

Note technique

**DESCRIPTION STANDARDISÉE DES PRINCIPAUX
FACIÈS D'ÉCOULEMENT OBSERVABLES EN
RIVIÈRE : CLÉ DE DÉTERMINATION QUALITATIVE
ET MESURES PHYSIQUES.**

J.R. MALAVOI (1), Y. SOUCHON (2)

(1) Ingénieur conseil, 207 rue de l'Eglise, 01600 PARCIEUX et Professeur Associé, Université de Tours, Faculté des Sciences et Techniques, Parc de Grandmont, 37200 TOURS. E-mail : JR.Malavoi@wanadoo.fr

(2) CEMAGREF, Groupement de Lyon, Unité Biologie des Ecosystèmes Aquatiques, Laboratoire d'Hydroécologie Quantitative, 3 bis, quai Chauveau, CP 220, 69336 LYON Cedex 09. E-mail : yves.souchon@cemagref.fr

Reçu le 14 juin 2001
Accepté le 16 novembre 2001

Received 14 June, 2001
Accepted 16 November, 2001

RÉSUMÉ

La détermination visuelle des faciès des cours d'eau lors d'une visite de terrain est toujours délicate. Elle peut donner lieu à des appellations et des interprétations différentes de la part de plusieurs observateurs. Afin de mieux standardiser ce type d'observation, nous proposons une clé de détermination empirique basée sur une expérience d'expert. Cette clé est applicable en l'état pour les cours d'eau de taille moyenne à grande (jusqu'à plus de 100 m de large) mais peut demander des adaptations pour les très petits cours d'eau (largeur inférieure à 2 m).

Les variables discriminantes de premier niveau conseillées sont la hauteur d'eau (supérieure ou inférieure à 60 cm) et la vitesse d'écoulement (supérieure ou inférieure à 30 cm/s). Elles sont facilement observables lors d'un étiage moyen. D'autres critères complémentaires sont également discutés comme la forme du profil en travers. Des conseils opératoires sont prodigués.

Lorsque l'on veut établir un lien entre la nature des faciès et la biologie, il est prudent de tenir compte également de l'hydrologie et donc de la dynamique temporelle des variables physiques d'habitat. Les mesures quantitatives simples proposées permettent de renseigner les équations de géométrie hydraulique qui établissent les relations entre la largeur mouillée, la hauteur d'eau, la vitesse et le débit, grandeurs plus pertinentes pour établir un lien avec la biologie.

Mots-clés : faciès morphodynamiques, géométrie hydraulique, mésohabitat.

STANDARDIZED DESCRIPTION OF STREAMS AND RIVERS CHANNEL GEOMORPHIC UNITS: QUALITATIVE DESCRIPTION KEY AND PHYSICAL MEASUREMENTS.

ABSTRACT

The direct visual appreciation of geomorphic unit (GU) in running waters is always delicate. Some misinterpretation is frequent among different observers. To standardized the GU description, we proposed a decision key, based on expert' experience. The first discriminative variables are the water depth (limit at $D = 60$ cm) and water velocity (limit at $V = 30$ cm/s). They are easily observable at an average interannual low flow. Else complementary criteria are also argued, particularly the transversal water profile. Any operating advices are also given.

In order to link GU and biology, it is advisable to take into account the hydrology as a dynamic physical control factor of the aquatic system. Quantitative measurements are usefull to work with the hydraulic geometry equations. These equations linked width, depth, velocity with discharge. All of them are more pertinent variables to rely physics and biology.

Key-words : channel geomorphic units, hydraulic geometry, mesohabitat.

INTRODUCTION

Les cours d'eau naturels présentent toujours des alternances de faciès y compris dans leur parcours les plus rectilignes. Ces faciès d'écoulement ou unités morphodynamiques sont des portions de cours d'eau avec une certaine uniformité structurelle et fonctionnelle générale sur le plan des vitesses, des hauteurs d'eau, de la granulométrie du substrat, de la pente du lit et de la ligne d'eau et des profils en travers. Leur longueur peut varier d'une à quelques largeurs du lit mouillé. La diversité longitudinale des formes et de leur structure physique est mise à profit par la flore et la faune aquatique qui y rencontrent les différents habitats nécessaires à l'accomplissement de leurs cycles vitaux.

