,4
	62,6	63,9	126	80,4	7,2	13,2	8,2	108,9	86,1
20 °C	41,8	61,4	103	70,4	5,5	8,9	6,1	90,9	88,1
	24,1	63,8	88	69,0	3,1	8,1	4,5	84,7	96,3
100 g	38,5	58,9	97	70,5	4,3	8,6	4,3	87,6	89,9
	34,1	61,8	96	71,0	3,2	7,5	3,8	85,5	89,2
	27,7	58,7	86	70,3	2,7	5,8	3,2	82,0	94,8
	21,8	58,9	81	63,7	2,3	4,5	2,6	73,1	90,7
12 °C	14,8	59,7	75	65,3	1,3	3,6	2,2	72,3	97,0
	8,8	62,2	71	59,5	0,7	2,5	1,9	64,7	91,1
100 g	64,8	63,9	129	86,6	7,1	15,1	12,9	121,7	94,6
	55,4	65,0	120	86,3	6,3	13,0	11,4	117,0	97,1
	39,7	57,5	97	67,2	4,4	10,5	8,6	90,8	93,5
	22,0	60,0	82	63,2	2,4	7,6	7,4	80,6	98,3
16 °C	11,2	55,6	67	51,6	0,7	7,3	6,0	65,7	98,3
100 g	56,2	55,5	112	78,3	5,1	11,2	6,3	100,8	90,3
	49,4	56,6	106	74,9	5,0	9,6	5,7	95,2	89,8
	39,8	57,9	98	72,0	3,2	8,8	4,9	88,9	91,0
	26,7	56,2	83	68,1	2,5	6,0	3,3	79,8	96,3
20 °C	22,2	59,2	81	67,7	1,7	5,7	3,1	78,2	96,0
	11,2	54,3	65	53,9	0,9	4,4	2,0	61,2	93,4

Tableau 5 : BILAN DE MASSE EN POURCENTAGE DES ENTREES D'AZOTE

	AZOTE INGERE %	AZOTE CARCASSE INITIALE %	AZOTE TOTAL ENTREES %	AZOTE CARCASSE FINALE %	PERTES AZOTE FECES %	PERTES AZOTE AMMONIACA %	PERTES AZOTE UREE %	AZOTE TOTAL SORTIES %
10 g 12 °C	53,3	46,7	100	68,0	5,8	10,8	4,8	89,5
	50,2	49,8	100	70,3	5,7	9,9	4,7	90,6
	44,7	55,3	100	72,9	4,4	8,8	4,2	90,3
	38,1	61,9	100	77,9	3,4	8,2	4,2	93,7
	31,1	68,9	100	79,5	3,0	7,9	4,4	94,8
	19,3	80,7	100	83,2	1,9	6,4	3,2	94,7
10 g 16°C	53,0	47,0	100	67,2	4,5	14,8	6,9	93,4
	48,9	51,1	100	66,6	3,5	14,7	6,6	91,3
	43,9	56,1	100	72,0	3,0	13,9	6,1	95,0
	37,5	62,5	100	75,0	2,7	12,0	5,4	95,1
	29,3	70,7	100	79,1	2,0	11,5	5,3	97,9
	18,7	81,3	100	82,9	1,2	9,9	4,7	98,8
10 g 20°C	64,9	35,1	100	57,9	8,0	9,9	7,3	83,1
	61,3	38,7	100	59,9	6,4	10,5	6,7	83,5
	56,3	43,7	100	63,0	6,6	10,0	6,9	86,4
	49,5	50,5	100	63,5	5,7	10,4	6,5	86,1
	40,5	59,5	100	68,2	5,3	8,6	5,9	88,1
	27,5	72,5	100	78,5	3,5	9,3	5,1	96,3
100 g 12°C	39,6	60,4	100	72,4	4,4	8,8	4,4	89,9
	35,6	64,4	100	74,0	3,3	7,8	4,0	89,2
	32,1	67,9	100	81,4	3,1	6,7	3,6	94,8
	27,0	73,0	100	79,0	2,9	5,5	3,3	90,7
	19,9	80,1	100	87,6	1,7	4,8	3,0	97,0
	12,4	87,6	100	83,9	1,0	3,6	2,7	91,1
100 g 16°C	50,3	49,7	100	67,3	5,5	11,7	10,0	94,6
	46,0	54,0	100	71,6	5,2	10,8	9,5	97,1
	40,9	59,1	100	69,2	4,6	10,9	8,8	93,5
	26,8	73,2	100	77,1	2,9	9,3	9,0	98,3
	16,8	83,2	100	77,3	1,1	11,0	9,1	98,3
100 g 20°C	50,3	49,7	100	70,1	4,6	10,0	5,6	90,3
	46,6	53,4	100	70,7	4,7	9,1	5,4	89,8
	40,7	59,3	100	73,7	3,2	9,0	5,0	91,0
	32,2	67,8	100	82,1	3,0	7,2	4,0	96,3
	27,3	72,7	100	83,0	2,1	7,0	3,8	96,0
	17,2	82,8	100	82,4	1,3	6,6	3,1	93,4

IV. BILANS AZOTES

IV.1- BILANS DE MASSE

Ces bilans ont été dressés pour chaque expérience : Tableaux 4 (bilan en grammes) et 5 (bilan en pourcentage de l'azote total entré). Ils permettent de contrôler l'efficacité des méthodes de mesures des effluents de l'installation.

