

Evolution saisonnière de la composition biochimique de deux Téléostéens (*Perca fluviatilis*, L., *Rutilus rutilus*, L.) et du plancton dans la retenue de Pareloup (Aveyron)

J.M. Ferroni¹
P. Francisco¹
J.P. Parent¹
J.N. Tourenq¹

Mots clés : retenue, poissons, *Perca fluviatilis*, *Rutilus rutilus*, phytoplancton, zooplancton, composition biochimique.

Les études menées au cours de quatre années sur la composition corporelle de la perche (*Perca fluviatilis*, L.) et du gardon (*Rutilus rutilus*, L.) de la retenue de Pareloup ont révélé certaines années, pendant la période estivale et essentiellement chez la perche, une diminution des lipides somatiques accompagnée soit d'un ralentissement soit d'un arrêt de l'accrétion protéique. En fin d'automne, on a pu observer une croissance compensatrice chez les animaux qui auraient subi des conditions nutritionnelles défavorables en été.

La composition biochimique du plancton au cours du cycle saisonnier montre que la valeur nutritive du phytoplancton et du zooplancton est maximale en été. Par contre, on a observé une diminution de la quantité disponible au cours de l'automne, ce qui implique un élargissement du spectre alimentaire des deux espèces. La variabilité interannuelle de la structure du peuplement et de la biomasse planctonique disponible en été pourrait expliquer l'utilisation des réserves énergétiques chez les poissons à cette saison.

Seasonal variation of the biochemical composition of two Teleosts (*Perca fluviatilis*, L., *Rutilus rutilus*, L.) and plankton in the Pareloup reservoir (Aveyron)

Keywords : reservoir, fishes, *Perca fluviatilis*, *Rutilus rutilus*, phytoplankton, zooplankton, biochemical composition.

Studies in four years on body composition of perch (*Perca fluviatilis*) and roach (*Rutilus rutilus*) from Pareloup reservoir showed, some years, and especially in perch, a decrease in somatic lipids associated with either a slowing down or an interruption in protein accretion in summer. In late autumn, a compensatory growth was observed in fish which could have suffer from unfavorable dietary conditions in summer.

The seasonal determination of phytoplankton and zooplankton biochemical composition indicated a maximal nutritional value in summer. Conversely, a decreasing of available quantity was observed in autumn what implies an extension of dietary spectrum in the two species. In summer, the interannual variability of population structure and available plankton biomass should explain the use of energy reserves in fishes during that season.

1. Introduction

Dans le cadre d'un programme de recherches (PIREN-Eau), des études ont été réalisées sur les populations phytoplanctoniques et zooplanctoniques de la retenue de Pareloup (Massif Central, France). Depuis

1984, l'état nutritionnel des poissons vivant dans ce lac a été suivi. Les deux espèces numériquement les mieux représentées, la perche (*Perca fluviatilis*) carnivore et le gardon (*Rutilus rutilus*) omnivore ont été choisies pour essayer d'établir les relations entre les apports du milieu et leur état physiologique. Si l'étude hydrobiologique effectuée sur cette retenue avait révélé en 1981 une forte tendance vers l'eutrophie (Lair et al. 1982, Dauba 1983), en 1984, aucun signe d'eutrophisation n'a été noté. La détermination des caractéristiques morphophysiologiques et biochimiques chez les deux espèces retenues, à différentes périodes de l'an-

1. CESAC - Laboratoire d'Hydrobiologie, UMR C 5576, Université Paul Sabatier, 118, route de Narbonne, F-31062 Toulouse Cedex, France.

née, a indiqué en été l'existence de conditions environnementales défavorables à leur croissance (Parent et al. 1985; Caminade 1986). Il a été démontré que les croissances moyennes annuelles des poissons du lac de Pareloup sont du même ordre que celles observées dans d'autres lacs européens (Dauba 1983). De plus, les analyses de l'évolution saisonnière des peuplements de phytoplancton (Le Cohu et al. 1991, 1994) et de zooplancton (Francisco & Rey 1994) dans cette retenue révèlent une stabilité des cycles de variation de biomasse phytoplanctonique et des séquences successives d'espèces algales dominantes, mais aussi une variabilité interannuelle de la densité et de la structure du zooplancton.

Dans le but de préciser l'évolution, saisonnière, de l'état physiologique de ces poissons, l'étude a été conduite pendant trois années consécutives (1989, 1990, 1991). De plus, de 1991 à 1993, nous avons suivi la valeur nutritive du plancton en déterminant les teneurs en lipides et en protéines, car il existe peu de travaux portant sur les variations saisonnières de la composition biochimique du phytoplancton et du zooplancton, en milieu naturel (Pourriot & Leborgne 1970, Vijverberg & Frank 1976, Kuosa & Gyllenberg 1989).

2. Matériel et méthodes

2.1. Prélèvements des échantillons

Les perches et les gardons ont été prélevés tous les mois, d'avril à novembre, à l'aide de filets en nylon monofilament de maille de 18 mm. Les filets placés perpendiculairement à la rive, étaient posés à l'aube et au crépuscule et relevés après deux heures de pêche. Les animaux retenus avaient une longueur totale comprise entre 12,5 et 16,5 cm pour un poids entre 30 et 50 g pour les perches, et entre 13,5 et 18 cm pour un poids de 40 à 60 gr pour les gardons. Les perches étaient âgées de 2 à 3 ans et les gardons de 5 à 6 ans. Immédiatement après la pêche, les poissons étaient tués et mesurés (poids et longueurs). Les gonades étaient extirpées et pesées, et le tube digestif vidé ; les poissons (sans leurs gonades) étaient broyés au mixeur Waring Blendor. Les broyats de poissons obtenus étaient congelés dans l'azote liquide et conservés à -20°C.

Le poids (W_m) des poissons a été estimé selon l'équation de Dawson & Grimm (1980) : $W_m = W (L_m/L)^3$ où W et L sont le poids et la longueur totale du poisson au moment de sa capture et L_m représente la longueur établie d'après les courbes de croissance pour les deux espèces étudiées à Pareloup (Dauba 1983).

Les prélèvements mensuels de plancton ont été réalisés selon deux méthodes d'échantillonnage, l'une à l'aide d'un filet «Bongo» de maille 45 μm tracté de 0 à 10 m, deux fois par jour (10 h et 16 h), qui a permis le recueil d'un concentré contenant tout le zooplancton et la presque totalité du phytoplancton, et l'autre avec une pompe immergée circulant lentement de 0 à 10 m ; le volume d'eau aspiré était immédiatement filtré sur un tamis de maille 100 μm précédant un filet conique de maille 10 μm . La fraction zooplanctonique retenue par le tamis, à l'exception des Rotifères et de quelques stades juvéniles de petite taille, était ainsi séparée du phytoplancton. Les différents prélèvements de plancton étaient congelés dans l'azote liquide puis conservés à -20°C avant analyses au laboratoire. En parallèle, des prélèvements ont été réalisés à l'aide d'une bouteille de type Van Dorn (5 l), tous les 5 m depuis la surface. Pour chaque profondeur, une détermination et un comptage des espèces phytoplanctoniques (125 ml fixé avec 0,5 % de glutaraldéhyde neutralisé au cacodylate de sodium en concentration finale) et zooplanctoniques (1,5 l formolé à 4 % en concentration finale) permettent d'évaluer les densités planctoniques du milieu.

La biomasse phytoplanctonique a été calculée par l'équation (biovolume/poids sec) de Reynolds (1984), celle du zooplancton par les relations allométriques empruntées dans la littérature (Dumont et al. 1975, Bottrell et al. 1976).

2.2. Analyses

Chaque broyat de poisson a été déshydraté dans une étuve à vide Heraeus, sur chlorure de calcium à température ambiante jusqu'à obtention d'un poids constant. Les lipides ont été déterminés par gravimétrie après extraction selon la méthode de Folch et al. (1957), les protéines brutes selon la technique de Kjeldhal (N total * 6,25) et les cendres après incinération à 550°C pendant 12 h. La détermination des principaux constituants corporels a été effectuée sur une trentaine d'individus de chaque espèce pour chaque campagne de pêche. Les quantités des différents constituants sont exprimées en gramme pour la totalité du soma, le poids du soma étant évalué à partir du poids corporel estimé (W_m) et du rapport gonadosomatique.

Pour les échantillons de plancton prélevé au filet Bongo, les méthodes analytiques sont les mêmes que pour les poissons. Pour les fractions zooplanctoniques triées en quatre familles (Daphniidae, Bosminidae, Cyclopidae, Diaptomidae) et phytoplanctoniques, les lipides sont déterminés selon Alhgren & Merino (1991) et les protéines par la méthode de Peterson (1983) adaptée aux microdosages par Clayton et al. (1988).

L'analyse statistique des résultats a été effectuée par le test de Student.

