

CLASSIFICATION ET CLÉ DE DÉTERMINATION DES FACIÈS D'ÉCOULEMENT EN RIVIÈRES DE MONTAGNE.

M. DELACOSTE (1), P. BARAN (1), S. LEK (2) et J.M. LASCAUX (1)

(1) Laboratoire d'Ingénierie Agronomique, Equipe Environnement Aquatique et Aquaculture, ENSAT, 145 av. de Muret, 31076 Toulouse Cedex, France.

(2) Laboratoire de Biologie Quantitative, Université Paul Sabatier, 118 route de Narbonne, 31062 Toulouse Cedex, France.

RÉSUMÉ

La diversité hydromorphodynamique de 294 faciès d'écoulement appartenant à 15 rivières des Pyrénées a été analysée. A partir d'une Analyse Factorielle des Correspondances Multiples et d'une classification hiérarchique sur les coordonnées des individus, 6 groupes principaux puis 18 sous-groupes de faciès d'écoulement ont pu être différenciés. Une clé de détermination des faciès d'écoulement pour rivière de montagne est proposée. Cinq niveaux de discrimination successifs, quantitatifs ou qualitatifs, permettent d'identifier sur le terrain les 18 sous-groupes de faciès d'écoulement. La validité écologique de cette classification de faciès a été testée sur les biomasses et densités de truites ainsi que sur les densités de frayères. L'appartenance aux 18 sous-groupes explique de 45,6 % de la variabilité des biomasses totales à 18,8 % ($p < 0.05$) de la variabilité des biomasses d'alevins ($p < 0.05$).

Mots-clés : faciès d'écoulement, rivières de montagne, habitat, truite commune, *Salmo trutta*.

CLASSIFICATION AND KEY FOR THE IDENTIFICATION OF MOUNTAIN STREAM MORPHODYNAMIC UNITS.

ABSTRACT

The hydromorphodynamic diversity of 294 units from 15 Pyrenean mountain streams was studied. 6 main groups and 18 secondary groups could be distinguished according to a multivariate analysis. A key for the determination of morphodynamic units in mountain streams is proposed. Five successive quantitative or qualitative discrimination levels allow the determination of 18 types of units. The variability of the biological characteristics of these 18 groups has been tested for trout and redd abundance. These 18 groups explain 45.6 % of the total trout biomass variability, and 18.8 % of the young-of-the-year trout biomass variability.

Key-words : morphodynamic units, mountain streams, habitat, trout.

INTRODUCTION

Dans l'étude des relations habitat-poisson, les échelles d'approche ont une grande importance. Le faciès d'écoulement ou mésohabitat (FRISSELL *et al.*, 1986 ; MALAVOI, 1989) constitue une échelle pertinente en terme d'analyse du comportement physique d'un tronçon de rivière ainsi que des relations habitat-poisson. Elle constitue tout à la fois une entité géomorphologique dont l'identification est standardisable (SOUCHON, 1994), ainsi qu'une entité écologique clé vis-à-vis du fonctionnement des populations salmonicoles, dont l'utilisation des différents types de faciès d'écoulement varie selon l'âge ou l'activité (BAGLINIERE et CHAMPIGNEULLE, 1982 ; BARAN *et al.*, 1993 ; DELACOSTE *et al.*, 1993). C'est également une unité permettant aisément des comparaisons d'utilisation entre différents secteurs écologiques d'un cours d'eau, ou entre différents cours d'eau (POIZAT, 1993).

Les faciès d'écoulement ne sont pas des unités discrètes, mais forment un continuum (JOWETT, 1993). Leur identification est donc souvent difficile. Quelques typologies de faciès existent déjà (CHAVEROCHE, 1990 ; MALAVOI, 1989 ; BISSON et SEDELL, 1982), mais leurs applications sur les petits cours d'eau de montagne (numéro d'ordre < 4), qui présentent une grande hétérogénéité morphodynamique, peuvent poser des problèmes. De plus, certains groupes de faciès présentent, dans ces milieux, une variabilité importante. Il est donc nécessaire de mieux les subdiviser.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Sites d'étude

Deux cent quatre-vingt-quatorze faciès d'écoulement appartenant à 68 stations d'étude ou séquences (succession de faciès) ont été analysés sur 15 rivières des Pyrénées centrales françaises. Le numéro d'ordre des cours d'eau varie de 2 à 4, l'altitude des stations de 470 à 2050 m, la largeur de 3 à 20 m, et le débit moyen annuel de 0,2 à 4,4 m³/s. Les peuplements piscicoles de ces rivières sont très largement dominés par la truite commune (*Salmo trutta* L.).