Le pourcentage de récupération allant de 83 à 99% suivant le taux de rationnement, on peut estimer que les méthodes de récupération et de dosage des effluents utilisées sont satisfaisantes.

De plus ceci nous permet d'affirmer que la part d'azote éventuellement excrétée sous une forme différente de l'ammoniaque et de l'urée, est inférieure à 10%. Ce qui justifie les approximations réalisées lors de l'élaboration du protocole expérimental (pas de dosage de l'azote total dans les effluents liquides) et valide la méthode de mesure malgré ses imprécisions.

VI.2- DEVENIR DE L'AZOTE INGÉRÉ

Présenté dans les tableaux 6 et 7, ce type de bilan rend compte des effluents uniquement dûs à l'alimentation des poissons. Comme nous l'avons vu, les rejets sont influencés directement par la ration ingérée. La température et la taille des poisson ne jouent en fait que sur la quantité ingérée volontairement. Ces deux paramètres n'ont un rôle important, dans nos expériences, pratiquement que pour la détermination au cours de la phase d'acclimatation de l'ingéré volontaire maximum (cet *ad libitum* représente la ration 100%).

Ce bilan est donc essentiel puisqu'il prend en compte le facteur le plus important, soit la quantité d'azote ingérée. Mais la validité en est moins grande puisque le taux de récupération de l'azote est inférieur au précédent (70 à 93%). De plus le calcul du pourcentage de récupération est faussé par les valeurs négatives (les poissons qui perdent de l'azote dans la carcasse expriment un pourcentage qui ne doit pas être pris en compte.).

Tableau 6 : DEVENIR DE L'AZOTE INGERE (en pourcentages)

PARAMETRES D'ELEVAGE	ration % du PC	GAIN DANS LA CARCASSE %	PERTES DANS LES FECES %	PERTES AZOTE AMMONIACAL %	PERTES AZOTE UREIQUE %	AZOTE TOTAL RECUPERE %
10 g	0,96	40,1	10,9	20,2	9,1	80,2
	0,87	40,9	11,3	19,6	9,4	81,2
12 °C	0,72	39,4	9,8	19,6	9,5	78,2
	0,56	41,9	9,0	21,7	11,0	83,4
	0,44	34,2	9,8	25,3	14,1	83,4
	0,24	12,6	10,1	33,2	16,5	72,3
10 g	1,13	38,2	8,4	27,9	13,0	87,5
	0,98	31,6	7,1	30,0	13,5	82,3
16°C	0,84	36,1	6,8	31,8	14,0	88,7
	0,67	33,3	7,2	32,1	14,5	87,0
	0,48	28,8	6,8	39,1	18,2	92,9
	0,27	8,4	6,6	53,3	25,4	93,6
10 g	1,24	35,1	12,4	15,2	11,2	73,9
	1,12	34,7	10,4	17,1	11,0	73,1
20°C	0,95	34,4	11,7	17,7	12,2	75,9
	0,77	26,3	11,4	21,1	13,1	71,9
	0,56	21,5	13,1	21,3	14,6	70,5
	0,33	21,7	12,6	33,7	18,5	86,5
100 g	0,51	30,1	11,2	22,2	11,1	74,6
	0,44	26,9	9,4	21,9	11,3	69,5
12°C	0,38	41,9	9,8	20,9	11,4	84,0
	0,30	22,3	10,6	20,4	12,1	65,5
	0,21	37,5	8,4	24,0	15,1	85,0
	0,12	-29,8	7,8	28,6	21,8	28,5
100 g	0,77	35,1	10,9	23,3	19,9	89,2
	0,67	38,4	11,3	23,4	20,7	93,8
16°C	0,56	24,6	11,2	26,6	21,6	84,0
	0,31	14,7	10,9	34,7	33,5	93,8
	0,18	-35,1	6,3	65,1	53,8	90,1
100 g	0,75	40,6	9,1	19,8	11,2	80,8
	0,66	37,1	10,1	19,5	11,5	78,2
20°C	0,54	35,5	7,9	22,2	12,4	78,0
	0,45	44,4	9,2	22,3	12,5	88,4
	0,31	37,9	7,8	25,5	14,1	85,3
	0,18	-2,8	7,8	38,7	18,0	61,8

Tableau 7 : DEVENIR DE L'AZOTE INGERE (détail)