3. Résultats

Les résultats obtenus en 1984 (Parent et al. 1985) ont été repris pour cette étude.

Chez la perche, on a noté un arrêt de la croissance pondérale pendant l'été 1989 et un ralentissement au cours de l'été 1984 (Fig. 1a,b). Toutefois, à la fin de l'automne 1989, la valeur du poids corporel estimé est identique à celui de 1991 mais inférieur à ceux de 1984 et 1990. Quelle que soit l'année, la croissance du gar-

don a été quasiment régulière mais les valeurs de croissance estimée durant l'été 1984 sont inférieures à celles des autres années (Fig. 1c,d). Cependant, pour les quatre années, les poids corporels de ces animaux ont été identiques en fin d'automne.

Les teneurs en lipides somatiques (Fig. 2) ont augmenté toujours après la fraie chez la perche (avril) comme chez le gardon (mai). On a observé, par la suite, pendant la période estivale, selon l'espèce, une diminution plus ou moins importante en 1984 et 1989, une augmentation en 1990 ou une stabilité en 1991. Au cours de l'automne, les réserves lipidiques tendaient à

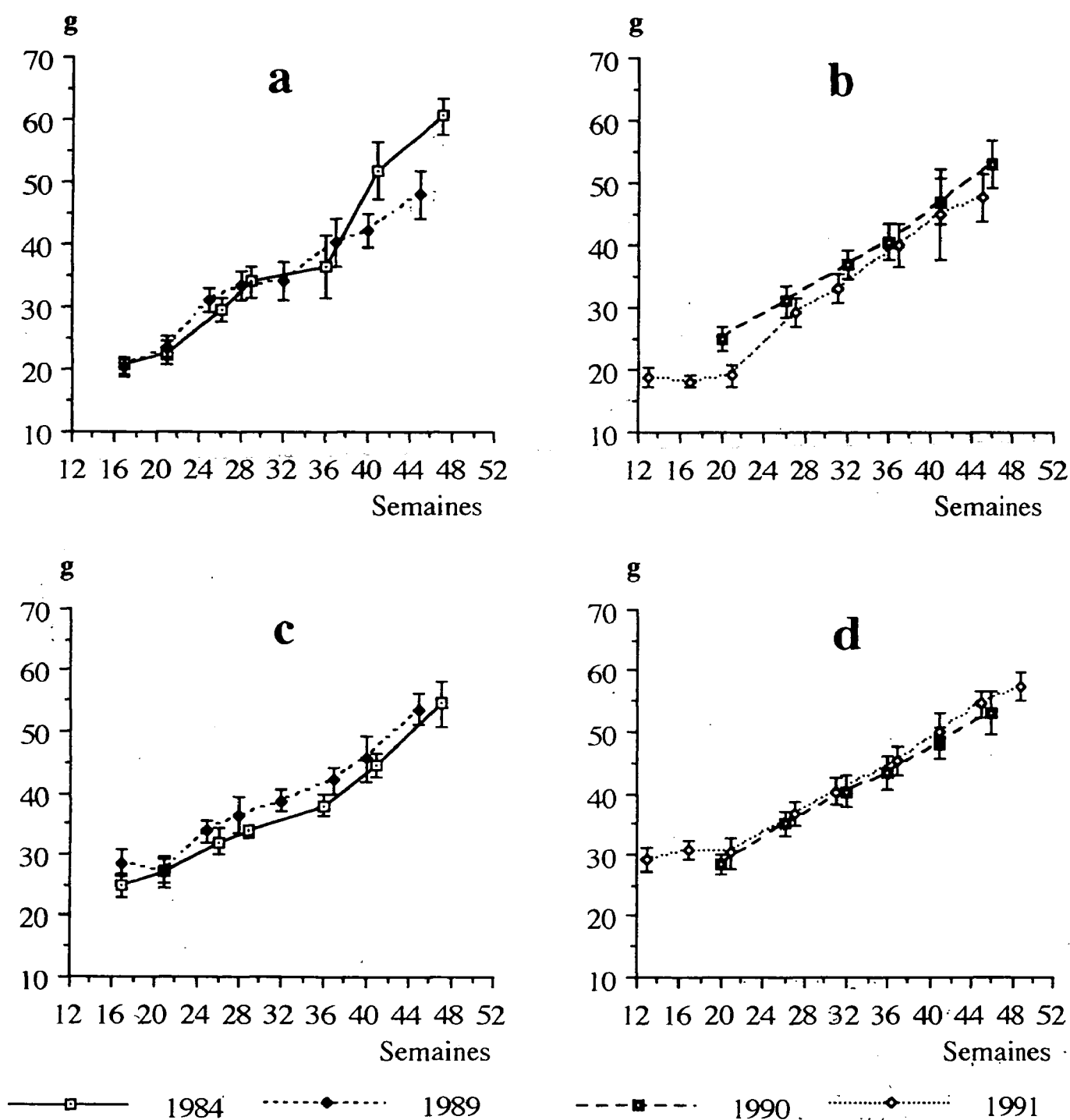


Fig 1. Evolution des poids corporels estimés chez la perche (a,b) et le gardon (c,d).

Fig 1. Changes in predicted body weight of perch (a,b) and roach (c,d).

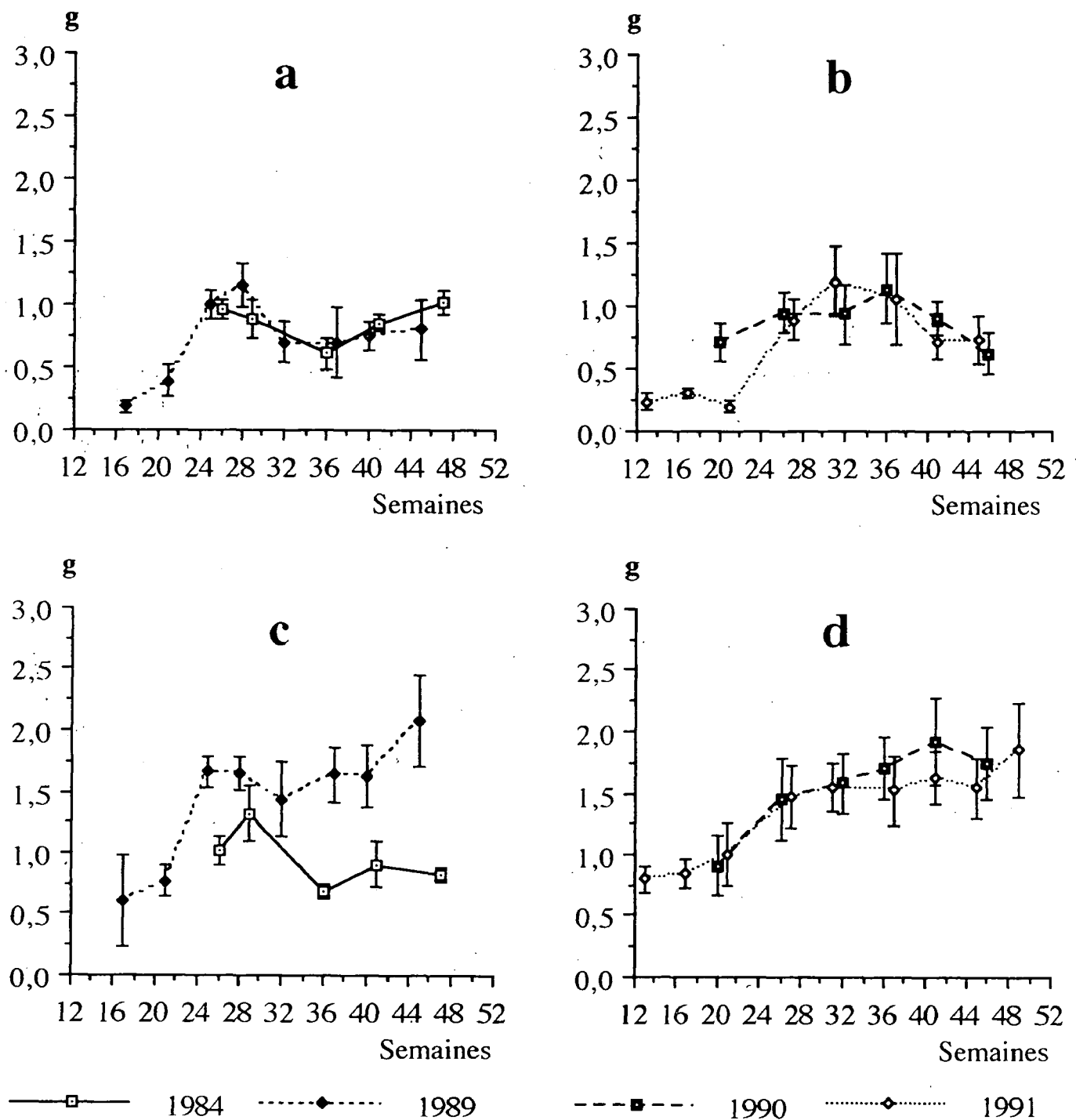


Fig 2. Variations saisonnières de la teneur en lipides du soma chez la perche (a,b) et le gardon (c,d).