Caractérisation des faciès morphodynamiques

Les mesures des caractéristiques d'habitat physique ont été effectuées en période de débit d'étiage hivernal. Sur chaque faciès, des transects ont permis de mesurer la profondeur (sondage au cm près). La profondeur moyenne du faciès a été calculée à partir de ces transects. La vitesse de surface a été estimée en calculant le temps mis par un colorant pour parcourir la longueur du faciès (BINNS, 1982). La pente de la ligne d'eau a été mesurée à l'aide d'un goniomètre. En complément sur chaque faciès, la turbulence des eaux a été estimée en 4 classes (absence, faible, moyenne, forte) ainsi que la régularité de la pente (régulière, faiblement, moyennement et fortement irrégulière).

Au niveau des caractéristiques biologiques, les populations de truite ont été échantillonnées sur chaque faciès en période de débit d'étiage par pêche électrique (DE LURY, 1951). Sur 205 unités, des comptages de frayères ont également été effectués en période de reproduction selon les recommandations de DELACOSTE *et al.* (1993).

Analyse des données

Les variables continues (vitesse, profondeur et pente) ont été discrétisées en modalités "naturelles" afin de constituer, avec les variables turbulence et régularité de la pente, un tableau des caractéristiques d'habitat physique par faciès d'écoulement.

Ce tableau a été traité par l'Analyse Factorielle des Correspondances Multiples (AFCM) (BENZECRI, 1973). Une classification hiérarchique sur critère d'agrégation de Ward a ensuite été conduite sur les coordonnées.

En complément, des analyses de variance (Kruskal-Wallis, et Mann et Whitney) ont été effectuées à partir du logiciel SYSTAT®, sur les caractéristiques biologiques moyennes des groupes de faciès issus de la classification hiérarchique. Une ANOVA (SOKAL et ROHLF, 1981) a permis d'obtenir le pourcentage de variabilité des abondances de truite et de frayère expliquée par l'appartenance à un type de faciès donné. Le seuil de signification de ce pourcentage a été testé par permutations (POIZAT, 1993).

RÉSULTATS

Une Analyse Factorielle des Correspondances Multiples a été réalisée sur le nouveau tableau de données. Le plan F1 x F2 de l'AFCM explique 51,6 % de l'inertie du nuage de points (figure 1). L'axe F1 oppose les faciès profonds, faiblement turbulents et à vitesse lente, aux faciès rapides, fortement turbulents et très pentus. L'axe F2 constitue quant à lui un gradient de régularité de la pente.

L'arbre de la classification ascendante sur critère d'agrégation de Ward a été découpé successivement en six, puis dix-huit groupes. Les faciès d'écoulement se