Les hydrogéomorphologues considèrent les faciès, et notamment les alternances de radiers et de mouilles, comme les unités fondamentales des rivières (O'NEIL et ABRAHAMS, 1984 ; NEWBURY et GABOURY, 1993). Ils leur attribuent une fonction physique de dissipation optimale de l'énergie. Elles sont également le reflet à long terme des contraintes exercées par la géologie, la morphologie terrestre, la couverture végétale et le climat (BESCHTA et PLATTS, 1986).

Les hydrobiologistes s'intéressent également à ces unités morphologiques encore appelées mésohabitats (KERSHNER *et al.*, 1992) pour décrire l'utilisation de l'habitat par les poissons (BAGLINIÈRE et CHAMPIGNEULLE, 1982 ; GLOVA et DUNCAN, 1985) ou pour composer leurs unités d'échantillonnage : prélèvements de macroinvertébrés benthiques sur les radiers (ARMITAGE *et al.*, 1987) ou choix de séquences de faciès représentatives d'un tronçon de cours d'eau (stations) pour l'application des méthodes de type microhabitat (BOVEE, 1982 ; SOUCHON *et al.*, 1989 ; MALAVOI et SOUCHON, 1989 ; POUILLY *et al.*, 1995).

L'identification des faciès d'écoulement est souvent problématique. Dans la réalité il existe très peu de faciès « d'école ». Les critères permettant de les identifier ont beaucoup souffert d'une certaine subjectivité. Ainsi que le rappelle JOWETT (1993), pour distinguer différents faciès, les auteurs privilégient tantôt la composition du substrat (LEOPOLD *et al.*, 1964 ; MOSLEY, 1982), la pente de la ligne d'eau (YANG, 1971, DELACOSTE *et al.*,

1995), la répartition des hauteurs et vitesses (ALLEN, 1951), la topographie du lit (RICHARDS, 1976), le nombre de Froude (rapport adimensionnel de la vitesse moyenne à la hauteur d'eau ; WOLMAN, 1955) ou encore les caractéristiques de la surface de l'eau (MOSLEY, 1982).

L'objectif de la présente note est de proposer une clé pratique de détermination des principaux faciès observables en rivière, pour leur description standardisée par les hydrobiologistes. Pour y parvenir, nous avons tenu compte des différentes remarques reçues à la suite du premier de nos textes traitant du sujet (MALAVOI, 1989) et y avons ajouté plusieurs commentaires tirés de l'expérience accumulée en 10 ans au contact de plusieurs centaines de km de linéaires de cours d'eau. Nous décrivons ensuite les mesures qui permettent de mieux quantifier la physique des cours d'eau. Ces notions, souvent peu ou pas connues des hydrobiologistes ajoutent une dimension dynamique non abordée par la seule description qualitative des faciès. Elles aideront à mieux explorer les relations entre physique et biologie et à mieux les modéliser.

CHOIX DES CRITÈRES DE DISCRIMINATION DES FACIÈS

Deux niveaux de classification sont proposés :

Niveau 1

Deux critères de premier niveau ont été retenus :

- la hauteur d'eau moyenne,
- la vitesse d'écoulement moyenne.

Ces deux variables doivent être observées pour un débit d'étiage moyen proche du débit moyen mensuel sec interannuel (moyenne des débits mensuels d'étiage).

On peut alors proposer un premier niveau de classification des faciès d'écoulement sur la base de leur hauteur d'eau :

- faciès profonds : hauteur d'eau supérieure à 60 cm : chenaux lotiques, chenaux lentiques, mouilles de concavité, fosses de dissipation,

- faciès peu profonds : hauteur d'eau inférieure à 60 cm : plats, plats lentiques, radiers, rapides, cascades.

ou sur la base de la vitesse du courant :

- faciès « lentiques » : vitesses inférieures à 30 cm/s : mouilles, chenaux lentiques, plats lentiques,

- faciès « lotiques » : vitesses supérieures à 30 cm/s : radiers, plats, rapides, chenaux lotiques.