PARAMETRES D'ELEVAGE	ration % du PC	GAIN DANS LA CARCASSE %	PERTES DANS LES FECES %	PERTES SOUS FORME D'AMMONIAQUE		PERTES SOUS FORME D'UREE		AZOTE TOTAL RECUPERE %
				EXOGENE	ENDOGENE	EXOGENE	ENDOGENE	
10 g	0,96	40,1	10,9	13,9	6,3	6,6	2,4	80,2
	0,87	40,9	11,3	12,5	7,1	6,7	2,7	81,2
	0,72	39,4	9,8	11,2	8,4	6,2	3,3	78,2
	0,56	41,9	9,0	11,1	10,5	6,9	4,1	83,4
	0,44	34,2	9,8	11,3	14,0	8,7	5,4	83,4
12 °C	0,24	12,6	10,1	9,8	23,4	7,4	9,0	72,3
10 g	1,13	38,2	8,4	19,1	8,8	8,7	4,3	87,5
	0,98	31,6	7,1	19,9	10,1	8,7	4,8	82,3
	0,84	36,1	6,8	20,2	11,6	8,4	5,6	88,7
	0,67	33,3	7,2	17,9	14,2	7,6	6,9	87,0
	0,48	28,8	6,8	19,4	19,7	8,7	9,5	92,9
16°C	0,27	8,4	6,6	19,3	34,0	9,0	16,4	93,6
10 g	1,24	35,1	12,4	6,2	9,1	7,9	3,2	73,9
	1,12	34,7	10,4	7,1	10,0	7,5	3,6	73,1
	0,95	34,4	11,7	6,1	11,6	8,0	4,1	75,9
	0,77	26,3	11,4	7,3	13,8	8,1	4,9	71,9
	0,56	21,5	13,1	2,7	18,6	8,0	6,6	70,5
20°C	0,33	21,7	12,6	4,0	29,7	7,9	10,6	86,5
100 g	0,51	30,1	11,2	18,1	4,1	8,4	2,7	74,6
	0,44	26,9	9,4	17,4	4,5	8,3	3,0	69,5
	0,38	41,9	9,8	16,0	4,9	8,1	3,2	84,0
	0,30	22,3	10,6	14,3	6,1	8,1	4,0	65,5
	0,21	37,5	8,4	15,3	8,7	9,3	5,7	85,0
12°C	0,12	-29,8	7,8	14,0	14,6	12,2	9,6	28,5
100 g	0,77	35,1	10,9	16,3	7,0	13,4	6,5	89,2
	0,67	38,4	11,3	15,4	8,0	13,2	7,4	93,8
	0,56	24,6	11,2	17,1	9,5	12,8	8,8	84,0
	0,31	14,7	10,9	18,4	16,3	18,4	15,2	93,8
	0,18	-35,1	6,3	38,2	26,8	28,8	25,0	90,1
100 g	0,75	40,6	9,1	13,8	6,0	8,8	2,4	80,8
	0,66	37,1	10,1	12,7	6,8	8,8	2,7	78,2
	0,54	35,5	7,9	14,3	7,9	9,2	3,2	78,0
	0,45	44,4	9,2	12,6	9,7	8,6	3,9	88,4
	0,31	37,9	7,8	11,7	13,7	8,6	5,5	85,3
20°C	0,18	-2,8	7,8	15,8	22,9	8,8	9,2	61,8

SYNTHESE

PROTOCOLE EXPERIMENTAL

A la mise en route du projet, chaque expérience devait être réalisée en triplicat. Mais il n'a été effectué aucune réplification. En effet, si des expériences peuvent être réitérées dans des conditions d'élevage similaires (température et taille des poissons), en aucun cas la ration ingérée ne sera identique entre des réplicats. On ne pourra donc jamais obtenir la même ration en pourcentage du poids corporel. La ration expérimentale est déterminée en fonction de la biomasse initiale. Or la croissance de deux lots, même nourris strictement de la même manière, n'est jamais identique, donc la ration ramenée à l'unité de poids corporel sera toujours différente.

De plus, sur chacun des six bacs d'une expérience, il n'est réalisé qu'un prélèvement de chaque paramètre étudié. L'absence complète de réplicats (au sein d'une expérience et par le renouvellement d'expériences) ne permet que d'effectuer des traitements statistiques descriptifs.

L'absence de plusieurs données à conditions égales est aussi gênante car "l'effet bac" ne peut pas être évité. Les poissons élevés dans des bacs différents, même dans des conditions strictement identiques, ne se comportent pas de la même manière. Ceci est dû à des facteurs aussi variés que la localisation du bac dans la salle d'élevage, l'incidence de l'éclairage, ou l'accessibilité aux dérangements du bac.

Les expérimentations réalisées ont été étalées sur plus d'une année (de Janvier 1993 à Septembre 1994) avec des turbots d'origines différentes. On ne prendra en compte aucune influence des variations génétiques des lots sur le comportement et le métabolisme des turbots.

Le démarrage de ce projet a vu quelques difficultés liées à l'aspect nouveau de la méthode et à l'absence de connaissances sur l'espèce étudiée. Ainsi la première expérience (100/16) comporte des erreurs par excès au niveau des valeurs d'excrétion azotée et notamment de l'urée. Ces surestimations ont été confirmées au cours des expériences suivantes. Elles étaient dues à la manipulation des échantillons sans précautions ; le port de gants a résolu ce problème. Les résultats de cette expérience figurent dans tous les traitements mais ne sont pas toujours pris en compte pour l'interprétation.

D'autres erreurs apparaissent dans les expériences suivantes. Ainsi dans l'expérience 10/20, le dosage de la concentration d'azote ammoniacal subit une dérive. Ce phénomène interdit l'interprétation du profil d'excrétion à partir du deuxième pic d'ammoniaque.

Toutes ces erreurs engendrent des valeurs erronées qui limitent la validité du modèle.

L'ammoniaque et l'urée représentent en règle générale environ 90% de la totalité de l'azote soluble excrété. C'est pourquoi l'excrétion azotée a été quantifiée par les seules mesures d'ammoniaque et d'urée dans l'eau de sortie des bacs. Les autres produits finaux du métabolisme azoté qui sont mineurs n'ont pour le moment pas été explorés. Cette approximation entraîne une sous-estimation de l'évaluation des effluents azotés des piscicultures et une surestimation du pourcentage relatif des deux produits finaux étudiés.

