

INFLUENCE DES CONDITIONS D'ÉLEVAGE SUR LA CROISSANCE PONDÉRALE ET LES PARAMÈTRES SANGUINS UTILISÉS COMME DESCRIPTEURS DE L'ÉTAT PHYSIOLOGIQUE ET IMMUNITAIRE DE JEUNES CARPES *CYPRINUS CARPIO* (CYPRINIDAE).

V. PEREIRA (1), J. ROBIN (1), V. GOUBIER (1)
avec la collaboration technique de L. QUIBLIER (2)

(1) Institut Supérieur d'Agriculture Rhône-Alpes. 31 place Bellecour, 69288 LYON Cedex 02, France.

(2) Chambre d'Agriculture de l'Ain. Rue Carnot, 01330 VILLARS LES DOMBES, France.

Reçu le 11 octobre 2000
Accepté le 25 janvier 2001

Received 11 October, 2000
Accepted 25 January, 2001

RÉSUMÉ

Les réponses de certains paramètres sanguins de la carpe (*Cyprinus carpio*) à des modifications des conditions d'élevage sont analysées au cours d'un cycle annuel. Les descripteurs hématologiques retenus, car pouvant témoigner d'une perturbation physiologique des poissons, sont : l'hématocrite, le nombre de globules rouges, le taux d'hémoglobine, la glycémie, la concentration en protéines sériques et la proportion d'immunoglobulines par rapport aux protéines totales.

Les conditions d'élevage testées correspondent à un schéma de production de plus en plus utilisé en Dombes. Deux phases successives sont considérées :

- élevage semi-intensif caractérisé par des densités élevées et une complémentation alimentaire à base de céréales ou d'aliments complets plus riches en protéines,

- élevage extensif avec des densités plus faibles et une alimentation exclusivement naturelle.

Nos résultats illustrent une influence du régime alimentaire, notamment au printemps avec l'augmentation de la température de l'eau et l'arrêt de la complémentation. Il semblerait qu'un régime très protéique provoque une déficience physiologique des poissons lorsqu'ils ne disposent plus que des ressources naturelles du milieu.

Mots-clés : *Cyprinus carpio*, sang, physiologie, conditions d'élevage, Dombes.

REARING CONDITIONS INFLUENCE ON GROWTH AND BLOOD PARAMETERS USED AS INDICATORS OF PHYSIOLOGICAL AND IMMUNE STATUS OF YOUNG CARPS *CYPRINUS CARPIO* (CYPRINIDAE).

ABSTRACT

Some blood parameters response of carp (*Cyprinus carpio*) to rearing conditions changes were analysed for one year. Haematological parameters studied, because they can illustrate physiological modifications, are: hematocrit and hemoglobin values, erythrocyte count, plasma glucose and protein levels, immunoglobulin/total protein ratio.

Rearing conditions tested are those frequently used in Dombes. Two successive periods are considered:

- semi-intensive rearing, characterised by high densities and supplementary food with carbohydrate or protein-rich diets,

- extensive rearing, with low densities and exclusively natural food.

Our results show an effect of alimentation and of the spring temperature increase. Important physiological changes are noted when food distribution is stopped. It seems that diet exclusively composed of commercial food with high-protein level can generate a physiological deficiency of fish when they are transferred into ponds.

Key-words : *Cyprinus carpio*, blood, physiology, rearing conditions, Dombes.

INTRODUCTION

La Dombes (Ain) est une des premières régions françaises pour la production de poissons d'étang. La pisciculture y est extensive et a conservé son caractère traditionnel avec un mode d'exploitation des étangs ayant peu évolué, faisant souvent figure de parent pauvre par rapport aux autres types d'élevage. Néanmoins, ces dernières années, le schéma de production classique, reposant intégralement sur un élevage en étangs, semble remis en cause. Ainsi, de plus en plus de producteurs de carpes initient l'élevage en bassins, avec des densités importantes et une complémentation alimentaire, avant de transférer les carpes en étangs durant une à deux années pour obtenir des poissons de taille commerciale.

Dans ce schéma de production, deux phases critiques ont été identifiées : la période hivernale de la première année et surtout le passage en étang au printemps suivant. Durant ces deux phases, les taux de survie peuvent être très faibles et représentent donc un manque à gagner considérable pour le pisciculteur. Ces périodes critiques pourraient coïncider avec une fragilité des poissons liée aux modifications des conditions environnementales (température, qualité d'eau, ressources alimentaires disponibles...) considérées comme un facteur potentiel de stress (WEDEMEYER et YASUTAKE, 1978 ; PICKERING, 1981).