Fig 2. Seasonal changes in somatic lipid contents of perch (a,b) and roach (c,d).

se stabiliser ou à augmenter chez le gardon. Ceci a également été observé chez la perche sauf pour les deux dernières années d'étude où ces réserves ont diminué.

Concernant les protéines somatiques, il existait chez la perche, en 1984 (été), en 1989 (début de l'automne) et en 1991 (fin de l'automne) un arrêt de l'accrétion protéique (Fig. 3a,b). Par contre en 1990, la teneur en protéines somatiques a augmenté régulièrement. Pour

la teneur en cendres, il existe en 1984 et en 1989 une stabilité pendant la période estivale (Fig. 4a,b). On a pu noter enfin qu'à la fin de l'automne 1984, les teneurs des différents constituants somatiques ainsi que la croissance étaient supérieures à celles des trois autres années.

L'accrétion protéique chez le gardon est progressive pendant les quatre années (Fig. 3c,d). Quoique les te-

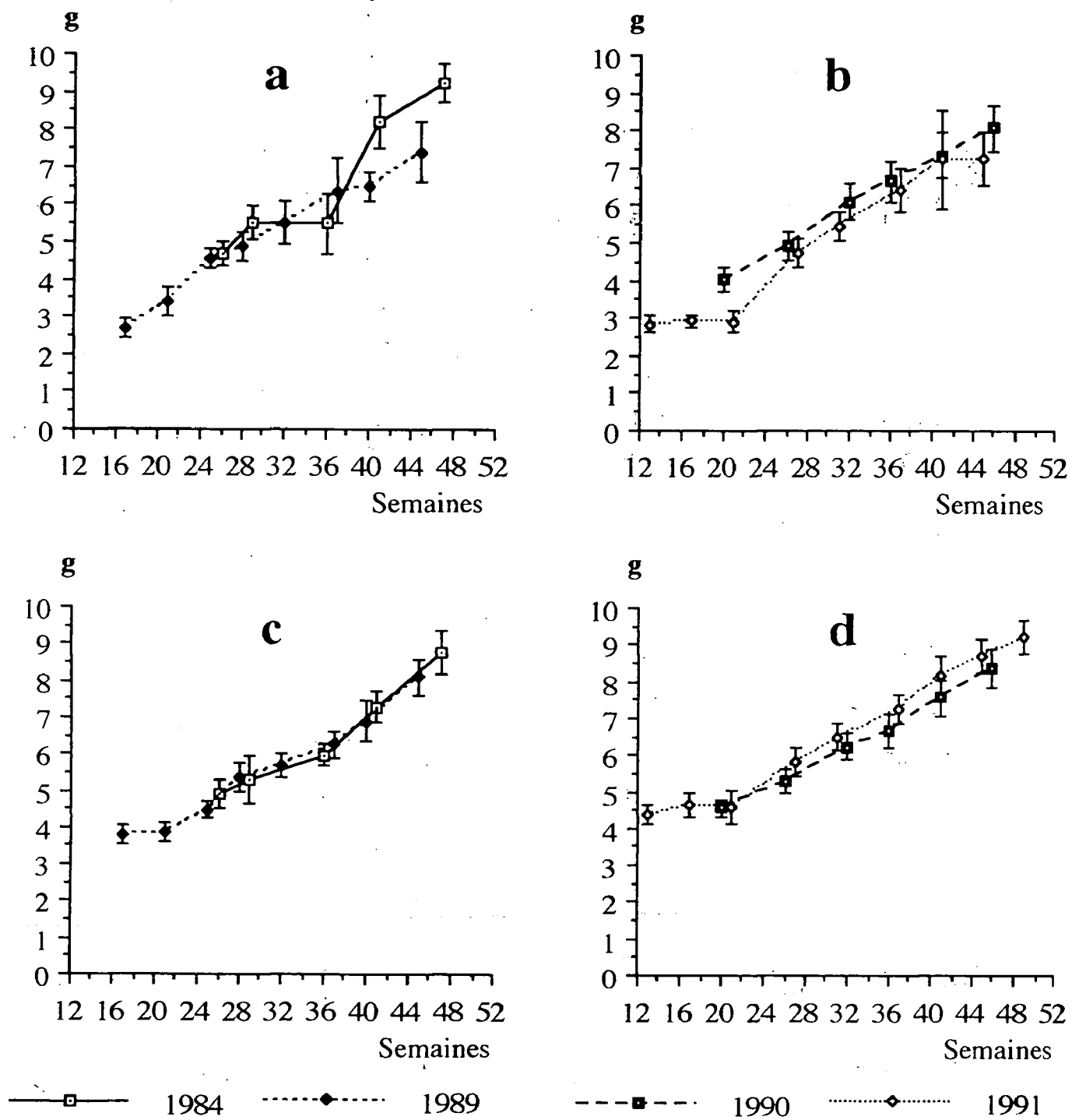


Fig 3. Variations saisonnières de la teneur en protéines du soma chez la perche (a,b) et le gardon (c,d).

Fig 3. Seasonal changes in somatic contents of perch (a,b) and roach (c,d).

neurs en cendres du soma au cours de l'été et de l'automne 1991 soient supérieures à celles des trois autres années, leur évolution est similaire à celle des protéines (Fig. 4c,d).

La teneur moyenne en lipides du plancton était voisine de 8,5% du poids sec et elle a eu tendance à augmenter en 1991 du printemps à l'automne (Fig. 5a). En août 1992, un pic important (17 % du poids sec) a été enregistré.

Les protéines présentent au cours des trois années une évolution similaire (Fig. 5b). Les teneurs sont faibles pendant l'hiver (12 à 15% du poids sec) et maximales à la fin de l'été-début de l'automne (60 à 70%).

L'évolution de la teneur en cendres (Fig. 5c) est inverse à celle des protéines avec des valeurs minimales en été (10% du poids sec) et maximales en hiver (65 % du poids sec).