Niveau 2

Les critères de deuxième niveau permettant d'affiner le premier découpage sont :

- le profil en travers,
- le profil en long et les caractéristiques de la surface de l'eau.

Un niveau 3, non inclus dans la clé de détermination, permet de préciser encore la classification ; il s'agit de la granulométrie du substrat.

CLÉ DE DÉTERMINATION

Une clé de détermination a été construite sur le principe dichotomique des clés utilisées en systématique (Tableau I).

Tableau I
Clé de détermination des faciès d'écoulement.

Table I
Geomorphic units classification key.

PROFONDEUR	VITESSE	PROFIL EN TRAVERS	PROFIL EN LONG	FACIÈS
> 60 cm	< 30 cm/s	symétrique	souvent en amont d'un obstacle ou d'un faciès de type radier ou rapide	CHENAL LENTIQUE
			en pied de cascade ou de chute	FOSSE DE DISSIPATION
	> 30 cm/s	asymétrique	généralement dans une concavité de méandre	MOUILLE DE CONCAVITE
			le long d'un obstacle à l'écoulement : embâcle, pile de pont, rocher	FOSSE D'AFFOUILLEMENT
< 60 cm	< 30 cm/s	symétrique	pas de situation particulière	CHENAL LOTIQUE
			souvent en amont d'un obstacle ou d'un faciès de type radier ou rapide	PLAT LENTIQUE
	> 30 cm/s	symétrique	pente douce, écoulement uniforme, vaguelettes à la surface de l'eau liées à la présence du substrat à proximité de la surface libre. Rugosité relative $H/S50 \sim 3 \text{ à } 4$ (H = hauteur d'eau, S50 = petit axe du D50, diamètre médian du substrat)	PLAT COURANT
			pente plus forte, rupture de pente plus nette avec les faciès limitrophes. Turbulence plus forte liée à l'affleurement du substrat au ras de la surface libre. Rugosité relative $H/S50 \sim 2 \text{ à } 3$	RADIER
			pente très forte, forte turbulence matérialisée par de l'écume blanche. $H/S50 \sim 1.2 \text{ à } 2$	RAPIDE
			pente très forte, dénivelée entre l'amont et l'aval > 0.5 et < 1.5 m	CASCADE
			dénivelée > à 1.5 m	CHUTE

DESCRIPTION DE LA GRANULOMÉTRIE

La granulométrie du lit n'intervient pas dans la clé de détermination, si ce n'est sous l'angle de la submersion relative qui modifie l'aspect de la surface de l'eau. Il est cependant intéressant de noter systématiquement la granulométrie dominante du faciès. Ceci peut être réalisé par la méthode visuelle proposée par MALAVOI et SOUCHON (1989) permettant de classer le substrat observé avec un code en 6 caractères : classe granulométrique de l'élément le plus grossier (2 caractères, à rapprocher du D90 ou du D84 utilisés en hydraulique) - élément dominant (2 caractères, proche du D50 si il n'y a qu'un seul élément dominant) - si besoin, second élément dominant (2 caractères) (Tableau II).

Il est à noter que la dimension des particules est exprimée en mm.

Tableau II

Echelle granulométrique de WENTWORTH (1922) modifiée, dans MALAVOI et SOUCHON (1989).

Table II

Particle size classification system, adapted from WENTWORTH (1922) in MALAVOI et SOUCHON (1989).

Nom de la classe granulométrique	Classes de taille (diamètre en mm perpendiculaire au plus grand axe)	Code utilisé
Rochers	> 1024	R
Blocs	256-1024	B
Pierres Grossières	128-256	PG
Pierres Fines	64-128	PF
Cailloux Grossiers	32-64	CG
Cailloux Fins	16-32	CF
Graviers Grossiers	8-16	GG
Graviers Fins	2-8	GF
Sables Grossiers	0,5-2	SG
Sables Fins	0,0625-0,5	SF
Limons	0,0039-0,0625	L
Argiles	< 0,0039	A