L'objectif de ce travail a été d'apporter des éléments complémentaires à l'étude de l'influence des modifications des conditions d'élevage sur la physiologie des poissons. Deux phases d'élevage ont été distinguées : une phase semi-intensive caractérisée par des densités élevées et un apport d'aliments complémentaires, et une phase plus extensive, simulant le transfert en étang, avec des densités plus faibles et un arrêt de la complémentation alimentaire.

Les paramètres hématologiques retenus car pouvant témoigner d'une perturbation physiologique des poissons étaient : l'hématocrite, le nombre de globules rouges, le taux d'hémoglobine, la glycémie, la concentration en protéines sériques et la proportion d'immunoglobulines par rapport aux protéines totales.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Dispositif expérimental

Les poissons étaient issus d'une reproduction artificielle effectuée en mai 1998. Après 5 semaines d'élevage en commun, trois lots ont été définis (C, G, N) selon la densité d'élevage et le régime alimentaire proposé aux poissons, et répartis dans des bassins d'une profondeur moyenne de 1 m et de surfaces variant de 500 m² à 1 400 m² (Tableau I). La distribution d'aliment, ou complémentation, a été quotidienne de juillet à avril sauf pour les poissons du lot N qui disposaient uniquement des ressources naturelles du milieu, principalement composées de zooplancton, benthos et débris végétaux (FANGET, 1972). La ration alimentaire pour les lots C et G a été définie selon la température de l'eau et la biomasse de poissons (SATO, 1991). A partir du mois de mai, la densité d'élevage a été diminuée dans tous les bassins et la distribution d'aliment arrêtée afin d'orienter les poissons des lots C et G vers une alimentation exclusivement naturelle. Cette modification des conditions d'élevage avait pour objectif de simuler le transfert en étang.

Tableau I

Evolution de la densité et du régime alimentaire des 3 lots étudiés en fonction de la phase d'élevage : semi-intensive de juillet 98 à avril 99 et extensive de mai à décembre 99.

Table I

Density and diet evolution of the three groups studied related to the rearing period: semi-intensive from July 98 to April 99 and extensive from May to December 99.

	juil 98-avr 99				mai 99-dec 99			
	Effectif	Surface des bassins (m ²)	Densité	Alimentation	Effectif	Surface des bassins (m ²)	Densité	Alimentation
Lot C	3 500	1 400	2.5 ind/m ²	Céréales broyées (1/3 soja, 1/3 maïs, 1/3 orge)	300	600	0.5 ind/m ²	Naturelle
Lot G	3 000	600	5 ind/m ²	Aliments complets (Granulés)	300	600	0.5 ind/m ²	Naturelle
Lot N	1 000	500	2 ind/m ²	Naturelle	250	500	0.5 ind/m ²	Naturelle

Prélèvements

Quatre campagnes de prélèvements ont été réparties sur une année (décembre 98 - 99) ce qui a représenté un total de 230 bilans sanguins. Pour chacune des campagnes les poissons étaient échantillonnés le même jour, à l'aide d'un filet. Parmi tous les poissons pêchés, une trentaine étaient gardés pour chacun des lots. Afin de limiter l'influence du stress de la pêche sur les paramètres suivis, les poissons étaient placés en filets de dépôt, les prélèvements n'étant effectués qu'à partir du lendemain, sur une durée de 3 jours

(1 lot/jour). Les prélèvements de sang ont été effectués sur 20 individus de chaque lot, au niveau des vaisseaux du pédoncule caudal. Aucun anesthésiant n'a été utilisé afin d'éviter les interactions, décrites à plusieurs reprises, avec la plupart des paramètres sanguins (RAILO *et al.*, 1985).

Paramètres sanguins

Les valeurs d'hématocrite ont été obtenues par la méthode capillaire (MC GOVERN *et al.*, 1955). Le nombre de globules rouges a été estimé en utilisant un hématimètre de Thomas et la solution de Marcano comme liquide de dilution. L'hémoglobine a été dosée selon la méthode du cyanure d'hémiglobine (VAN KAMPEN et ZIJLSTRA, 1961) et les protéines totales par la méthode de LOWRY (LOWRY *et al.*, 1951). Pour doser le glucose plasmatique, nous avons utilisé une méthode enzymatique (Biodirect RC 1236-01). La technique utilisée pour doser les immunoglobulines a été basée sur la méthode colorimétrique de Biuret. Dans un premier temps, les immunoglobulines ont été séparées du sérum par précipitation avec du polyéthylène glycol 10 000. Les protéines (moins les Ig) contenues dans le surnageant sérique ont été alors dosées. La quantité obtenue était ensuite soustraite à celle des protéines totales présentes dans le sérum et donnait le taux sérique en Ig (SIWICKI *et al.*, 1993).