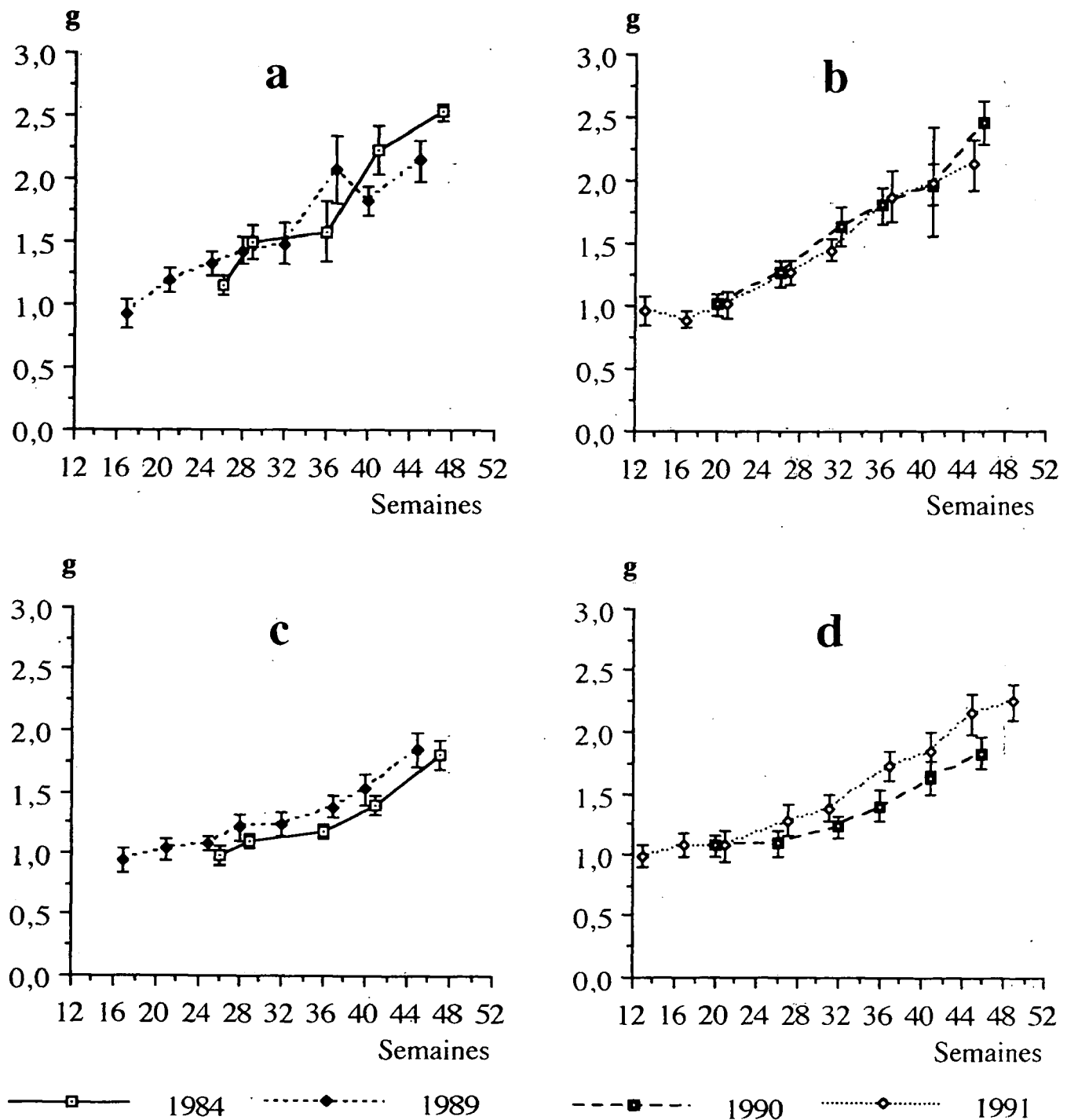


Fig. 4. Variations saisonnières de la teneur en cendres du soma chez la perche (a, b) et le gardon (c, d).

Fig 4. Seasonal changes in somatic ash contents of perch (a,b) and roach (c,d).

Les concentrations en lipides et protéines particulaires ($> 10 \mu\text{m}$) dans le milieu sont calculées à partir des dosages biochimiques (Tableaux 1, 2) et des biomasses planctoniques (Tableau 3).

La contribution du zooplancton aux lipides et protéines planctoniques est très faible en hiver (1992 et 1993), importante en juin (50 à 60 %) et diminue en juillet (Fig. 6). Par la suite, la contribution du zooplancton aux lipides atteint sa valeur maximale en automne (60 à 70 %) ; à l'inverse, la contribution zoo-

planctonique aux protéines reste stable durant l'été et l'automne (20 à 25 %).

L'évolution de la concentration des lipides planctoniques en 1992 et en 1993 a été similaire à celle observée pour les protéines (Fig. 7). En 1992, les lipides et les protéines du plancton ont augmenté et atteint une valeur maximale en mai. On a observé, les mois suivants, une importante diminution immédiatement suivie d'une hausse au début de la période estivale, l'automne toujours caractérisé par de faibles valeurs.

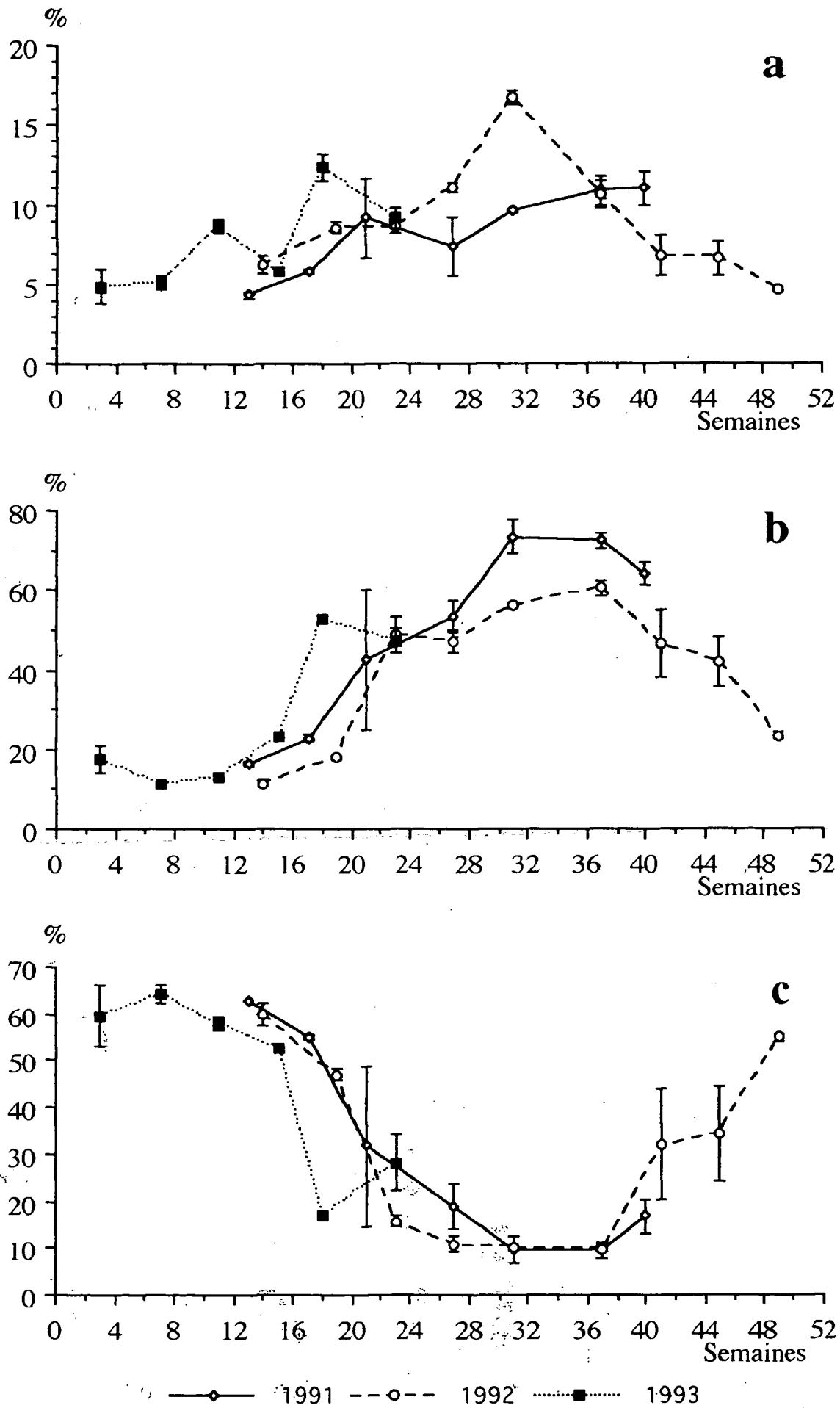


Fig 5. Teneurs en lipides (a), protéines (b) et cendres (c) en pourcentage du poids sec du plancton (0-10 m).
Fig 5. Levels of lipids (a), proteins (b) and ashes (c) of plankton (in % dry weight) (0-10 m).

Tableau 1. Evolution saisonnière des lipides du phytoplancton et du zooplancton (en % du poids sec).

Table 1. Seasonal changes in lipids of phytoplankton and zooplankton (in % dry weight).

année	semaine	phytoplancton	zooplancton			
			Daphniidae	Bosminidae	Cyclopidae	Diaptomidae
1 9 9 2	11	9,2 ± 0,5	20,5 ± 5,6	17 ± 3,4	27,7 ± 0,5	24,1 ± 0,3
	15	9,5 ± 0,8	22,7 ± 0,1	14,3 ± 0,2	22,7 ± 0,5	24,1 ± 1
	19	13,1 ± 1,7	21,1 ± 2,3	17,4 ± 1,5	20,6 ± 2,8	17,7 ± 1
	23	13,6 ± 1,7	31,9 ± 7,1	25,2 ± 4,8	27,7 ± 1,5	36,5 ± 2,8
	27	18,7 ± 0,5	19,9 ± 0,1	26,6 ± 1	30,5 ± 2,8	12,1 ± 0,7
	31	15,8 ± 0,3	38,8 ± 1,5	34,8 ± 1	35,5 ± 2,5	27 ± 2,8
	41	4,4 ± 0,1	45,4 ± 0,3	35,8 ± 0,1	40,8 ± 0,5	41,5 ± 0,6
	45	1,7 ± 0,3	28,1 ± 0,6	38,1 ± 1,3	40,4 ± 1,5	35,9 ± 0,9
1 9 9 3	49	5,4 ± 0,5	23,8 ± 1,6	38,2 ± 1,4	40,1 ± 0,5	30 ± 0,1
	3	7,1 ± 0,3	16,1 ± 0,1	21,6 ± 0,2	26,9 ± 1	30,2 ± 2,1
	7	12,4 ± 0,1	22 ± 0,4	24,1 ± 1	30,1 ± 0,5	26 ± 0,3
	11	13,9 ± 0,5	30,6 ± 0,3	23,2 ± 0,7	32,3 ± 0,5	29,7 ± 0,3
	15	15,1 ± 0,3	33,1 ± 1	21,9 ± 0,5	30 ± 0,1	27 ± 0,3
	18	16 ± 0,4	29,1 ± 0,1	24,3 ± 0,4	25,5 ± 0,3	24,8 ± 0,2

Tableau 2. Evolution saisonnière des protéines du phytoplancton et du zooplancton (en % du poids sec).