La précision des mesures de concentration d'azote ammoniacal et uréique est grande. Mais le calcul fait intervenir, outre les valeurs de concentration, le débit et la biomasse du jour. Ces derniers sont mesurés ou calculés de manière peu précise et diminuent donc la précision du taux d'excrétion calculé.

La composition en azote et en chrome des échantillons lyophilisés est déterminée avec une grande sensibilité. Pour ces paramètres, la méthode d'échantillonnage augmente le risque d'erreur : les échantillons de poissons prélevés ne sont peut-être pas assez grands pour être suffisamment représentatifs. En effet il existe une grande variabilité des animaux due à l'expression individuelle du métabolisme. De ce point de vue, une amélioration est certainement possible.

Malgré tout, ces imprécisions ne diminuent pas la cohérence des données expérimentales ni la validité du modèle élaboré pour ces données.

ELABORATION DU MODELE

La validité du modèle est fonction du nombre de données prises en compte pour son élaboration. Dans notre cas 35 séries complètes de données existent pour deux tailles de poisson et trois températures. Cet éventail n'est peut-être pas assez exhaustif pour la réalisation d'un modèle valide, mais il était important de faire un essai sur un nombre limité de valeurs avant d'effectuer une modélisation pour une gamme de tailles et de températures plus grande.

La réalisation d'un modèle peut se faire suivant plusieurs méthodes : avec des rations, des tailles et des températures choisies au hasard, ou bien dans des conditions d'élevage préalablement fixées pour toute la durée de réalisation du projet. C'est cette dernière méthode qui a été retenue par l'équipe de recherche de Brest (cf. figure 1). Pour l'élaboration d'un modèle valide, les plus grandes variations de conditions expérimentales doivent concerner le paramètre le plus influent.

Chez les salmonidés, la ration explique à elle seule quasiment la moitié des fluctuations d'excrétion d'ammoniaque, alors que le poids du poisson et surtout la température ne fournissent que peu d'informations (Paulson, 1980). Il serait tentant de généraliser cette observation au métabolisme de l'ensemble des téléostéens. Le modèle obtenu ici fait toujours intervenir la ration comme facteur

d'influence hautement significatif. De plus si le poids intervient pour l'excrétion et le TCS, la température n'a pas d'effet significatif sur tous les paramètres étudiés. Cette constatation rejoint les conclusions de Paulson (précédemment cité).

L'expression du modèle se fait respectivement selon une équation de régression multiple pour chaque critère à explorer (dans notre étude pour les excrétions d'ammoniaque et d'urée, pour le gain d'azote dans la carcasse et le taux de croissance spécifique), ou sous forme d'abaques (courbes en fonction de la quantité d'azote ingérée).

La validité du modèle pour la prédiction des effluents d'une pisciculture et de la croissance des poissons est atténuée par le faible poids relatif que représentent les juvéniles de turbot au sein d'un élevage. La distribution annuelle d'une ration connue, avec vérification de l'ingestion réelle par les poissons est aussi un "handicap" à la représentativité de la réalité du terrain, où la quantité d'aliment ingérée est surestimée.

CONCLUSION

Le modèle approché ici n'est valide que dans les limites de la gamme étudiée. Nous n'avons donc pas le droit d'extrapoler les relations en dehors des températures entre 12 et 20°C, ni au dessus d'un poids moyen de 150 grammes (poids moyen des turbots en fin de période d'alimentation dans notre expérimentation).

La validité du modèle est aussi limitée par le faible nombre d'observations. Le nombre de valeurs va augmenter au cours du déroulement du projet, améliorant à chaque nouvelle expérience le modèle initial.

L'extension de l'étude à d'autres tailles permettra de mieux visualiser un effet des paramètres étudiés. En effet les turbots de 10 et 100 grammes sont âgés de moins d'un an et sont loin de leur maturité sexuelle. De plus deux valeurs de poids corporel ne suffisent pas à la caractérisation d'une courbe en fonction de ce paramètre. Ceci explique vraisemblablement l'effet faiblement significatif du poids dans notre modèle.

Le modèle élaboré permet tout de même de conclure, en accord avec les connaissances préexistantes en matière de physiologie des poissons, que la ration ingérée a une importance capitale. C'est elle qui détermine le taux métabolique et le niveau d'excrétion azotée. Et, malgré le faible nombre de valeurs étudiées pour le poids de l'animal et sa température d'élevage, nous pouvons émettre l'hypothèse que ces paramètres n'ont une influence que sur l'appétit des turbots.

CONCLUSION

Les modèles présentés dans cette première étude consacrée au turbot peuvent être caractérisés par le haut degré de représentativité du fait de l'équilibration à plus de 90% des bilans de masse de l'azote. Ils démontrent la part prépondérante de l'alimentation dans les rejets métaboliques des poissons, indépendamment de la taille de ceux-ci et de leur température d'élevage. Cependant, un certain nombre de précautions à ce stade doivent être prises quant à l'utilisation de ces modèles.