L'analyse statistique des résultats a été effectuée par le test t de Student.

RÉSULTATS

Evolution de la température

Les températures observées sur l'ensemble de la période étudiée ont varié de 3,4°C à 24°C avec une évolution classique au cours du cycle annuel (Figure 1).

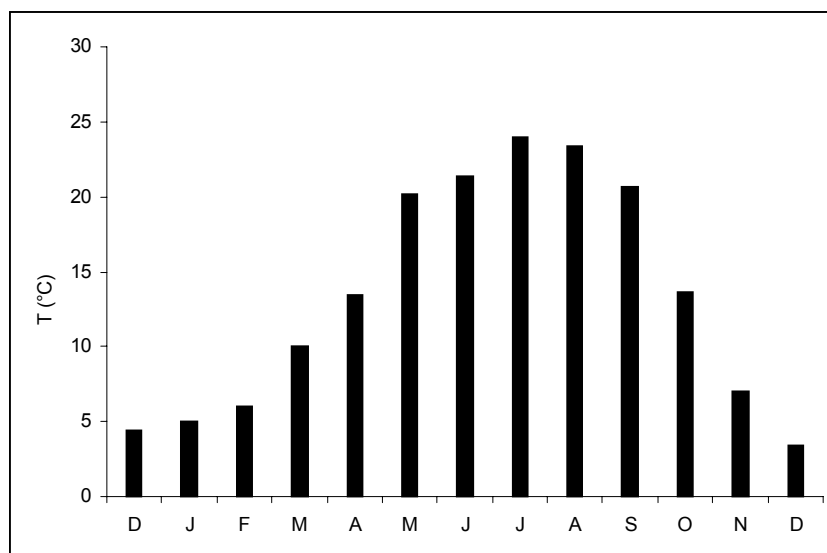


Figure 1
Evolution mensuelle de la température de l'eau de décembre 1998 à décembre 1999.

Figure 1
Monthly pattern of water temperature to December 1998 to December 1999.

Evolution pondérale

A l'entrée de l'hiver 98, le poids moyen des poissons était de 90 g avec une différence non significative entre les trois régimes alimentaires ($p < 0,05$). Après une croissance hivernale négligeable, les poissons non complétés (lot N) ou nourris avec des céréales (lot C) ont eu une prise de poids importante durant la saison chaude (Figure 2). En automne, seuls les poissons du lot N ont continué à grossir de façon significative ($p < 0,05$). En revanche, contrairement à toute attente, l'évolution pondérale des poissons nourris avec l'aliment complet (lot G) est restée très limitée sur l'ensemble du cycle annuel.