Table 2. Seasonal changes in proteins of phytoplankton and zooplankton (in % dry weight).

année	semaine	phytoplancton	zooplancton			
			Daphniidae	Bosminidae	Cyclopidae	Diaptomidae
1 9 9 2	11	15,3 ± 0,2	29,8 ± 1,7	36,3 ± 3,4	46,1 ± 1	46,9 ± 1,5
	15	18,5 ± 0,3	26,3 ± 4,1	33,6 ± 1,6	43,3 ± 0,3	35,5 ± 1,5
	19	19,9 ± 0,4	45,9 ± 2,7	21,3 ± 2,2	62,5 ± 1,5	61,1 ± 2,1
	23	13,5 ± 2,4	28,1 ± 0,3	43,1 ± 2,5	61,8 ± 1	58,9 ± 0,4
	27	24,2 ± 2,7	56,1 ± 4	50,4 ± 2	68,3 ± 1,5	68,1 ± 4
	31	35,1 ± 0,5	62,5 ± 3	57,1 ± 5,5	62,5 ± 2,8	72,4 ± 4
	41	30,7 ± 2,1	52,2 ± 1,5	49,7 ± 0,1	60,1 ± 0,5	58,1 ± 0,5
	45	23,3 ± 2,3	46,1 ± 1	36,7 ± 1,7	59,1 ± 1	61,4 ± 1,5
1 9 9 3	49	21,1 ± 0,5	44,1 ± 2	37,8 ± 0,5	57,5 ± 1	57,5 ± 1
	3	22,4 ± 0,2	37,9 ± 0,3	44,1 ± 4,7	44,6 ± 0,1	56,1 ± 1
	7	26,1 ± 0,6	36,7 ± 1,7	42,6 ± 0,1	48,2 ± 0,1	51,5 ± 2,5
	11	28,1 ± 0,5	31,7 ± 0,3	40,8 ± 0,2	47,9 ± 0,5	46,5 ± 0,5
	15	34,8 ± 0,4	37,1 ± 0,3	35,3 ± 0,3	46,6 ± 0,5	43,3 ± 2
	18	40,7 ± 2,8	43,2 ± 1,2	25,9 ± 0,1	68,1 ± 1	68,2 ± 0,5

Tableau 3. Evolution saisonnière de la biomasse du phytoplancton et du zooplancton (mg/m³ du poids sec).
Table 3. Seasonal changes in the biomass of phytoplankton and zooplankton (mg/m³ dry weight).

année	semaine	phytoplancton	zooplancton			
			Daphniidae	Bosminidae	Cyclopidae	Diaptomidae
1 9 9 2	11	1474	3,8	28,4	3,4	13,6
	15	2486	6,1	14,4	2,1	11,3
	19	2412	3,7	10,7	2,7	8
	23	215	58	28,6	1,8	15,6
	27	805	45,9	23,8	4,9	17,1
	31	825	15,9	21,8	16,7	62,5
	41	155	2,9	12,3	8,9	7,6
	45	267	1,3	3,9	1,8	9,4
1 9 9 3	49	873	2,2	4,7	5,9	4,8
	3	1274	1	10	6	9,2
	7	1813	0,5	12,6	2,3	6,2
	11	3366	1,7	12,3	2,9	17,4
	15	2183	2,7	26,1	6,7	8,4
	18	1609	3,3	12,8	28,9	11,1

Les plus fortes concentrations en lipides et protéines planctoniques sont relevées à la fin de l'hiver 1993.

4. Discussion

De manière générale, la croissance des poissons des régions tempérées s'effectue en été (Nikolsky 1963, Penczak et al. 1978, Dawson & Grimm 1980). Dans la retenue de Pareloup, la croissance pondérale estimée du gardon est quasiment régulière au cours de l'année. Chez la perche, bien que Lind (1974) indique que la période de croissance de la perche commune se situe entre juin et août, nous avons noté pendant la période estivale, un ralentissement en 1984 et un arrêt en 1989.

Le niveau des réserves lipidiques corporelles peut servir d'indicateur de « bien-être » d'une population de poissons (Shul'man 1974), et selon Nikolsky (1963), un accroissement des lipides somatiques chez les poissons sauvages témoignerait d'une plus grande disponibilité de biomasse alimentaire. Par contre, la chute de la teneur en lipides peut être provoquée par une diminution de la qualité et/ou de la quantité de nourriture mais également par une élévation de la température du milieu (Parker & Vanstome 1966, Brett et al. 1969, Elliott 1976, Huisman et al. 1979). Dans ce lac, pour les

quatre années étudiées, la température de l'eau n'a jamais dépassé 23°C, celle-ci étant toujours en dessous des préférendums thermiques de ces deux espèces (Coutant 1975; Hokanson 1977, Love 1980). On peut raisonnablement penser que le gardon en 1984 et la perche en 1984 et 1989 ont ingéré moins de nourriture ou de qualité moindre durant la période estivale comme l'ont montré Chappaz et al. (1990) dans une autre retenue. Cependant, pour les années 1990-1991, il semblerait que les conditions nutritionnelles du milieu en été aient été suffisantes pour permettre aux poissons d'accumuler des réserves lipidiques.

La diminution des lipides somatiques constatée en fin d'automne certaines années serait liée à l'élaboration des gonades comme l'ont indiqué Tanasichuk & Mackay (1989) chez la perchaude. Si l'énergie alimentaire est suffisante durant la reprise de l'activité gonadique, on peut alors observer le maintien des réserves lipidiques aussi bien chez le gardon que chez la perche.

L'évolution de la teneur en protéines montre, chez ces deux espèces, une élévation quasi-linéaire d'avril à novembre. Cependant, chez la perche, en 1984, il a été observé un arrêt de l'accrétion protéique concomitant à une forte baisse des lipides somatiques ; ceci témoignerait de conditions nutritionnelles très défavorables. Les teneurs en protéines chez la perche mesurées en

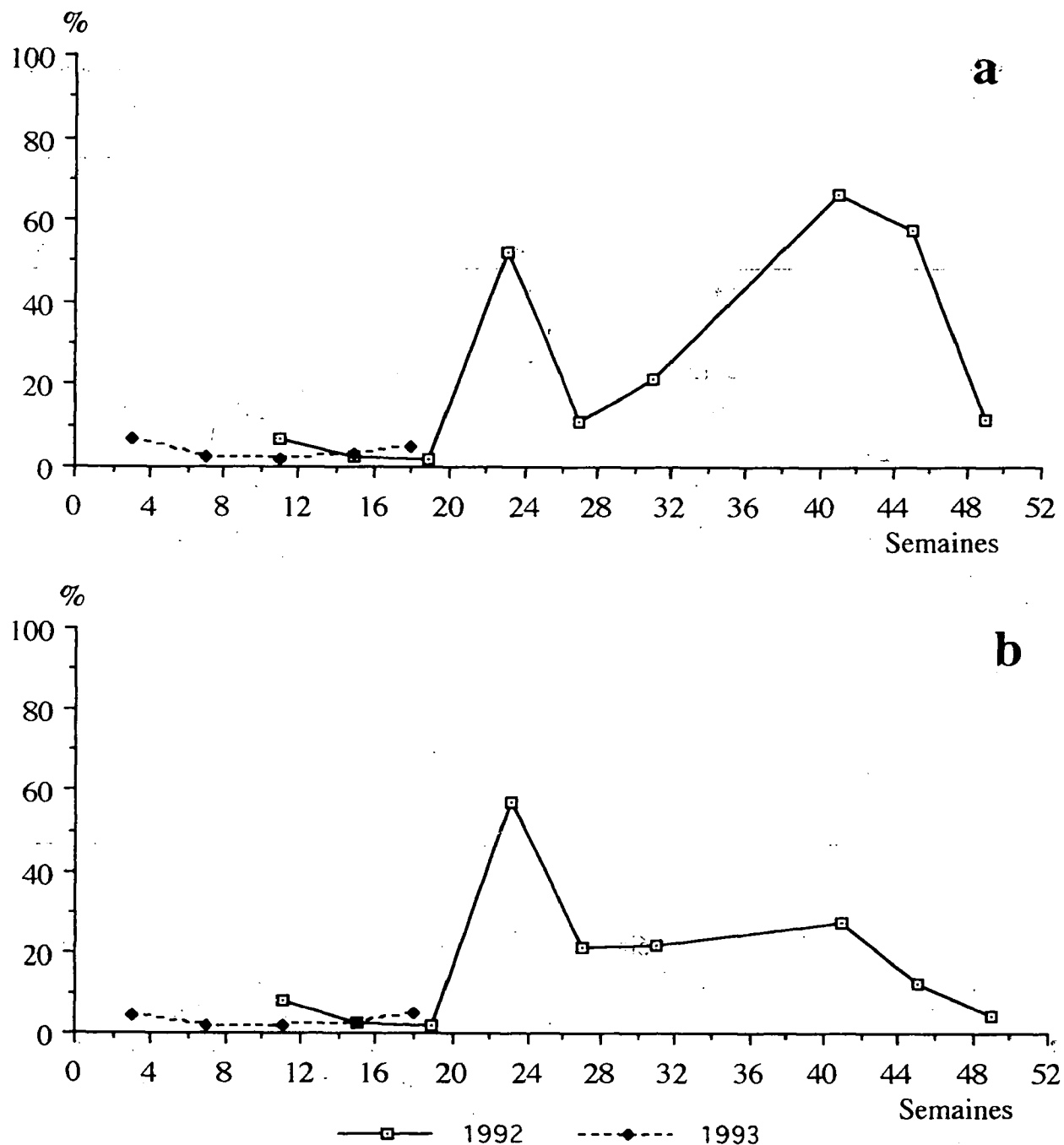


Fig 6. Contribution du zooplancton à la teneur en lipides (a) et protéines (b) du plancton (0-10 m).