Il est en effet délicat d'extrapoler les résultats en dehors de la gamme de température (12-20°C) et de la gamme de poids testée (10-150g). Pour ce qui concerne la température, on peut considérer que la gamme utilisée est représentative de 90% des situations rencontrées dans la Région Bretagne. Il n'en va pas de même pour les poids, pour lesquels l'étude doit être prolongé jusqu'à la taille de 1000g.

En outre, les conditions expérimentales strictes qui ont prévalu lors de l'établissement du modèle ne sont pas directement applicables dans les fermes de production. L'écart le plus important à redouter concerne la quantité d'aliment véritablement ingéré lors de l'exploitation de la ferme. En effet, les aliments non ingérés sont susceptibles de venir augmenter l'enrichissement benthique éventuellement provoqué par la sédimentation des fèces. L'utilisation de critères zootechniques plus intégrateurs (Taux de Croissance et Indice de Conversion) est donc à recommander pour pondérer les résultats publiés ici.

L'autre source de variation peut provenir de la qualité de l'aliment elle-même. En effet, la digestibilité des matières premières employées dans les aliments du commerce peut être notablement différente de celles entrant dans l'aliment de référence utilisé dans cette étude. La conséquence principale concernera alors la quantité de fèces émises. On ne peut que recommander que les fabricants d'aliments indiquent la digestibilité de leur produit.

Enfin, les conditions d'élevage, particulièrement la qualité de l'eau, sont susceptibles de modifier le métabolisme des individus. Il est alors nécessaire de pondérer ces résultats obtenus en conditions "idéales".

Le turbot s'avère ainsi être un excellent transformateur de l'azote et démontre une aptitude très supérieure à la truite arc-en-ciel à synthétiser les protéines musculaires. De ce fait,

il n'est pas envisageable d'utiliser les modèles prédictifs développés sur la truite-arc-en ciel en eau douce en France ou sur le saumon atlantique en Norvège. Ceux-ci, qui sont les seuls disponibles à l'heure actuelle, conduiraient en effet, appliqués au turbot, à une surestimation des rejets azotés solubles de l'ordre de 25%. De plus, les formes azotées excrétées sont notablement différentes entre les deux types de poissons :

- un tiers urée, deux tiers ammoniacque chez le turbot;
- un dixième urée, neuf dixièmes ammoniacque chez la truite;
- une plus grande proportion de fèces soluble chez le turbot.

BIBLIOGRAPHIE

- AMINOT A., AND KEROUEL R., 1982.** Dosage automatique de l'urée dans l'eau de mer : une méthode très sensible à la diacetyl monoxime. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 39 : 174-183.
- BOLIN D.W., KING R.P. and KLOSTERMAN E.W., 1952.** A simplified method for the determination of chromic oxide (Cr₂O₃) when used as an index substance. Science, 116 : 634-635.
- BRETT J.R., AND ZALA C.A., 1975.** Daily pattern of nitrogen excretion and oxygen consumption of Sockeye salmon (*Onchorhynchus nerka*) under controlled conditions. Journal of Fish Research Board Can, 32 : 2479-2486.
- BRETT J.R., 1979.** Environmental factors and growth. Fish physiology Vol 8. Academic press NY. Hoar W.S., Randall D.J. and Brett J.R. Editors. 599-675.
- BUREL C., 1994.** Régulation de la croissance chez le turbot, *Scophthalmus maximus* : influence de la température et contrôle endocrine. Mémoire de DEA de l'Université de Rennes I, 30p.
- CACERES-MARTINES C., CADENA-ROA M. AND METAILLER R., 1984.** Nutrition requirements of turbot (*Scophthalmus maximus* L.) : I. A preliminary study of protein and lipid utilization. Journal of the World Mariculture Society, 15 : 191-202.
- CHO C.Y. AND SLINGER S.J., 1979.** Apparent digestibility measurement in feedstuffs for rainbow trout. Proc. World Symp. on Finfish Nutrition and Fishfeed Technology, Hamburg 20-23 June 1987. Vol. II, Berlin : 239-247.
- DOSDAT A., 1992.** L'excrétion chez les poissons téléostéens. I L'azote. Pisciculture française 108 : 25-40. II Le phosphore. Pisciculture française, 109 : 18-29.
- DOSDAT A., GAUMET F. AND CHARTOIS H., 1994.** Marine aquaculture effluent monitoring : methodological approach to the evaluation of nitrogen and phosphorus excretion by fish. Aquacultural Engineering (in press).
- DOSDAT A., METAILLER R., TETU N., SERVAIS F., CHARTOIS H., HUELVAN C., DESBRUYERES E., 1994.** Peculiarity of nitrogenous excretion in turbot, *Scophthalmus maximus* (L.), under controlled conditions. Soumis à Aquaculture and Fisheries Management.
- FIVELSTAD S., THOMASSEN J.M., SMITH M.J., KJARTANSSON H. AND SANDO A.B., 1990.** Metabolic production rates from Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and Arctic char (*Salvenius alpinus* L.) reared in single pass land-based brackish water and sea-water systems. Aquacultural engineering, 9 : 1-21.
- FROM J. AND RASMUSSEN G., 1984.** A growth model, gastric evacuation, and body composition in rainbow trout (*Salmo gairdneri* R., 1836) Dana 3 :61-139.