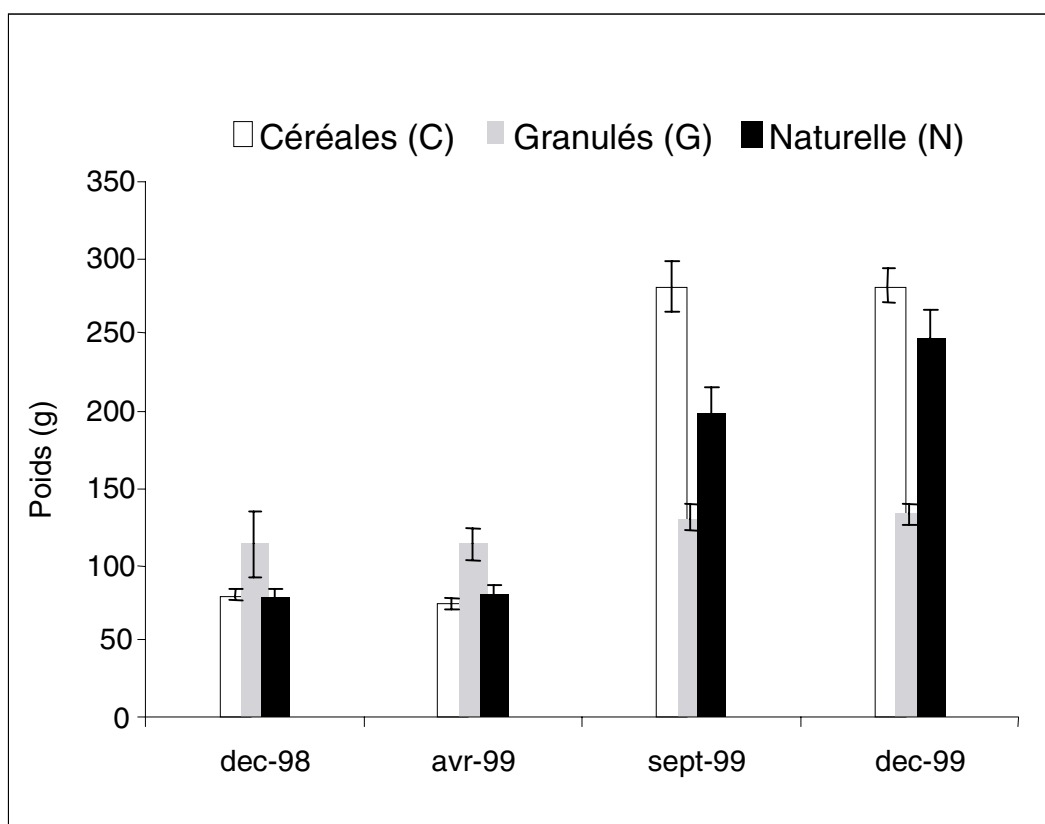


Figure 2
Croissance pondérale des poissons au cours d'un cycle annuel (moyenne \pm E.S.). Influence du régime alimentaire et du changement des conditions d'élevage. Les moyennes ont été calculées sur 30 poissons par lot et par date de prélèvement.

Figure 2
Fish growth during an annual period (mean \pm S.E.M.). Influence of alimentation and rearing conditions change. Means were calculated on 30 fish per group and sampling date.

Paramètres sanguins

Les valeurs moyennes obtenues pour l'ensemble des descripteurs sanguins utilisés sont résumées dans le Tableau II.

Tableau II

Variations saisonnières des paramètres hématologiques (moyenne \pm E.S.) en fonction du régime alimentaire. Les moyennes ont été calculées sur 25 à 30 analyses de sang selon les dates de prélèvement.

Table II

Seasonal variations of haematological parameters (mean \pm S.E.M.) according to diet. Means were calculated on 25 to 30 blood analyses according to sampling date.

	Hématocrite (%)	Hémoglobine (g/l)	Globules rouges (millions/mm ³)	Protéines totales (g/l)	Glycémie (g/l)	IgM (%)
CÉRÉALES						
Dec 98	31 \pm 0.55		1,50 \pm 0.04	29,4 \pm 1.08	1,0 \pm 0.05	25,5 \pm 2.30
Avr 99	46 \pm 1.07	71,8 \pm 4.05	1,66 \pm 0.06	35,9 \pm 0.81	1,1 \pm 0.06	16,6 \pm 3.77
Sept 99	35 \pm 1.07	77,7 \pm 1.70	1,39 \pm 0.06	28,5 \pm 0.73	1,0 \pm 0.07	27,0 \pm 3.01
Dec 99	33 \pm 0.90	67,0 \pm 3.53	1,50 \pm 0.07	20,0 \pm 0.46	0,4 \pm 0.02	19,6 \pm 1.80
GRANULÉS						
Dec 98	33 \pm 0.60		1,63 \pm 0.05	26,4 \pm 0.85	0,6 \pm 0.03	16,0 \pm 2.03
Avr 99	39 \pm 0.92	96,6 \pm 2.81	1,94 \pm 0.07	32,4 \pm 0.82	0,8 \pm 0.04	13,1 \pm 2.64
Sept 99	27 \pm 1.41	64,6 \pm 3.41	1,26 \pm 0.07	26,8 \pm 1.08	0,9 \pm 0.04	17,6 \pm 2.03
Dec 99	29 \pm 0.65	80,7 \pm 3.21	1,46 \pm 0.10	19,3 \pm 0.77	0,3 \pm 0.02	26,5 \pm 2.83
NATUREL						
Dec 98	30 \pm 0.43		1,56 \pm 0.06	33,3 \pm 1.28	0,7 \pm 0.03	23,3 \pm 2.81
Avr 99	39 \pm 0.98	76,0 \pm 3.80	1,82 \pm 0.07	29,3 \pm 0.93	0,7 \pm 0.04	10,3 \pm 1.51
Sept 99	33 \pm 0.67	83,1 \pm 2.27	1,48 \pm 0.06	25,0 \pm 0.77	0,8 \pm 0.03	43,8 \pm 2.18
Dec 99	32 \pm 1.04	90,8 \pm 3.28	1,59 \pm 0.07	19,2 \pm 0.60	0,3 \pm 0.02	30,0 \pm 1.82

Hématocrite

Les valeurs observées pour l'ensemble des lots et sur toute la période d'étude ont varié de 14 à 55 % avec une moyenne située à 34 %. Après une augmentation au printemps, les taux d'hématocrite ont chuté en cours d'été pour se stabiliser durant l'automne à 31 %. Cette évolution saisonnière a été semblable pour tous les lots même si la diminution constatée d'avril à septembre 99 a été plus importante pour les poissons initialement complémentés avec des céréales ou de l'aliment complet. De plus, les poissons nourris avec des granulés sont restés avec les taux d'hématocrite les plus bas (28 %) dès que leur alimentation a reposé exclusivement sur les ressources naturelles du milieu.