Fig 6. Zooplanktonic contribution in lipid (a) and protein (b) contents of plankton (0-10 m).

fin d'automne 1984, équivalentes à celles déterminées les autres années, indiqueraient l'existence d'une croissance compensatrice chez des poissons qui auraient subi une période critique. Ces résultats corroborent les travaux de nombreux auteurs (Bouche et al. 1973, Craig 1985, Weatherley & Gill 1987, Miglav & Jobling 1989, Jobling et al. 1993).

Le pourcentage de cendres du soma est relativement constant par rapport à celui des autres constituants (Elliott 1976, Papoutsoglou et al. 1978). Il est donc normal que l'évolution de la teneur en cendres des animaux soit en relation avec celle de la croissance.

Il semblerait que le gardon de par son régime alimentaire, puisse mieux s'adapter à des conditions nu-

tritionnelles défavorables certains étés contrairement à la perche au régime essentiellement carnivore. Mais, d'après Townsend & Perrow (1989), une forte population de gardons 0+ induirait une diminution de croissance des poissons plus âgés en été car toutes les classes d'âge se nourrissent principalement de cladocères. Cependant, le gardon est une espèce à large spectre alimentaire constitué par le zooplancton, les macroinvertébrés, le phytoplancton, et des détritiques comme l'indiquent de nombreux auteurs (Goldspink 1979, Niederhozer & Hofer 1980, Persson 1983b, Chappaz et al. 1990, Lammens & Hoogenboezem 1991, Richeux et al. 1994). La perche âgée de 2 à 3 ans, a un régime composé essentiellement de zoo-

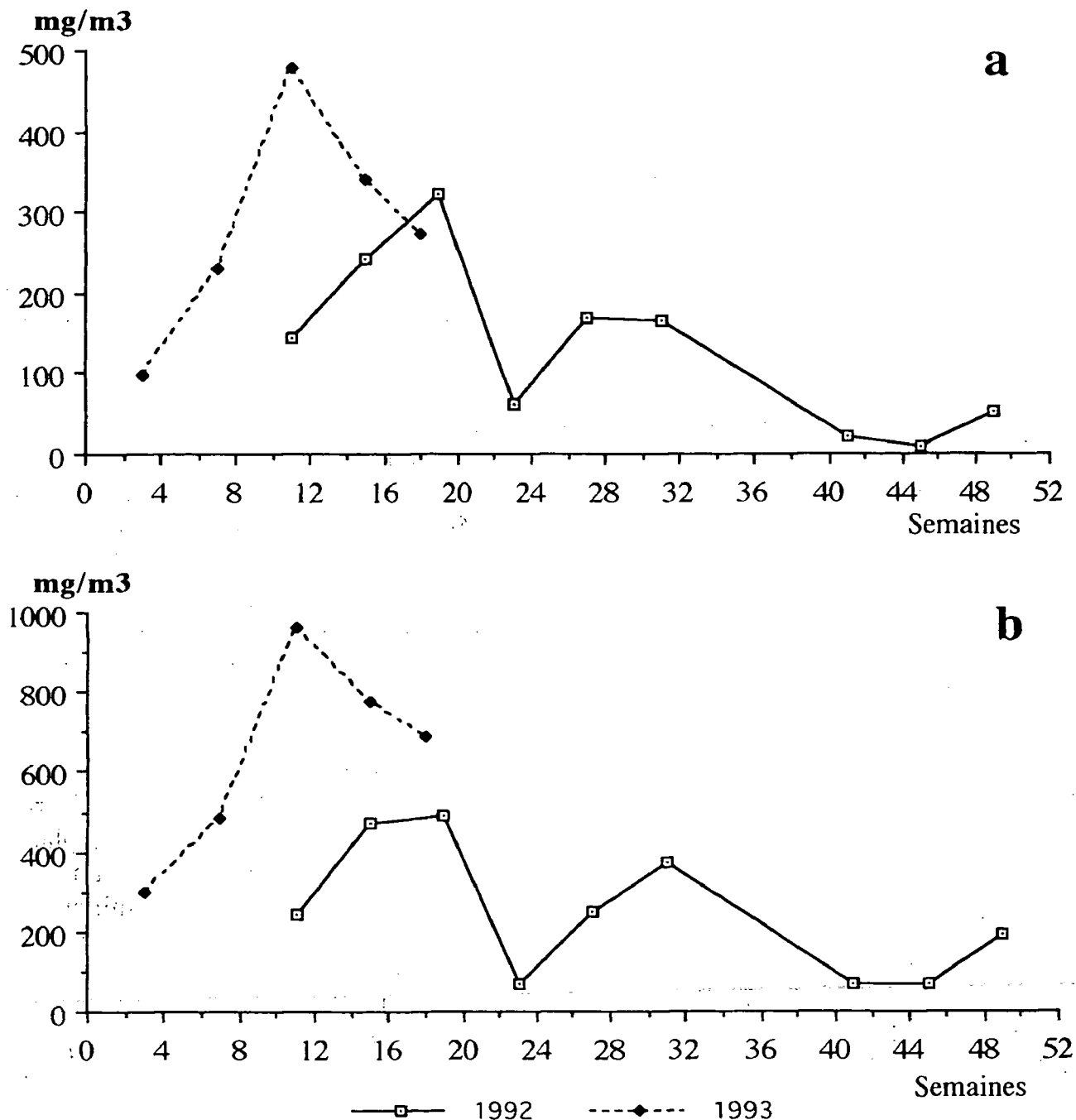


Fig 7. Evolution des concentrations de lipides (a) et de protéines (b) particulières planctoniques (0-10 m).

Fig 7. Changes in lipid (a) and protein (b) concentrations of plankton (0-10 m).

plancton et de macroinvertébrés, quel que soit son habitat (Eie & Borgstrom 1981, Persson 1983a, 1986b). La présence d'une importante population de gardons dans le milieu induirait une diminution des ressources alimentaires pour la perche (Persson 1986b, Bergman 1990). Par ailleurs, Persson (1986a) a montré que divers paramètres étudiés au laboratoire — vitesse de nage, probabilité de capture du zooplancton, temps de chasse — sont en faveur du gardon par rapport à la perche quand la température de l'eau augmente. De plus, en été, en raison de l'élévation de la température, la demande métabolique des poissons augmente alors que la densité des ressources de la zone littorale (ma-

croinvertébrés) décroît généralement du printemps à l'été (Persson 1987). Enfin, dans les lacs eutrophes, quand la compétition avec les autres espèces de poissons et en particulier avec la perche est la plus forte, le gardon est capable d'assimiler les cyanobactéries (Goldspink 1979, Persson 1983a, b, c, 1991).

Le plancton étant l'une des principales ressources alimentaires de ces deux poissons (Richeux et al. 1994), les variations qualitatives et quantitatives de ses éléments constitutifs (lipides et protéines) ont été suivies pendant un cycle saisonnier.

Dans la retenue, le peuplement phytoplanctonique est dominé au printemps par les diatomées (> à 90%)

essentiellement *Asterionella formosa*. Leur développement entraîne une chute de silice de l'ordre de 50 % en avril-mai (Le Cohu et al. 1991). La carence en silice induirait chez cette population une accumulation de lipides par l'arrêt des divisions cellulaires à cette période, comme l'ont montré Tagushi et al. (1987) chez des diatomées marines. Le plancton étant alors constitué essentiellement de diatomées, on observe une augmentation des lipides dans le milieu.

La hausse des lipides en période estivale pourrait être la conséquence de l'élévation de la biomasse zooplanctonique. De plus, l'élévation de la température du lac et l'augmentation de la valeur nutritive du phytoplancton ingéré entraîne un accroissement de la charge lipidique du zooplancton, comme l'ont déjà signalé plusieurs auteurs (Teissier & Goulden 1982, Infante & Litt 1985, Kuosa & Gyllenberg 1989, Alhgren et al. 1990).