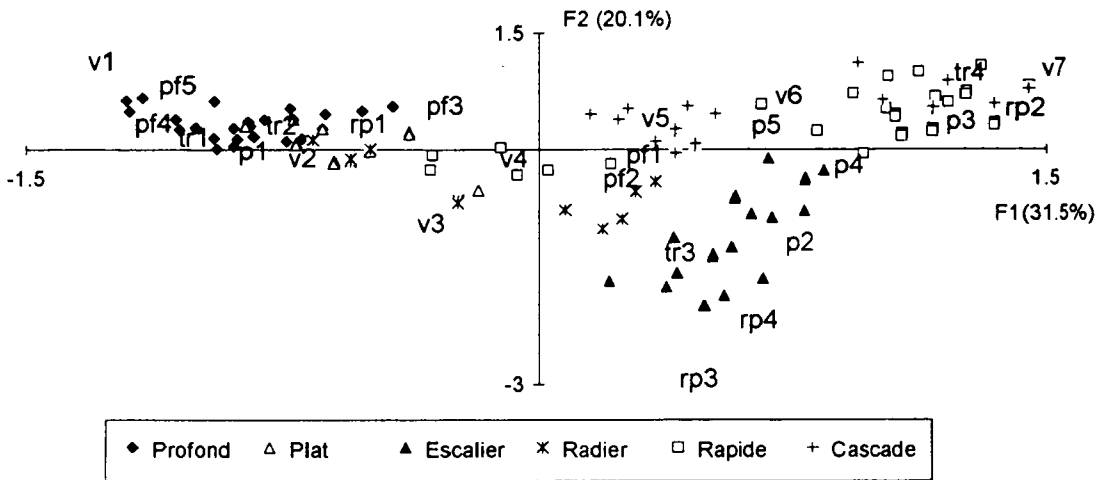


Figure 1 : Plan factoriel 1-2 de l'analyse factorielle des correspondances multiples, réalisée à partir des caractéristiques physiques des 294 faciès d'écoulement, avec projection des 6 groupes principaux.

P : pente, Pf : profondeur, V : vitesse, Tr : turbulence, Rp : régularité de la pente.

Figure 1 : Axes 1 and 2 of the Multiple Correspondence Analysis, performed on morphodynamic unit characteristics, with the projection of the 6 main groups.

P : gradient, Pf : depth, V : velocity, Tr : turbulence, Rp : gradient regularity.

structurent en fait autour de 6 groupes principaux qu'il est possible de diviser en 18 sous-groupes (Tableau I). Ces sous-groupes permettent de caractériser des types de faciès transitoires entre les 6 groupes principaux.

Tableau I : Organisation en groupes et sous-groupes des faciès d'écoulement des rivières pyrénéennes.

Table I : The distribution among groups and sub-groups of morphodynamic units, in Pyrenean streams.

GROUPES	Sous-groupes
PROFOND	Mouille
	Baignoire
	Plat profond
	Plat profond courant
PLAT	Plat profond rapide
	Plat
	Plat courant
ESCALIER	Plat rapide
	Plat escalier
	Radier varié
RADIER	Cascade plat
	Radier
RAPIDE	Plat radier
	Rapide plat
	Rapide
CASCADE	Radier rapide
	Cascade
	Cascade rapide

A partir des résultats de la classification et des caractéristiques d'habitat physique des groupes identifiés (6 et 18) une clé de détermination a été mise au point (figure 2). Cette clé est basée sur 5 niveaux de discrimination successifs reprenant les variables utilisées dans l'analyse. Le niveau 1, basé sur l'importance de la turbulence, permet de séparer les profonds et plats, des radiers, rapides et cascades. Le niveau 2, utilisant un critère de pente, permet de séparer les cascades, des radiers et rapides. Le niveau 3 permet de distinguer les faciès profonds (mouilles, baignoires, et plats profonds) des autres types de plats. Il permet aussi de différencier les radiers des rapides. Les niveaux 4 et 5 permettent enfin de subdiviser ces groupes.

Au niveau biologique, les biomasses et densités totales de truite, les biomasses et densités d'alevins ainsi que les densités de frayères diffèrent significativement entre les 6 groupes principaux et les 18 sous-groupes (Kruskal-Wallis, $p < 0.05$). Le tableau II présente les pourcentages de variabilité expliquée par l'appartenance à un groupe ou un sous-groupe de faciès. Ces résultats indiquent la pertinence écologique de la classification des faciès mise au point pour les cours d'eau pyrénéens.

Tableau II : Pourcentage de variance des caractéristiques biologiques expliquée par l'appartenance à un groupe ou un sous-groupe de faciès. Le risque de première espèce (p) est estimé après 500 permutations.

Table II : Percentage of variability of biological characteristics explained by groups or secondary groups of morphodynamic units. Trout density, trout biomass, young-of-the-year density, young-of-the-year biomass, redd density. Risk (p) is estimated by 500 permutations.