Hémoglobine

Les valeurs observées ont varié de 25 à 120 g/l avec une moyenne de 82 g/l. L'évolution des teneurs en hémoglobine au cours du cycle annuel a été différente selon les lots, notamment lors de l'arrêt de la complémentation. En effet, à partir du mois d'avril, le taux d'hémoglobine des poissons nourris avec des granulés a chuté de 97 à 65 g/l alors qu'il est resté stable pour les deux autres lots (77 g/l). De même, de septembre à décembre, la diminution de la température de l'eau a été accompagnée d'une augmentation de la concentration en hémoglobine pour l'ensemble des poissons mais ceux initialement complémentés avec des granulés sont restés avec les taux les plus faibles (80,7 g/l).

Nombre de globules rouges

Les variations saisonnières du nombre de globules rouges ont été identiques à celles observées pour l'hématocrite : augmentation au printemps, diminution l'été et stabilisation en automne. Les valeurs observées ont varié de 0,5 à 2,8 millions/mm³ avec une moyenne de 1,6 millions/mm³. Comme pour les paramètres précédents, la diminution du nombre de globules rouges lors du changement des conditions d'élevage au printemps a été plus importante pour les poissons du lot G (1,94 à 1,36 millions/mm³).

Protéïnémie

Les teneurs en protéines sériques ont été comprises entre 12 et 47 g/l avec une moyenne de 27 g/l. A l'entrée de l'hiver 98, les concentrations en protéines étaient significativement différentes entre les régimes alimentaires ; les taux les plus élevés ont été observés pour les poissons non complétés (33,3 g/l) et les plus faibles pour les poissons nourris avec un aliment complet (26,4 g/l). Au début du printemps, la protéïnémie des poissons nourris avec des céréales ou des granulés a augmenté alors qu'elle a diminué pour les poissons ne disposant que des ressources alimentaires naturelles. Cette diminution s'est poursuivie d'avril à décembre 99 pour l'ensemble des poissons si bien qu'à l'entrée de l'hiver 99 les différences entre lots n'étaient plus significatives.

Glycémie

Le taux de glucose plasmatique a été compris entre 0,2 g/l et 1,8 g/l avec une moyenne de 0,7 g/l. Ce sont les poissons nourris à partir de céréales qui ont eu les glycémies les plus élevées (0,9 g/l). Néanmoins, la différence entre les lots s'est atténuée au cours du cycle annuel pour ne plus être significative en décembre 99. Nos résultats ont également illustré une chute importante de la glycémie à partir de septembre 99 pour atteindre un niveau très bas en décembre (0,4 g/l).

Immunoglobulines

La proportion d'immunoglobulines par rapport aux protéines totales a été en moyenne de 23 % mais c'est un descripteur très variable (CV = 60 %). Les valeurs observées ont eu une amplitude très importante (0,1 % à 65 %) liée à des différences entre les régimes alimentaires, les périodes de prélèvement mais également à une variabilité inter-individuelle au sein d'un même lot.

L'évolution saisonnière des immunoglobulines des poissons non complétés ou initialement nourris avec des céréales a été caractérisée par des variations en dent de scie. Ces variations ont évolué dans le même sens pour les deux lots même si leur amplitude était plus élevée pour les poissons non complétés : diminution au printemps, augmentation en cours d'été puis diminution en automne. En revanche, les poissons nourris avec des granulés avaient des teneurs en immunoglobulines souvent plus faibles et plus stables malgré une augmentation significative entre septembre et décembre 99. Un creux assez net des concentrations en immunoglobulines a été constatée en avril, pour l'ensemble des lots.

DISCUSSION

Sur l'ensemble du cycle annuel étudié, il apparaît que la croissance pondérale des poissons initialement nourris avec un aliment complet reste limitée malgré une diminution de la densité d'élevage à partir du mois de mai et une augmentation de la température de l'eau. Cette absence de croissance pourrait traduire une incapacité des poissons nourris avec un aliment riche en protéines à s'adapter à une phase d'élevage plus extensive et en

particulier à une alimentation exclusivement naturelle. Cette influence des conditions d'élevage est également illustrée par l'évolution des paramètres sanguins, en particulier au printemps, lors du passage d'une phase d'élevage semi-intensive à une phase plus extensive.