En automne, l'augmentation de la contribution du zooplancton aux lipides particuliers planctoniques coïncide avec l'apparition d'individus de grande taille. De plus, la disparition de la stratification thermique entraînant la remise en solution de la silice, favorise à cette époque le développement des diatomées. La phase de division cellulaire nécessitant une importante mobilisation énergétique, induit une baisse du pourcentage de lipides phytoplanctoniques (Sicko-Goad & Andresen 1991). Il résulte de ces deux phénomènes une diminution du pourcentage et de la quantité de lipides planctoniques disponibles dans le milieu.

Les variations des teneurs en protéines du plancton observées au cours de cette étude correspondent aux changements de la composition spécifique du phytoplancton. Ainsi, les valeurs les plus faibles relevées en hiver coïncident avec la période de dominance des diatomées. Mais, étant donné l'importante biomasse algale, les concentrations de protéines présentes dans le milieu sont maximales. En effet, le pourcentage de protéines varie dans la fraction phytoplanctonique en relation avec les espèces dominantes. Behrendt (1990) montre qu'un peuplement de phytoplancton dominé par des diatomées a un taux de protéines voisin de 20 %. En revanche, lorsque la population est dominée par des cyanophycées, celui-ci peut atteindre 48 %. Khan & Siddiqui (1971) signalent que dans un peuplement essentiellement composé de pyrrophytes, le pourcentage de protéines atteint de 42 % du poids sec.

Avec la période estivale, la diversité spécifique augmente. Les diatomées sont alors supplantées par les cryptophycées (*Cryptomonas*), les dinoflagellés (*Peridinium*, *Gymnodinium*), les cyanobactéries (*Anabaena*, *Aphanizomenon flos aquae*). Les valeurs élevées des teneurs en protéines des groupes présents en été

contribuent à l'augmentation du pourcentage des protéines dans le plancton de Pareloup à cette saison. L'augmentation de la densité zooplanctonique entraîne la hausse de la contribution du zooplancton aux protéines planctoniques. Certains auteurs (Pourriot & Leborgne 1970, Baudoin & Ravera 1972, Mc Kee & Knowles 1987) ont montré que chez le zooplancton et quel que soit le stade de développement, le pourcentage de protéines est important (47 à 66 %).

L'augmentation de la diversité spécifique phytoplanctonique associée à l'augmentation de la biomasse zooplanctonique entraînent une hausse du pourcentage des protéines du plancton. Cependant, au début de l'été, la biomasse disponible étant très faible, la concentration en protéines présentes dans le milieu est minimale.

L'automne est caractérisé par la diminution de la teneur en protéines phytoplanctoniques en relation avec le début de la deuxième phase de développement des diatomées. A la fin de l'automne, l'accroissement de la concentration en protéines planctoniques résulte de l'augmentation de la biomasse phytoplanctonique.

On observe une évolution inverse entre les pourcentages de cendres et de protéines du plancton. Le taux de cendres est corrélé positivement avec la proportion des diatomées présentes dans le milieu. Ainsi en hiver, le pourcentage de cendres est maximal ; il chute avec la disparition de ces algues (fin mai). Les faibles valeurs estivales s'expliquent par la présence, en majorité, d'espèces phytoplanctoniques ne possédant pas de frustules siliceuses.

Dans ce lac mésotrophe, les modifications des teneurs en protéines et lipides observées chez les poissons au cours de cycles saisonniers montrent, malgré un apport nutritionnel fluctuant, que la croissance annuelle de ces animaux n'est pas nettement affectée.

L'existence d'une population très importante de cyprinidés, provoque en été, une forte prédation du zooplancton, celle-ci pouvant engendrer une compétition trophique défavorable aux perches ; de plus, la variabilité interannuelle de la biomasse planctonique peut exacerber ce phénomène et entraîner alors de mauvaises conditions nutritionnelles.

La faible qualité du plancton en automne, alors que la croissance est importante à cette époque chez les poissons, implique que ces animaux se nourrissent également de macroinvertébrés. Aussi, pour une meilleure compréhension des flux énergétiques au sein de cet écosystème, il serait nécessaire de déterminer la valeur nutritionnelle de l'ensemble des macroinvertébrés.

Travaux cités

- Ahlgren G. & Merino L. 1991. — Lipid analysis of freshwater microalgae : a method study. *Arch. Hydrobiol.*, 121 (3) : 295-306.
- Ahlgren G., Lundstedt L., Brett M. & Forsberg C. — 1990. Lipid composition and food quality of some freshwater phytoplankton for cladoceran zooplankters. *J. Plankton research.*, 12 (4) : 809-818.
- Baudouin M.F. & Ravera O. 1972. — Weight, size and chemical composition of some freshwater zooplankters : *Daphnia hyalina* (Leydig). *Limnol. Oceanogr.*, 17 : 645-649.
- Behrendt H. 1990. — The chemical composition of phytoplankton and zooplankton in an eutrophic shallow lake. *Arch. Hydrobiol.*, 118 (2) : 129-145.
- Bergman E. 1990. — Effects of roach *Rutilus rutilus* on two percids, *Perca fluviatilis* and *Gymnocephalus cernua* : importance of species interactions for diet shifts. *Oikos*, 5 : 241-249.
- Bottrell H.H., Duncan A., Gliwicz Z.W., Grygierek E., Herzig A., Hillbricht-Ilkowska A., Kurusawa H., Larsson P. & Weglenska T. 1976. — Contribution from the plankton ecology group. A review of some problems in zooplankton production studies. *Norw. J. Zool.*, 24 : 419-456.
- Brett J.R., Shelbourn J.E. & Shoop C.T. 1969. — Growth rate and body composition of fingerling sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*), in relation to temperature and ration size. *J. Fish. Res. Bd Can.*, 26 : 2363-2394.
- Bouche G., Vellas F. & Serfaty A. 1973. — Influence du jeûne total prolongé suivi d'une période de «réalimentation» sur les acides nucléiques et les protéines du muscle blanc de la carpe commune (*Cyprinus carpio* L.). *Comptes rendus des séances de la Société de Biologie*, 167 (1) : 148.
- Caminade V. 1986. — Recherches sur l'état nutritionnel de deux espèces de poissons de la retenue de Pareloup (Aveyron) : le gardon (*Rutilus rutilus* L.) et la perche (*Perca fluviatilis* L.). Thèse 3^{ème} cycle INP. ENSA Toulouse : 79 p.
- Chappaz R., Brun G. & Olivari G. 1990. — Les facteurs de développement du gardon, *Rutilus rutilus* (L.), introduit dans une retenue oligotrophe récente : analyse des paramètres mésologiques et biologiques. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 310 (3) : 27-33.
- Clayton J.R., Dortch Q., Thorensen S.S. & Ahmed S.I. 1988. — Evaluation of methods for separation and analysis of proteins and free amino acids in phytoplankton samples. *J. Plankton Research*, 10 (3) : 341-358.
- Confer J.L. & Blades P.I. 1975. — Omnivorous zooplankton and planktivorous fish. *Limnol. Oceanogr.*, 20 (4) : 571-579.
- Coutant C.C. 1975. — Temperature selection by fish : a factor in powerplant assessments. *Env. Sc. Div. I.A.E.A Sm 187* (11) : 575-597.
- Craig J.F. 1985. — Aging in fish. *Can. J. Zool.*, 63 : 1-8.
- Dauba F. 1983. — Etude hydrobiologique du lac de Pareloup. *Compt. rend. ENSAT/EDF REAM*. 64 p.
- Dawson A.S. & Grimm A.S. 1980. — Quantitative seasonal changes in the protein, lipid and energy content of the carcass, ovaries and liver of adult female plaice, *Pleuronectes platessa* L. *J. Fish. Biol.*, 16 : 493-504.
- Dumont H.S., Van de Velde I. & Dumont S. 1975. — The dry weight estimate of biomass in a selection of Cladocera, Copepoda and Rotifera from plankton, periphyton and benthos of continental waters. *Oecologia*, 19 : 75-97.
- Eie J.A. & Borgstrom R. 1981. — Distribution and food of roach (*Rutilus rutilus* L.) and perch (*Perca fluviatilis* L.) in the eutrophic Lake Arungen, Norway. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 21 : 1257-1263.
- Elliott J.M. 1976. — Body composition of brown trout (*Salmo trutta* L.) in relation to temperature and ration size. *J. Anim. Ecol.*, 45 : 273-289.
- Folch J., Lees M. & Stanley G.H.S. 1957. — A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, 226 : 497-509.
- Francisco P. & Rey J. 1994. — Etude du peuplement zooplanctonique de la retenue de Pareloup (Aveyron, France). *Hydroécol. Appl.*, 6 (1/2) : 175-196.
- Goldspink C.R. 1979. — The population density, growth rate and production of roach *Rutilus rutilus* (L.) in Tjeukemeer, The Netherlands. *J. Fish Biol.*, 15 : 473-498.
- Hokanson K.E.F. 1977. — Temperature requirement of some percids and adaptations to the seasonal temperature cycle. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 34 : 1524-1550.
- Huisman E.A., Breteler J.G.P.K., Vismans M.M. & Kanis E. 1979. — Retention of energy, protein, fat and ash in growing carp (*Cyprinus carpio* L.) under different feeding and temperature regimes. *Finfish Nutrition and Fishfeed Technology*, Halver et Tiews Eds., Berlin, Vol. I : 175-188.
- Hutchinson G.E. 1967. — A Treatise on Limnology. Vol.II. John Wiley and Sons : 115 p.
- Infante A. & Litt A.H. 1985. — Differences between two species of *Daphnia* in the use of ten species of algae in lake Washington. *Limnol. Oceanogr.*, 30 : 1053-1059.
- Jobling M., Jorgensen E.H. & Siikavuopio S.I. 1993. — The influence of previous feeding regime on the compensatory growth response of maturing and immature Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *J. Fish Biol.*, 43 : 409-419.
- Khan J.A. & Siddiqui A.Q. 1971. — Water, nitrogen and phosphorus in freshwater plankton. *Hydrobiologia*, 37 : 531-536.
- Kuosa H. & Gyllenberg G. 1989. — Lipid content and utilization of lipids in planktonic Copepods in lake Pääjärvi, southern Finland. *Hydrobiologia*, 171 : 215-222.
- Lair N., Vinot D. & Sancelme M. 1982. — Etude du plancton de la retenue de Pareloup (année 1981). *Compt. rend. EDF REAM*. 85 p.
- Lammens E.H.R.R. & Hoogenboezem W. 1991. — Diets and feeding behaviour. In : «*Cyprinid Fishes - Systematics, biology and exploitation*». Winfield I.J. & Nelson J.S. (editors). Chapman & Hall, London : 353-376.
- Le Cohu R., Comoy N., Guitard J. & Brabet J. 1991. — Périodicité du phytoplancton dans un réservoir de moyenne profondeur : le lac de Pareloup (Massif Central, France), un exemple de succession cyclique. *Annls. Limnol.*, 27 (3) : 197-214.
- Le Cohu R., Comoy N., Guitard J. & Brabet J. 1994. — Evolution temporelle et spatiale du phytoplancton dans le réservoir de Pareloup. *Hydroécol. Appl.*, 6(1/2) : 139-151.
- Lind E.A. 1974. — Seasonal variation in weight and activity of the freshwater fishes *Perca fluviatilis* and *Esox lucius*. *Nordic Council Arct. Med. Rep.*, 10 : 65-66.
- Love R.M. 1980. — *The chemical biology of fish*. Academic Press, London and New-York, Tome II : 943p.
- Mc Kee M.J. & Knowles C.O. 1987. — Levels of protein, RNA, DNA, glycogen and lipid during growth and development of *Daphnia magna* Straus (Crustacea : Cladocera). *Freshwat. Biol.*, 18 : 341-351.
- Miglavš I. & Jobling M. 1989. — The effects of feeding regime on proximate body composition and patterns of energy deposition in juvenile arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *J. Fish Biol.*, 35 : 1-11.
- Niederholzer R. & Hofer R. 1980. — The feeding of roach (*Rutilus rutilus* L.) and rudd (*Scardinius erythrophthalmus* L.). I. Studies on natural populations. *Ekol. pol.*, 28 (1) : 45-59.
- Nikolski G.V. 1963. — *The ecology of fishes*. Academic Press, London and New-York : 352 p.