Classifications	Densité totale de truite		Biomasse totale de truite		Densité d'alevins		Biomasse d'alevins		Densité de frayères	
	%	p	%	p	%	p	%	p	%	p
6 groupes principaux	18.5	0.006	32.6	0.002	13.7	0.003	12.5	0.004	23	0.001
18 sous-groupes	21.9	0.003	45.6	0.001	16.2	0.001	18.8	0.001	32	0.001

Toute classification est subjective. On observe toujours des recouvrements, comme on peut le voir sur la figure 2. Cependant, la classification établie au cours de cette étude remplit les critères définis par HAWKINS *et al.*, 1993 :

- elle fournit une référence facilitant la communication entre chercheurs et gestionnaires,
- ses différentes classes sont définies dans un souci écologique, et sont facilement identifiables,
- ses classes sont basées sur des variables influençant les biocénoses (pente, vitesse, profondeur).

DISCUSSION

La typologie des unités morphodynamiques est un élément important dès l'instant où l'on s'intéresse à la description précise des conditions d'habitat physique. En effet, la variabilité des conditions morphodynamiques est un facteur déterminant dans la variabilité et la diversité de la faune aquatique (HYNES, 1970 ; VANNOTE *et al.*, 1980 ; HURYN et WALLACE, 1987 ; BISSON *et al.*, 1988 ; MINSHALL, 1988). L'étude des relations population-environnement conduite à l'échelle du macrohabitat nécessite une classification des types de faciès d'écoulement, classification qui reste un domaine d'étude très ouvert (JOWETT, 1993). La distinction mouille/radier peut être considérée comme la dichotomie la plus fréquemment utilisée dans la différenciation des faciès (BISSON et SEDELL, 1982 ; O'NEILL et ABRAHAMS, 1984). On distingue trois types d'approche dans l'identification des unités : une approche basée sur les caractéristiques hydrauliques (ALLEN, 1951 *in* JOWETT, 1993 ; WOLMAN, 1955 *in* JOWETT, 1993), une approche basée sur les caractéristiques topographiques (RICHARDS, 1976) ou enfin une approche basée sur un couplage des deux (MOSLEY, 1982 ; BISSON et SEDELL, 1982 ; MALAVOI, 1989 ;