Les valeurs observées pour l'hématocrite, l'hémoglobine et le nombre de globules rouges sont comparables à celles présentées dans la bibliographie pour différentes espèces de poissons (ROMESTAND, 1983 ; PEREZ *et al.*, 1989 ; HEMRE *et al.*, 1990 ; PEARSON et STEVENS, 1991 ; VELLAS *et al.*, 1994). Des modifications de ces paramètres ont été signalées lors d'un état de stress (SOIVIO et OIKARI, 1976 ; WITTERS *et al.*, 1990 ; WELLS et WEBER, 1991 ; BARTON et IWAMA, 1991) mais de telles variations n'apparaissent pas clairement dans notre étude puisque nous n'avons pas constaté de relation significative avec la glycémie, considérée comme indicateur de stress (COMTE, 1995).

FOURIE et HATTINGH (1976) indiquent, chez la carpe, une augmentation des valeurs des paramètres hématologiques avec la température, jusqu'à la fin de l'été. Nos résultats ne confirment qu'en partie ces observations car la diminution de l'hématocrite et du nombre de globules rouges est amorcée avant la fin de l'été. De nombreux auteurs ont constaté une diminution de ces descripteurs lorsque les poissons étaient à jeun ou dans un état nutritionnel défavorable (HICKEY, 1976 ; MAHAJAN et DHEER, 1983 ; PLUMB *et al.*, 1986 ; HEMRE *et al.*, 1990). Il est donc possible que les ressources naturelles du milieu ne suffisent pas à satisfaire les besoins des poissons, proportionnels à l'augmentation de la température. Ce déficit nutritionnel semble plus important pour les poissons initialement complémentés avec des granulés qui auraient plus de difficultés à s'adapter au passage sur alimentation naturelle.

Les valeurs de la protéinémie trouvées sont comparables à celles citées dans la littérature (ROMESTAND *et al.*, 1983 ; CHEN *et al.*, 1995). SAEUR et HAIDER (1977), VAN HUREN et HATTINGH (1978) ou HILLE (1982) ont établi une corrélation positive entre la température de l'eau et la teneur en protéines du plasma, avec des maxima en fin d'été. De même, HILLE (1982) indique qu'un apport alimentaire quantitativement et/ou qualitativement modifié peut entraîner des fluctuations de la protéinémie. Les variations que nous observons permettent de préciser ces résultats. En effet, une augmentation de la température au printemps entraîne bien une hausse de la protéinémie mais uniquement pour les lots recevant une alimentation complémentaire. En revanche, un régime alimentaire reposant uniquement sur les ressources du milieu conduit à une diminution des teneurs en protéines dans le plasma indépendamment des variations de température.

De nombreux auteurs ont indiqués que la glycémie est positivement corrélée avec le stress subi par le poisson (SCHWALME et MACKAY, 1990 ; HEMRE *et al.*, 1990 ; WARING *et al.*, 1992 ; COMTE, 1995). Au regard des valeurs citées dans la bibliographie, il apparaît que le stress lié à la capture et à la manipulation de nos poissons est limité (COMTE, 1995). De manière générale, la glycémie semble atteindre des valeurs maximales en début d'été et des minima en novembre / décembre (BAU *et al.*, 1994). Une température de l'eau plus élevée (HILLE, 1982) ou une déficience en oxygène (SOIVIO *et al.*, 1977) pourraient expliquer l'hyperglycémie constatée à cette époque. Si nos résultats confirment en partie cette variation saisonnière, ils permettent également de déceler des différences liés aux régimes alimentaires en particulier pendant la phase de nourrissage. En effet, durant cette phase les poissons complémentés avec des céréales ont une glycémie plus stable et plus élevée que les autres lots. En revanche, l'influence de l'arrêt de la complémentation sur la glycémie semble être plus réduite que sur les autres paramètres.

Les taux d'immunoglobulines trouvées dans notre étude sont plus élevés que la plupart des résultats cités sur la carpe (RICHTER *et al.*, 1973 *in* INGRAM et

ALLEXANDER, 1979) ou la truite (INGRAM et ALEXANDER, 1979) mais correspondent aux valeurs trouvées sur le silure (TROUTAUD, 1997). Néanmoins, nos résultats mettent en évidence une diminution assez nette des immunoglobulines au mois d'avril pour l'ensemble des lots. Ceci confirmerait que les carpes sont immunodéprimées au sortir de l'hiver (AVTALION *et al.*, 1980 ; RIJKERS *et al.*, 1980). Ce résultat doit cependant être relativisé par l'extrême variabilité inter-individuelle des proportions d'immunoglobulines ; il soulève des interrogations quant aux limites de la technique de purification utilisée pour le dosage. Compte tenu de cette variabilité, il paraît difficile de proposer une évaluation des capacités de défense des poissons reposant uniquement sur ce descripteur. Pour un diagnostic plus approfondi, il est donc nécessaire de compléter ce suivi en utilisant d'autres paramètres (activité du lysozyme sérique, indice de phagocytose, taux de céruloplasmine...).