- Papoutsoglou S.E. & Paparaskeva-Papoutsoglou E.G. 1978. — Comparative studies on body composition of rainbow trout in relation to type of diet and growth rate. *Aquaculture*, 13 : 235-243.
- Parent J.P., Caminade V. & Vellas F. 1985. — Evaluation de l'état nutritionnel du gardon (*Rutilus rutilus*) et de la perche (*Perca fluviatilis*) capturés dans la retenue de Pareloup. Etude préliminaire. *Ichthyophysiological Acta*, 9 : 202-219.
- Parker R.R. & Vanstome W.E. 1966. — Changes in chemical composition of Central British Columbia pink salmon during early sea life. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 23 : 1353-1379.
- Penczak T., Molinski M. & Oska M. 1978. — Materials for the ecology of the dace (*Leuciscus leuciscus* L.) from a polluted river in the region of barbel (the river Pilica). 3. lipids, proteins, total nitrogen and caloric value. *Acta Hydrobiol.*, 20 : 97-108.
- Persson L. 1983a. — Food consumption and competition between age classes in a perch *Perca fluviatilis* population in a shallow eutrophic lake. *Oikos*, 40 : 197-207.
- Persson L. 1983b. — Food consumption and the significance of detritus and algae to intraspecific competition in roach *Rutilus rutilus* in a shallow eutrophic lake. *Oikos*, 41 : 118-125.
- Persson L. 1983c. — Effects of intra- and interspecific competition on dynamics and size structure of a perch *Perca fluviatilis* and a roach *Rutilus rutilus* population. *Oikos*, 41 : 126-132.
- Persson L. 1986a. — Temperature-induced shift in foraging ability in two fish species, roach (*Rutilus rutilus*) and perch (*Perca fluviatilis*): implications for coexistence between poikilotherms. *J. Anim. Ecol.*, 55 : 829-839.
- Persson L. 1986b. — Effects of reduced interspecific competition on resource utilization in perch (*Perca fluviatilis*). *Ecology*, 67 (2) : 355-364.
- Persson L. 1987. — Effets of habitat and season on competitive interactions between roach (*Rutilus rutilus*) and perch (*Perca fluviatilis*). *Oecologia*, 73 : 170-177.
- Persson L. 1991. — Interspecific interactions. In : «Cyprinid Fishes - Systematics, biology and exploitation». Winfield I.J. & Nelson J.S. (eds). Chapman & Hall, London : 530-551.
- Persson L. & Greenberg L.A. 1990. — Interspecific and intraspecific size class competition affecting resource use and growth of perch, *Perca fluviatilis*. *Oikos*, 59 : 97-106.
- Peterson G.L. 1983. — Determination of total protein. *Methods in enzymology*, 91 : 95-119.
- Pourriot R. & Leborgne L. 1970. — Teneurs en protéines, lipides et glucides du zooplancton d'eau douce. *Ann. Hydrobiol.*, 1 (2) : 171-178.
- Reynolds C.S. 1984. — *The ecology of freshwater phytoplankton*. Cambridge Univ. Press : 384 p.
- Richeux C., Dubois C., Arias-Gonzales J.E. & Tourenq J.N. 1994. — Régime et comportement alimentaire du gardon (*Rutilus rutilus* L.) et de la perche (*Perca fluviatilis* L.) de la retenue de Pareloup. II. Les adultes. *Hydroécol. Appl.*, 6(1/2) : 243-256.
- Shul'man G.E. 1974. - *Life cycles of fish. Physiology and biochemistry*. J. Wiley and sons, New-york, Toronto : Israël, Program for scientific translations : 258 p.
- Sicko-Goad L. & Andresen N.A. 1991. - Effect of growth and light/dark cycles on Diatom lipid content and composition. *J. Phycol.*, 27 : 710-718.
- Tagushi S., Hirata J.A. & Laws E.A. 1987. — Silicate deficiency and lipid synthesis of marine Diatoms. *J. Appl. Phycol.*, 23 : 260-267.
- Tanasichuk R.W. & Mackay W.C. 1989. — Quantitative and qualitative characteristics of somatic and gonadal growth of yellow perch, *Perca flavescens*, from lac Ste Anne, Alberta. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 46 : 989-994.
- Tessier A.J. & Goulden C.E. 1982. — Estimating food limitation in Cladoceran population. *Limnol. Oceanogr.*, 27 (4) : 707-717.
- Townsend C.R. & Perrow M.R. 1989. — Eutrophication may produce population cycles in roach, *Rutilus rutilus* (L.), by two contrasting mechanisms. *J. Fish Biol.*, 34 : 161-164.
- Vijverberg J. & Frank T.H. H. 1976. — The chemical composition and energy contents of copepods and cladocerans in relation to their size. *Freshwat. Biol.*, 6 : 333-345.
- Vinyard G.L. & O'Brien W.J. 1976. — Effects of light and turbidity on the reactive distance of bluegill (*Lepomis macrochirus*). *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 33 : 2845-2849.
- Weatherley N.S. & Gill H.S. 1987. — *The Biology of Fish Growth*. Academic Press inc. London Ltd : 443 p.