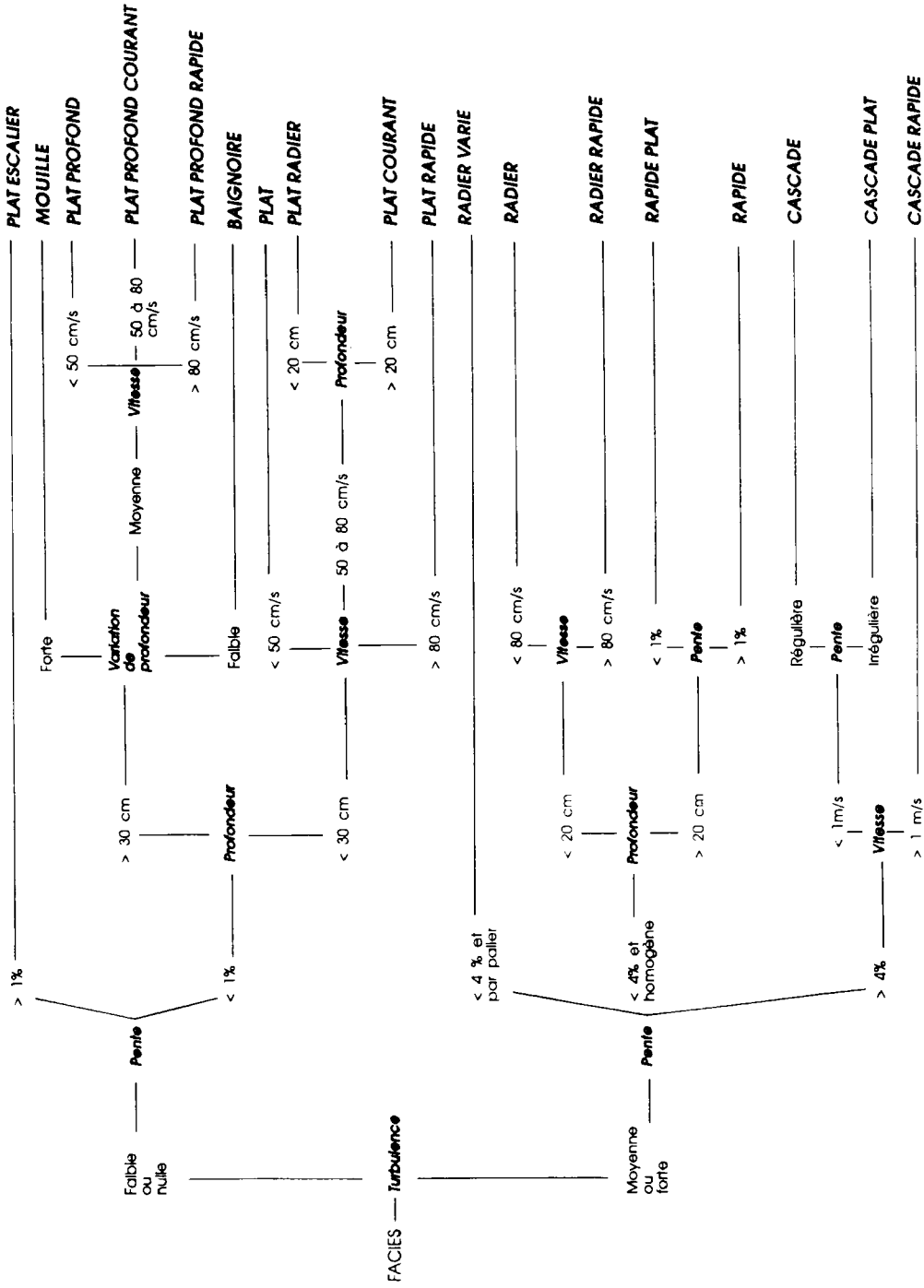


Figure 2 : Clé de détermination des faciès d'écoulement.

Figure 2 : Key for the identification of morphodynamic units.

CHAVEROCHE, 1990). Les critères de pente, de vitesse et de profondeur restent les plus communément utilisés dans la discrimination (HAURY *et al.*, 1991), la pente constituant d'un point de vue hydraulique le déterminant principal (JOWETT, 1993). Sur les rivières pyrénéennes, on constate une diversité hydromorphodynamique importante. Plus qu'une différenciation de groupes, cette approche multi-rivières de la structure des données d'habitat physique rend bien compte d'une succession de faciès et d'une hétérogénéité d'habitat déjà décrite par BARAN *et al.* (1993) dans une étude sur une seule rivière pyrénéenne, la Neste du Louron. JOWETT (1993) présente les pools (mouilles), les radiers et les plats non pas comme des unités discrètes mais comme des unités s'organisant dans un continuum. Il souligne d'ailleurs que du point de vue des conditions hydrauliques, les radiers et les plats courants sont difficiles à identifier. MALAVOI (1989) pose d'ailleurs le problème de la classification des faciès hybrides et transitoires. Dans son analyse des rivières du sud et de l'est de la France, CHAVEROCHE (1990) montre comment sa classification en six groupes de faciès peut se scinder en un certain nombre de sous-groupes. L'approche conduite dans la présente étude propose donc, pour les rivières des Pyrénées, une classification basée sur une hiérarchie des groupes et sous-groupes permettant de bien rendre compte des interfaces entre groupes principaux de faciès d'écoulement.

Au niveau biologique, de nombreux auteurs ont montré que la ségrégation spatiale des populations de Salmonidés s'exprimait à l'échelle du faciès d'écoulement (BOLHIN, 1977 ; BAGLINIERE et CHAMPIGNEULLE, 1982 ; BISSON et SEDELL, 1982). L'utilisation de différents types de faciès peut varier selon l'espèce et surtout le stade de développement (AADLAND, 1993). Les faciès de types radiers sont utilisés préférentiellement par les alevins alors que l'on retrouve les adultes dans les faciès profonds (BAGLINIERE et CHAMPIGNEULLE, 1982 ; ELLIOTT, 1986 ; BRIDCUT et GILLER, 1993). Ce partage de l'espace par les populations de Salmonidés est souvent une résultante de la compétition intraspécifique (JENKINS, 1969 ; BOLHIN, 1977 ; HEGGENES, 1988).