- GERSHANOVICH A.D. AND POTOTSKIJ I.V., 1992.** The peculiarities of nitrogen excretion in sturgeons (*Acipenser ruthenus*) (*Pisces, Acipenseridae*). I- The influence of ration size. *Comp. Biochem. Physiol*, 103A : 609-612.
- GAUMET F., 1994.** Contribution à l'étude des capacités d'adaptation au milieu et de croissance chez le turbot (*Scophthalmus maximus*) en fonction des facteurs écologiques, salinité et température. Thèse de troisième cycle de l'université de Rennes I, 190p.
- GUERIN-ANCEY O., 1976 a.** Etude expérimentale de l'excrétion azotée du bar (*Dicentrarchus labrax*) en cours de croissance. I- Effets de la température et du poids du corps sur l'excrétion d'ammoniac et d'urée. *Aquaculture*, 9 : 71-80.
- GUERIN-ANCEY O., 1976 b.** Etude expérimentale de l'excrétion azotée du bar (*Dicentrarchus labrax*) en cours de croissance. II- Effets du jeûne sur l'excrétion d'ammoniac et d'urée. *Aquaculture*, 9 : 187-194.
- JOBLING M., 1981.** Some effects of temperature, feeding and body weight on nitrogenous excretion in young plaice, *Pleuronectes platessa* L. *J. Fish. Biol.*, 18 : 87-96.
- KAUSHIK S.J., 1980.** Influence of nutritional status on the daily patterns of nitrogen excretion in the carp (*Cyprinus carpio* L.) and the rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.). *Repro. Nutr. Devp.*, 20(6) : 1751-1765.
- KIKUCHI K., TAKEDA S., HONDA H. AND KIYONO M., 1990 a.** Nitrogenous excretion of juvenile and young Japanese flounder. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58 : 2329-2333.
- KIKUCHI K., TAKEDA S., HONDA H. AND KIYONO M., 1990 b.** Oxygen consumption and nitrogenous excretion of starved Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 56 : 1891.
- KIKUCHI K., TAKEDA S., HONDA H. AND KIYONO M., 1991.** Effect of feeding on nitrogen excretion of Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57 : 2059-2064.
- NIJHOF M., 1993.** Research on the nutrition and growth in the culture of post larval turbot (*Scophthalmus maximus* L.). Presented at the World Aquaculture Conference and Exhibition, May 25-27, Torremolinos, Spain.
- PAULSON L.J., 1980.** Models of ammonia excretion for Brook trout (*Salvenius fontinalis*) and Rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Canadian J. of Fish Aquat. Sci.*, 37 : 1421-1425.
- PERSON - LE RUYET J., 1992.** L'élevage du turbot en Europe. *La Pisciculture française*, 112 : 5-22.
- PORTER C.B., KROM M.D., ROBBINS M.G., BRICKELL L. AND DAVIDSON A., 1987.** Ammonia excretion and total N budget for gilthead sea bream (*Sparus aurata*) and its effect on water quality conditions. *Aquaculture*, 66 : 287-297.

- RAMNARINE I.W., PIRIE J.M., JOHNSTONE A.D.F. AND SMITH G.W., 1987.** The influence of ration size and feeding frequency on ammonia excretion by juvenile Atlantic cod, *Gadus morhua* L. *Journal of fish biology*, 31 : 545-559.
- RANDALL D.J. AND WRIGHT P.A., 1987.** Ammonia distribution and excretion in fish. *Fish physiology and biochemistry*, 3 : 107-120.
- SALIN D. AND WILLIOT P., 1991.** Endogenous excretion of Siberian sturgeon, *Acipenser baeri* Brandt. *Aquatic Living Resources*, 4 : 249-253.
- SCHERRER P. and PERSON-LE RUYET J., 1983.** Effet de la température sur la croissance du turbot (*Scophthalmus maximus*) entre 3 et 20g. ICES(C.M. 1983/F), 22 : 7p.
- SPYRIDAKIS P., 1989.** Utilisation des protéines alimentaires chez la bar (*Dicentrarchus labrax*). Ph D Thesis. Université de Bretagne Occidentale, France. 192p.
- STEFFENS W., 1989.** Principles of fish nutrition. Halsted press, New-York. 384p.
- TATRAI I., 1981.** Diurnal pattern of the ammonia and urea excretion of feeding and starved bream, *Abramis brama* L. *Comp. Biochem. Physiol.*, 70A : 211-215.
- TREGUER P. AND LE CORRE P., 1975.** Manuel d'analyses des sels nutritifs dans l'eau de mer (Utilisation de l'autoanalyseur Technicon ®) ; 2nd édition. Laboratoire d'océanographie chimique ; Université de Bretagne Occidentale, France. 110 p.
- VITALE-LELONG D., 1989.** Bilan azoté du loup (*Dicentrarchus labrax* L.) en cours de prégrossissement. *Vie marine*, Hors série 11, 111p.