CONCLUSION

Cette étude a permis de souligner l'influence des conditions d'élevage sur la croissance pondérale et l'état physiologique des poissons, notamment ceux qui ont bénéficié d'une alimentation à base d'aliment complet riche en protéines. Les principaux effets ont été constatés au printemps, lors de la modification de la densité d'élevage et du régime alimentaire. Le passage d'une phase d'élevage semi-intensive vers une phase plus extensive, simulant un transfert en étang, s'est traduit en effet par une croissance limitée et une diminution des constantes hématologiques (hématocrite, hémoglobines et nombre de globules rouges) des poissons initialement nourris avec des granulés.

L'évolution des teneurs en immunoglobulines au cours de la période hivernale illustre l'effet connu des basses températures environnementales sur l'expression des défenses immunitaires des poissons, avec classiquement une immunodépression des défenses spécifiques. Il semble donc que les poissons soient fragilisés au sortir de l'hiver, quel que soit leur régime alimentaire initial.

Compte tenu de ces résultats, il serait peut-être souhaitable de maintenir une complémentation de base après le transfert en étang, notamment pour les poissons initialement nourris avec des granulés afin de limiter leur fragilité. Néanmoins, le manque de valeurs physiologiques de référence et la multitude de facteurs externes dont elles dépendent doivent inciter à la prudence quant à l'interprétation des bilans sanguins.

BIBLIOGRAPHIE

- AVTALION R.R., WISHKOVSKY A., KATZ D., 1980. Regulatory effect of temperature on specific suppression and enhancement on the humoral response in fish. *In* : Immunological Memory, 113-121. MANNING M.J. (ed.).
- BARTON B.A., IWAMA G.K., 1991. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids. *Ann. Rev. Fish Dis.*, 1, 3-26.
- BAU F., PARENT J.P., VELLAS F., 1994. Evolution saisonnière des paramètres sanguins chez divers Téléostéens capturés dans une retenue. *Ichthyophysiologicala acta*, 17, 63-89.
- CHEN G.R., SUN L.T., LEE Y.H., CHANG C.F., 1995. Characteristics of blood in Common carp, *Cyprinus carpio*, exposed to low temperatures. *J. Appl. Aquacult.*, 5 (3), 21-31.
- COMTE S., 1995. Les indicateurs sanguins plasmatiques et cellulaires du stress à court terme chez le poisson. Thèse Ecole nationale vétérinaire de Lyon, p. 162.
- FANGET R., 1972. Contribution à l'écologie des étangs piscicoles de la Dombes : sur le régime alimentaire de la carpe à miroir (*Cyprinus carpio*). Thèse, Univ-Lyon 1, 62 p.