La granulométrie apporte une information importante tant pour les aspects morphodynamiques (rugosité du lit, transport solide) que biologiques (notion d'habitat, de refuge et d'abri hydraulique). Un faciès PLAT COURANT peut ainsi être classé en PLAT COURANT à PGPF (Pierres Grossières et Pierres Fines) ou PLAT COURANT à CFGG (Cailloux Fins et Graviers Grossiers). Elle peut aussi permettre de résoudre certains problèmes liés à l'affinement de la taille des sédiments de l'amont vers l'aval d'un même cours d'eau. Ainsi des RADIERS situés sur l'amont d'un cours d'eau pourront présenter une granulométrie grossière de type B PG (on pourra les nommer RADIER à BLOCS), tandis que des RADIERS situés plus en aval pourront être caractérisés par une granulométrie plus fine de type PGPF.

MODE OPÉRATOIRE

Il est souvent utile pour divers objectifs (sectorisation des cours d'eau, gestion piscicole, connaissance des milieux) de connaître précisément les types de faciès présents sur un cours d'eau, leur nombre, leur longueur développée, leur surface. Ceci plaide pour une description la plus exhaustive possible des faciès à l'échelle d'un cours d'eau ou d'un tronçon homogène de cours d'eau.

Pour des approches plus fines, par exemple pour obtenir des profils de hauteur et de vitesse ayant une représentativité statistique suffisante, on peut être amené à sous-échantillonner le cours d'eau ; on retiendra alors comme règle d'analyser chacun des tronçons concernés sur des portions de longueur au moins égale à 30 à 35 fois la largeur du cours d'eau au débit de pleins bords (KERSHNER et SNIDER, 1992 ; KERSHNER *et al.*, 1992 ; SIMONSON, 1993 ; SIMONSON *et al.*, 1994).

Description des faciès par voie terrestre

Cette méthode est valable sur des cours d'eau de petite dimension (2 à 10 m) ainsi que sur ceux longés par une ripisylve recouvrante. Elle n'est financièrement plus intéressante que la suivante que si le linéaire à décrire est faible (moins de 10 km).

La description des faciès est réalisée au moyen de la clé présentée ici, lors d'une descente à pied du cours d'eau, les mesures et le positionnement étant effectués au topofil (précision de l'ordre de 50 cm) ou d'un distancemètre. Le report est ensuite effectué sur carte, comme pour la méthode suivante.

Description des faciès par analyse aérienne

Cette méthode est particulièrement intéressante dans le cas d'études exhaustives portant sur des linéaires importants. Elle n'est cependant pas utilisable sur les petits cours d'eau à ripisylve très abondante pouvant masquer le lit mineur.

Un survol du cours d'eau en hélicoptère ou ULM est effectué à une altitude de l'ordre de 100 m du sol et une vitesse de déplacement de 60 km/h environ. Le cours d'eau est filmé en continu au moyen d'un caméscope. Les faciès observés sur le film sont ensuite reportés sur carte à 1:10 000 puis digitalisés et cartographiés. Le niveau de précision de cette méthode ne permet pas d'avoir la résolution de la méthode pédestre mais elle est beaucoup plus rapide, globalement moins coûteuse et elle permet surtout d'avoir un état de référence utilisable pour un suivi éventuel de la morphologie du cours d'eau. Il n'est pas possible, à cette échelle, d'obtenir avec précision les données quantitatives nécessaires pour une utilisation optimale de la clé de détermination (vitesses, profondeurs, granulométrie). On peut néanmoins, avec une certaine habitude, « évaluer » ces paramètres visuellement et se reporter alors à la clé pour classer les faciès observés. Il n'est pas inutile ensuite d'aller sur le terrain échantillonner certains faciès pour obtenir un minimum de valeurs quantifiées. La méthode aérienne reste cependant à réserver aux chargés d'études chevronnés.

Problèmes rencontrés et solutions

- Identification de sous-unités au sein des faciès

La plupart des faciès présentés ci-dessus peuvent être, pour les besoins d'études particulières (pêche électrique, prélèvements hydrobiologiques) subdivisés en sous-unités, tant sur le plan longitudinal (tête, milieu, queue) que transversal (milieu de chenal, bordure rive gauche, bordure rive droite).