De même au niveau des abondances, on retrouve souvent une concordance entre le gradient hydrodynamique des faciès d'écoulement et le gradient de biomasses et densités de truite. Les faciès profonds possèdent très souvent les plus fortes abondances de truites adultes, tandis que les faciès rapides ou radiers présentent les abondances les plus faibles (ELSER, 1968 ; LEWIS, 1969 ; BARAN *et al.*, 1993). Enfin, concernant la reproduction des salmonidés, on retrouve une ségrégation spatiale importante à l'échelle du faciès d'écoulement, les plus utilisés étant peu profonds (BAGLINIERE *et al.*, 1979), et correspondant aux plats et aux radiers (DELACOSTE *et al.*, 1993).

La clé d'identification établie dans le cadre de cette étude permet, d'une part, la simplification de l'identification des faciès d'écoulement en rivière de montagne et, d'autre part, une standardisation de nomenclature facilitant les comparaisons entre différentes études.

BIBLIOGRAPHIE

- AADLAND L.P., 1993. Stream habitat types : their fish assemblages and relationship to flow. *N. Am. J. Fish. Manage.*, 13, 790-806.
- BAGLINIERE J.L., CHAMPIGNEULLE A., 1982. Densité des populations de truite commune (*Salmo trutta* L.) et de juvéniles de saumon atlantique (*Salmo salar* L.) sur le cours principal du Scorff (Bretagne) : préférendums physiques et variations annuelles (1976-1980). *Acta Oecol., Oecol Appl.*, 8, 201-215.
- BAGLINIERE J.L., CHAMPIGNEULLE A., NIHOARN A., 1979. La fraie du saumon atlantique (*Salmo salar* L.) et de la truite commune (*Salmo trutta* L.) sur le bassin du Scorff. *Cybiurn, 3ème série*, 7, 75-96.
- BARAN P., DAUBA F., DELACOSTE M., LASCAUX J.M., 1993. Essais d'évaluation quantitative du potentiel halieutique d'une rivière à Salmonidés à partir des données de l'habitat physique. In GASCUEL D., DURAND D., FONTENEAU G., Les recherches françaises en évaluation quantitative et modélisation des ressources et systèmes halieutiques, 15-38, éditions de l'ORSTOM, Colloque et séminaire, Paris.