- FOURIE F. LE R., HATTINGH J., 1976. A seasonal study of the haematology of carp (*Cyprinus carpio*) from a locality in the Transvaal. *South Africa. Zool. afr.*, 11, 75-80.
- HEMRE G.I., LIE O., LAMBERSTEN G., SUNDBY A., 1990. Dietary carbohydrate utilization in cod (*Gadus morhua*). *Aquaculture*, 95, 319-328.
- HICKEY C.R., 1976. Fish hematology, its uses and significance. *New York Fish and Game Journal*, 23, 170-175.
- HILLE S., 1982. A literature review of the blood chemistry of rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *J. Fish Biol.*, 20, 535-569.
- INGRAM G.A., ALEXANDER J.B., 1979. The immunoglobulin of the brown trout, *Salmo trutta* and its concentration in the serum of antigen-stimulated and non-stimulated fish. *J. Fish Biol.*, 14, 249-260.
- LOWRY O.H., ROSENBROUGH N.J., FARR A.L., RANDALL R.J., 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent, *J. Biol. Chem.*, 193, 265.
- MAHAJAN C.L., DHEER T.R., 1983. Haematological and haematopoietic responses to starvation in an air-breathing fish *Channa punctatus* Bloch. *J. Fish Biol.*, 22, 111-123.
- MC GOVERN J.J., JONES A.R., STEINBERG A.J., 1955. The hematocrit of capillary blood. *New Eng. J. Med.*, 253, 308-312.
- PEARSON M.P., STEVENS E.D., 1991. Size and hematological impact of the splenic erythrocyte reservoir in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Fish Physiol. Biochem.*, 9, 39-50.
- PEREZ J., GUTIERREZ J., CARRILLO M., ZANUY S., FERNANDEZ J., 1989. Effect of bonito insulin injection on plasma immunoreactive glucagon levels and carbohydrate and lipid metabolism of sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Comp. Biochem. Physiol.*, 94 A, 33-36.
- PICKERING A.D., 1981. Introduction: the concept of biological stress. *In* : Stress and fish, 1-8. London, Academic Press.
- PLUMB J.A., HOROWITZ S.A., ROGERS W.A., 1986. Feed-related anemia in cultured channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture*, 51, 175-179.
- RAILO E., NIKIMAA M., SOIVIO A., 1985. Effects of sampling on blood parameters in the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *J. Fish. Biol.*, 26, 725-732.
- RICHTER R., FRENZEL E.M., HÄDGE D., KOPPENSCHLÄGER G., AMBROSIUS H., 1973. Strukturelle und immunchemische untersuchungen am immunglobulin des Karpfens (*Cyprinus carpio* L.). I. Analyse am gesamt molekül. *Acta biol. Med. Germ.*, 30, 735-749.
- RIJKERS G.T., FREDERIX-WOLTERS E.M.H., VAN MUISWINKEL W.B., 1980. Temperature dependence of humoral immunity in carp (*Cyprinus carpio*). *Immunology*, 41, 91-97.
- ROMESTAND B., HALSBAND E., BRAGONI G., KNESEVIC B., MARIC D., PROCHNOW F., 1983. Etude hématologique comparée des constantes erythrocytaires de quelques poissons marins et d'eaux douces. *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, 46 (2), 147-156.
- SATO S., 1991. Common carp (*Cyprinus carpio*). *In* : Handbook of nutriment requirements of fish, 55-67. R.P. Wilson, CRC Press London.
- SAUER D.M., HAIDER G., 1977. Enzyme activities in the serum of rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson; the effects of water temperature. *J. Fish Biol.*, 11, 605-612.
- SCHWALME K., MACKAY W.C., 1990. Mechanisms that elevate the glucose concentration of muscle and liver in yellow perch (*Perca flavescens* Mitchill) after exercise-handling stress. *Can. J. Zool.*, 69, 456-461.
- SIWICKI A.K., ANDERSON D.P., 1993. Immunostimulation in fish: Measuring the effects of stimulants by serological and immunological methods. U.S. Fish and Wildlife Service, IFI, Poland, 1, 24 p.
- SOIVIO A., OIKARI A., 1976. Haematological effects of stress on a teleost, *Esox lucius* L. *J. Fish Biol.*, 8, 397-411.

- SOIVIO A., NYHOLM K., HUHTI M., 1977. Effects of anesthesia with MS 222, neutralized MS 222 and benzocaine on the blood constituents of rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *J. Fish Biol.*, 10, 91-101.
- TROUTAUD D., 1997. Effet d'un régime alimentaire supplémenté en vitamines C et E et en Sélénium sur l'expression des défenses immunitaires du silure au cours de l'hivernage. Rapport d'étude, Université de Limoges, p. 9.
- VAN KAMPEN E.J., ZIJLSTRA W.G., 1961. Standardization of hemoglobinometry. II. The hemoglobincyanide method. *Clin. Chim. Acta*, 6, 538-544.
- VAN VUREN J.H.J., HATTINGH J., 1978. A seasonal study of the haematology of wild freshwater fish. *J. Fish Biol.*, 13, 305-313.
- VELLAS F., FERRONI J.M., BAU F., PARENT J.P., 1994. Recherches sur l'état physiologique des poissons de la retenue de Pareloup : données relatives à cinq années d'étude. *Hydroécol. Appl.*, 6 (1-2), 257-292.
- WARING C.P., STAGG R.M., POXTON M.G., 1992. The effects of handling on flounder (*Platichthys flesus* L.) and Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *J. Fish Biol.*, 41, 131-144.
- WEDEMEYER G. A., YASUTAKE M.T., 1978. Prevention and treatment of nitrite toxicity in juvenile stellhead trout (*Salmo gairdneri*). *J. Fish. Res. Bd Can.*, 35, 822-827.
- WELLS R.M.G., WEBER R.E., 1991. Is there an optimal haematocrit for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum)? An interpretation of recent data based on blood viscosity measurements. *J. Fish Biol.*, 38, 53-65.
- WITTERS H.E., VAN PUYMBROECK S., VAN DEN SANDE I., VANDERBORGTH O.L.J., 1990. Haematological disturbances and osmotic shifts in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) under acid and aluminium exposure. *J. Comp. Physiol.*, 160 B, 563-571.