- Multiplicité des faciès sur une même section de cours d'eau

Il arrive parfois, notamment sur les cours d'eau de grande taille, que plusieurs types d'écoulement coexistent sur une même section (profil en travers). Il est ainsi tout à fait possible d'observer un faciès RADIER sur 50% de la largeur du lit et un PLAT LENTIQUE sur les 50% restants, souvent séparés d'ailleurs par un banc longitudinal.

Il est alors possible de décrire la section concernée par ces deux faciès sous la forme RADIER (0,5), PLAT LENTIQUE (0,5).

- Faciès particuliers

Il arrive que certains types d'écoulement ne soient pas immédiatement classables pour différentes raisons, notamment si le débit de mesure n'est pas respecté (débit moyen mensuel sec interannuel) :

- débit d'observation trop faible qui implique une mince lame d'eau serpentant de manière plus ou moins anarchique entre les éléments grossiers du substrat,

- débit d'observation trop fort qui induit un lissage de la ligne d'eau et ne permet pas de distinguer les faciès.

Il est possible de résoudre ces problèmes, soit en réitérant les observations pour des débits plus proches du débit moyen mensuel sec interannuel, soit en créant un nouveau type de faciès (par exemple : ZONE D'ETALEMENT).

Il arrive aussi que des faciès particuliers soient dus à l'existence de contrôles structuraux : par exemple, affleurements rocheux créant des faciès de très faible longueur développée, ressemblant à des seuils : nous les nommons BARRES (comme sur la Garonne en amont de Toulouse suite à l'exhumation de la molasse miocène).

Il arrive enfin que des faciès soient intermédiaires entre deux types : par exemple un PLAT qui présente une rupture de pente plus importante que les autres ou une granulométrie plus grossière créant une plus grande turbulence au niveau de la surface libre. Il est alors possible d'accoler deux types de faciès, ex : PLAT-RADIER. Il est parfois plus simple de décrire la granulométrie, comme indiqué plus haut : PLAT à PGPG.

- Faciès transitoires

Nous avons fréquemment observé des faciès transitoires à la jonction entre deux types de faciès très différents.

Par exemple, à la jonction entre un CHENAL LENTIQUE et un RADIER, il existe généralement une zone d'accélération de l'écoulement, combinée à une réduction de la hauteur d'eau et qui ne présente plus les caractéristiques du CHENAL LENTIQUE (vitesses plus fortes, tirant d'eau plus faible) sans présenter encore celle du RADIER (l'écoulement ne présente encore pas de turbulence). D'un point de vue hydrodynamique, ces zones de transition ressemblent à des PLATS.

De même à la jonction entre un RADIER ou un RAPIDE et une MOUILLE DE CONCAVITE, on observe fréquemment une zone de dissipation de l'énergie accumulée sur le faciès précédent, où les profondeurs sont élevées mais les vitesses toujours très fortes. D'un point de vue hydrodynamique, ces zones de transition sont assimilables à des CHENAUX LOTIQUES ou à des MOUILLES LOTIQUES (selon la forme du profil en travers).

Ces zones transitoires sont souvent de faible longueur (en général 0,2 fois la largeur du lit mouillé mais peuvent parfois dépasser cette valeur).

On notera la zone transitoire :

- comme un faciès à part entière si son développement longitudinal est supérieur à 0,2 fois la largeur du lit mouillé,
- comme un faciès transitoire si son développement longitudinal est inférieur à 0,2 fois la largeur du lit mouillé,
- si l'étude ne nécessite pas une précision absolue, on n'en tiendra pas compte et l'on affectera cette zone au faciès le plus aval étant admis qu'une MOUILLE DE CONCAVITE présente toujours une partie amont à fortes vitesses (zone de dissipation) lorsqu'elle est précédée d'un faciès lotique à forte énergie.