- BENZECRI J.P., 1973. L'analyse des données. Tome II - L'analyse des correspondances. Dunod, Paris. 619 p.
- BINNS N.A., 1982. Habitat Quality Index : procedure manual. Wyoming Game and Fish Department. 209 p.
- BISSON P.A., SEDELL J.R., 1982. Salmonid populations in logged and unlogged stream sections of Western Washington. Symposium on old-growth forest and fisheries relationships. Juneau, Alaska.
- BISSON P.A., SULLIVAN K., NIELSEN J.L., 1988. Channel hydraulics, habitat use, and body form of juvenile coho salmon, steelhead, and cutthroat trout in streams. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 117, 262-273.
- BOLHIN T., 1977. Habitat selection and intercohort competition of juvenile sea-trout *Salmo trutta*. *Oikos*, 29, 112-117.
- BRIDCUT E.E., GILLER P.S., 1993. Diet variability in relation to season and habitat utilisation in brown trout, *Salmo trutta* L., in a southern Irish stream. In GIBSON R.J., CUTTING R.E., Production of juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*, in natural waters. *Can Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, 118, 17-24.
- CHAVEROCHE P., 1990. Recherche sur les préférences d'habitat de la truite fario (*Salmo trutta fario* L.). Thèse 3ème cycle, Univ. de Provence, 214 p + annexes.
- DELACOSTE M., BARAN P., DAUBA F., BELAUD A., 1993. Etude du macrohabitat de reproduction de la truite commune (*Salmo trutta* L.) dans une rivière pyrénéenne, la Neste du Louron. Evaluation d'un potentiel de l'habitat physique de reproduction. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 331, 341-356.
- DE LURY D.B., 1951. On the planning of experiments for the estimation of fish populations. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 18 (4), 281-307.
- ELLIOT J.M., 1986. Spatial distribution and behavioural movements of migratory trout, *Salmo trutta*, in a Lake District stream. *J. Anim. Ecol.*, 55, 907-922.
- ELSER A.A., 1968. Fish populations of a trout stream in relation to major habitat zones and channel alteration. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 97 (4), 389-397.
- FRISSELL C.A., LISS W.J., WARREN C.E., HURLEY M.D., 1986. A hierarchical framework for stream habitat classification : viewing streams in a watershed context. *Environ. Manage.*, 10, 199-214.
- HAURY J., OMBREDANE D., BAGLINIERE J.L., 1991. L'habitat de la truite commune (*Salmo trutta* L.) en eaux courantes. In Baglinière J.L., Maisse G., La truite, biologie et écologie, 25-46, INRA Publ., Paris, 303 p.
- HAWKINS C.P., KERSHNER J.L., BISSON P.A., BRYANT M.D., DECKER L.M., GREGORY S.G., McCULLOUGH D.A., OVERTON C.K., REEVES G.H., STEEDMAN R.J., YOUNG M.K., 1993. A hierarchical approach to classifying streams habitat features. *Fisheries*, 18 (6), 3-6.
- HEGGENES J., 1988. Physical habitat selection by brown trout (*Salmo trutta*) in riverine systems. *Nordic. J. Freshw. Res*, 64, 74-90.
- HURYN A.D., WALLACE J.B., 1987. Community structure of Trichoptera in a mountain stream : spatial patterns of production and functional organization. *Fresh. Biol.*, 20, 141-156.
- HYNES H.B.N., 1970. The ecology of running water. Liverpool Univ. Press, Toronto, 555 p.
- JENKINS T.M.Jr., 1969. Social structure, position choice and microdistribution of two trout species (*Salmo trutta* and *Salmo gairdneri*) resident in mountain streams. *Anim. Behav. Monog.*, 2, 55-123.
- JOWETT I.G., 1993. A method for objectively identifying pool, run, and riffle habitats from physical measurements. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, vol 27, 241-248.

- LEWIS S.L., 1969. Physical factors influencing fish populations in pool of a trout stream. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 115, 183-195.
- MALAVOI J.R., 1989. Typologie des faciès d'écoulement ou unités morphodynamiques d'un cours d'eau à haute énergie. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 315, 189-210.
- MINSHALL G.W., 1988. Stream ecosystem theory : a global perspective. *J. North Am. Benthol. Soc.*, 7, 263-288.
- MOSLEY M.P., 1982. A procedure for characterising river channels. Water and soil miscellaneous publication 32. Ministry of Works and Development, Wellington, 90 p.
- O'NEIL M.P., ABRAHAMS A.D., 1984. Objective identification of pool and riffles. *Water resources research*, 20, 921-926.
- POIZAT G., 1993. Echelle d'observation et variabilité des abondances de juvéniles de poissons dans un secteur aval du Rhône. Thèse 3ème cycle, Univ. de Lyon I, 217 p + annexes.
- RICHARDS K.S., 1976. The morphology of riffle-pool sequences. *Earth surface proceedings*, 1, 71-88.
- SOKAL R.R., ROHLF F.J., 1981. Biometry. Freeman & Cie, New York, 775 p.
- SOUCHON Y., 1994. Etat d'avancement des recherches sur la modélisation de l'habitat des poissons des cours d'eau en France. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 332, 57-71.
- VANNOTE R.L., MINSHALL G.W., CUMMINS K.W., SEDELL J.R., CUSHING C.E., 1980. The river continuum concept. *Can J. Fish. Aquat. Sci.*, 37, 130-137.