GLOSSAIRE

CF	carcasse de fin de période d'alimentation
CI	carcasse initiale
CJ	carcasse de fin de période de jeûne
CUP	coefficient d'utilisation protéique
FC	culot de centrifugation des fécès
FS	surageant des fécès
GNC	gain d'azote dans la carcasse pendant la période d'alimentation
IC	indice de conversion alimentaire
NI	quantité d'azote ingérée
NSurn	azote total en solution dans le surageant des fécès
NU	azote excrété sous forme d'urée
PNF	pertes d'azote dans les fécès (culot + surageant)
SNS	somme de l'azote soluble (TAN + UREE + NSurn)
TAN	azote excrété sous forme d'ammoniaque total ($N-NH_3 + N-NH_4^+$)
TCS	taux de croissance spécifique



ANNEXES

DONNEES D'EXCRETION D'AZOTE

CODE expérience	NI mg/kg/j	TAN mg N /kg/j	EXA TAN	TAN/NI %	NU mg N /kg/j	EXU UREE	NU/NI %	NU/Ntot %	NU/TAN %	PIC NH4 valeur mg N /kg/h	PIC NH4 appartit° après repas	PIC UREE valeur mg N /kg/h	PIC UREE appartit° après nuit
10/12	786.05	158.80	109.52	20.20	71.33	52.28	9.07	31.00	44.92	8.88	5.12	9.03	7.20
	692.30	135.97	86.69	19.64	66.96	47.91	9.67	33.00	49.25	7.89	4.37	8.85	7.20
	584.88	114.84	65.56	19.63	55.44	36.39	9.48	32.56	48.28	6.70	5.12	7.00	7.20
	467.84	101.32	52.04	21.66	51.23	32.18	10.95	33.58	50.56	6.31	3.27	6.38	7.55
	352.42	89.28	40.00	25.33	49.58	30.53	14.07	35.71	55.53	4.90	2.52	5.99	7.55
	210.66	69.92	20.64	33.19	34.69	15.64	16.47	33.16	49.61	3.49	3.27	4.25	8.30
10/16	915.12	254.86	174.36	27.85	118.57	79.77	12.96	31.75	46.52	16.70	5.20	13.11	7.20
	798.27	239.37	158.87	29.99	108.10	69.30	13.54	31.11	45.16	14.60	5.40	15.29	8.10
	693.65	220.33	139.83	31.76	96.98	58.18	13.98	30.56	44.02	16.80	3.50	16.25	8.20
	565.69	181.36	100.86	32.06	81.91	43.11	14.48	31.11	45.16	14.70	8.00	13.87	9.20
	408.70	159.70	79.20	39.08	74.57	35.77	18.25	31.83	46.69	12.30	4.40	13.33	8.20
	236.28	126.30	45.80	53.45	60.08	21.28	25.43	32.24	47.57	11.50	3.20	13.90	9.20
10/20	898.30	136.90	55.30	15.24	100.50	71.40	11.19	42.33	73.41	8.91	3.30	15.73	5.52
	818.10	139.80	58.20	17.09	90.10	61.00	11.01	39.19	64.45	9.69	2.55	13.27	5.52
	702.20	124.30	42.70	17.70	85.40	56.30	12.16	40.72	68.70	8.77	3.30	11.95	7.02
	590.10	124.40	42.80	21.08	77.20	48.10	13.08	38.29	62.06	8.48	1.45	12.03	6.27
	439.60	93.50	11.90	21.27	64.30	35.20	14.63	40.75	68.77	7.67	1.45	7.95	6.27
	274.40	92.50	10.90	33.71	50.70	21.60	18.48	35.41	54.81	7.54	1.45	6.63	5.52
100/12	375.30	83.30	68.10	22.20	41.70	29.10	11.11	33.36	50.06	7.07	8.17	6.25	6.22
	336.10	73.60	58.40	21.90	37.90	25.30	11.28	33.99	51.49	6.07	8.52	5.50	5.12
	308.70	64.50	49.30	20.89	35.10	22.50	11.37	35.24	54.42	4.88	7.42	6.31	8.42
	247.50	50.60	35.40	20.44	30.00	17.40	12.12	37.22	59.29	3.74	8.17	4.28	7.32
	174.80	41.90	26.70	23.97	26.30	13.70	15.05	38.56	62.77	3.06	7.42	4.19	8.42
	104.10	29.80	14.60	28.63	22.70	10.10	21.81	43.24	76.17	1.94	5.57	1.68	8.07
100/16	534.00	124.54	87.08	23.32	67.60	32.73	12.66	35.18	54.28	9.04	8.20	7.35	3.80
	468.54	109.68	72.22	23.41	59.08	24.21	12.61	35.01	53.87	8.65	8.20	5.85	7.20
	394.22	104.75	67.29	26.57	56.78	21.91	14.40	35.15	54.21	8.27	9.40	4.85	8.20
	229.85	79.66	42.20	34.66	46.06	11.19	20.04	36.64	57.82	5.29	9.40	3.32	8.20
	139.57	90.83	53.37	65.08	49.91	15.04	35.76	35.46	54.95	4.53	10.00	4.32	5.20
		614.93	122.00	85.11	19.84	68.92	54.14	11.21	36.10	56.49	9.08	8.00	7.15
100/20	545.00	106.14	69.25	19.48	62.61	47.83	11.49	37.10	58.99	9.19	6.15	1.10	7.30
	467.44	103.82	66.93	22.21	57.76	42.98	12.36	35.75	55.63	8.55	5.20	6.87	8.07
	379.82	84.63	47.74	22.28	47.39	32.61	12.48	35.90	56.00	7.89	6.50	6.14	5.47
	268.67	68.46	31.57	25.48	37.87	23.09	14.10	35.62	55.32	5.82	5.05	5.80	7.15
	160.85	62.23	25.34	38.69	28.99	14.21	18.02	31.78	46.59	5.34	4.47	4.17	5.47

DONNEES DE CROISSANCE ET D'UTILISATION METABOLIQUE DE L'AZOTE

T	Pml	Pmf	Pmj	NI marqué	CUD Azote	PNF	N sum	SNS	NI total	C.U.P	T.C.S	I.C	GNC
°C	g	g	g	mg/kg/j	%	mg/kg/j	mg/kg/j	mg/kg/j	mg/kg/j	%	%/j		mg/kg/j
12	13.1	18.2	17.5	786.05	89.12	86.17	30.75	260.88	822.05	40.08	1.21	0.77	317.31
12	13.8	18.3	17.7	692.30	88.72	80.64	27.43	230.36	741.99	40.90	1.07	0.79	292.28
12	13.6	17.1	16.5	584.88	90.24	57.81	19.27	189.55	615.56	39.36	0.84	0.83	233.28
12	13.2	15.7	15.2	467.84	91.05	40.79	14.80	167.35	481.47	41.86	0.65	0.84	190.72
12	13.7	14.8	14.5	352.42	90.24	35.12	11.21	150.07	373.19	34.24	0.27	1.54	123.07
12	13.3	13.1	13.0	210.66	89.94	20.01	8.50	113.11	206.47	12.62	-0.06	-3.96	25.05
16	12.7	17.8	16.7	915.12	91.56	80.15	20.50	393.93	993.07	38.20	1.49	0.74	362.86
16	12.8	17.4	16.3	798.27	92.86	58.60	13.13	360.60	858.15	31.62	1.34	0.70	259.62
16	12.6	15.9	14.8	693.65	93.22	47.45	9.50	326.81	732.20	36.13	1.01	0.80	252.98
16	12.7	14.8	14.3	565.69	92.82	40.24	9.83	273.10	586.29	33.27	0.68	0.94	186.62
16	13.3	14.7	14.2	408.70	93.16	27.28	5.85	240.12	416.97	28.80	0.44	1.04	114.86
16	12.1	12.6	12.0	236.28	93.43	14.98	3.19	189.57	237.65	8.36	0.20	1.30	19.03
20	13.1	21.6	20.7	898.30	87.65	130.46	43.74	281.14	1091.49	35.14	1.60	0.77	371.32
20	14.1	21.0	20.2	818.10	89.63	99.40	21.80	251.70	990.10	34.66	1.30	0.85	332.14
20	14.4	20.1	19.4	702.20	88.34	94.23	31.83	241.53	834.93	34.37	1.11	0.85	277.69
20	13.7	16.9	16.3	590.10	88.58	75.08	29.84	231.44	679.40	26.33	0.72	1.04	173.16
20	13.1	15.1	14.9	439.60	86.87	62.62	27.34	185.14	492.89	21.49	0.46	1.18	102.55
20	13.6	13.7	13.4	274.40	87.36	35.97	18.32	161.52	294.15	21.68	0.02	18.27	61.79
12	98.5	122.4	119.3	375.30	88.82	47.30	18.42	143.42	435.95	30.09	0.66	0.75	127.20
12	103.4	121.5	118.3	336.10	90.59	34.59	11.78	123.28	379.01	26.90	0.49	0.88	98.82
12	98.2	114.2	109.2	308.70	90.20	31.04	12.60	112.20	326.41	41.89	0.46	0.81	132.60
12	98.5	111.2	107.2	247.50	89.38	26.70	10.55	91.15	259.58	22.28	0.37	0.79	56.05
12	99.9	105.6	104.6	174.80	91.56	14.75	5.49	73.69	180.26	37.49	0.17	1.22	65.48
12	104.0	105.0	102.9	104.10	92.16	8.00	2.86	55.36	105.53	-29.77	0.03	4.10	-30.49
16	108.6	143.4	135.3	534.00	91.87	49.22	7.08	199.22	623.56	35.07	0.82	0.92	212.30
16	110.4	138.6	132.9	468.54	93.50	34.02	5.15	173.92	539.47	38.37	0.67	0.97	200.90
16	97.6	116.6	111.9	394.22	92.89	30.98	4.35	165.88	449.33	24.60	0.52	1.04	107.23
16	101.9	110.0	107.3	229.85	93.45	15.99	2.86	128.58	251.81	14.73	0.23	1.34	35.98
16	94.4	91.3	90.4	139.57	91.12	12.67	3.64	144.38	146.84	-35.08	-0.10	-1.83	-50.05
20	88.7	122.8	118.7	614.93	90.92	58.45	23.96	214.88	664.32	40.63	0.99	0.75	261.77
20	90.5	119.8	116.0	545.00	89.88	57.64	22.49	191.24	587.23	37.10	0.85	0.76	211.32
20	92.6	114.3	111.3	467.44	92.08	36.91	11.38	172.96	480.69	35.50	0.64	0.83	165.46
20	89.9	103.1		379.82	90.77	31.02	14.64	146.66	346.01	44.39	0.47	0.92	148.94
20	94.8	106.1	105.1	268.67	92.16	21.00	8.05	114.38	276.81	37.89	0.34	0.88	101.73
20	86.8	88.3	87.2	160.85	92.17	12.18	4.88	96.10	160.57	-2.76	0.05	3.43	-4.29