Cartographie et quantification des faciès

Nous proposons deux types de cartographie et quantification des faciès, souvent fonction de la remarque précédente et donc de la taille du cours d'eau concerné :

- cours d'eau petits et moyens

Pour cette gamme de cours d'eau (largeur inférieure à 20-30 m), pour lesquels il n'existe que rarement plusieurs faciès sur le même profil en travers, il est possible de se limiter à une quantification longitudinale. Il suffit alors, à partir de la reconnaissance pédestre ou aérienne, de digitaliser chaque faciès rencontré puis de mesurer sa longueur (l'utilisation d'un logiciel de dessin, de cartographie, ou mieux encore de Système d'Information Géographique (SIG) permet en général de calculer automatiquement les longueurs développées).

Cette méthode permet une cartographie rapide du tronçon concerné et une quantification tout aussi rapide des caractéristiques de longueur des faciès. Il suffit ensuite de multiplier les longueurs obtenues par la largeur du lit pour le débit souhaité pour obtenir les surfaces correspondantes.

- grands cours d'eau

Lorsque les cours d'eau dépassent une certaine largeur, la multiplicité transversale des faciès devient plus fréquente. Il est alors nécessaire de passer par une description surfacique et non plus linéaire de ces unités, la méthode la plus simple étant le survol avec prises de vue vidéo ou photo puis la cartographie et la digitalisation des faciès sous forme de polygones. On peut aussi utiliser les photographies aériennes de l'IGN agrandies à l'échelle souhaitée.

MESURE DES CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DES FACIÈS

Les faciès ou séquences de faciès peuvent être caractérisés par des variables physiques ayant une signification en géomorphologie ou en hydraulique fluviale. Leur prise en compte augmente le degré de précision de la description des faciès, et réduit donc d'éventuelles disparités d'appréciation entre plusieurs observateurs. La mesure de certaines d'entre elles à plusieurs débits (au moins deux) permettra l'intégration de la dimension dynamique de l'habitat, essentielle pour relier les faciès à un fonctionnement biologique (cf § suivant). Nous présentons ci-après une sélection de quelques-unes de ces métriques.

Caractéristiques longitudinales

- Longueurs respectives de chaque faciès,
- Pente du lit.

Certaines classifications des types cours d'eau utilisent les différentes proportions de faciès et la pente comme critères discriminants. Par exemple, celle de ROSGEN (1996), qui est l'une des plus en vogue aux USA, distingue des types A (pente forte, 50 % de radiers, 13 % de mouilles, 18 % de rapides et 8 % de plats), B (pente faible, 60 % de radiers, 20 % de mouilles, 7 % de rapides et 15 % de plats) et C (pente faible, 71 % de radiers, 12 % de mouilles, 3 % de rapides et 13 % de plats).

Les géomorphologues ont réalisé de nombreux travaux sur les longueurs des séquences répétées de radier-mouille, qu'ils évaluent en moyenne à 5 à 7 fois la largeur du lit mouillé (distance de radier à radier) (GREGORY *et al.*, 1994). Cet espacement est un bon guide pour évaluer dans le temps les effets de certaines modifications sur la morphologie des rivières (chenalisation, déboisement, reboisement, autres occupations des sols, aval de barrages) ou pour restaurer cette morphologie (NEWBURY et GABOURY, 1993).

Caractéristiques de forme

- largeur mouillée moyenne (L),
- hauteur d'eau moyenne (H) et sa distribution,
- vitesse moyenne (V) et sa distribution.

Selon l'objectif des investigations, les mesures doivent être pratiquées à un débit caractéristique, l'étiage par exemple, ou à plusieurs débits (au moins deux suffisamment distincts) pour renseigner les équations de géométrie hydraulique.

LEOPOLD et MADDOCK (1953) ont montré que certaines caractéristiques hydrauliques des lits des cours d'eau (largeur, hauteur et vitesse) variaient avec le débit Q, comme de simples fonctions puissances dans une section donnée de cours d'eau.

Ces fonctions sont $L = aQ^b$, $H = cQ^f$, $V = kQ^m$

avec L, H et V = largeur mouillée moyenne, hauteur d'eau moyenne et vitesse moyenne,

a, b, c, f, k, m constantes numériques et exposants.

La somme des exposants b, f et m est égale à 1,0 ainsi que le produit des constantes a, c et k parce que le produit de L, H, et V est égal à Q.

- combinaison des paramètres :

- le ratio L/H (largeur/profondeur) aussi appelé coefficient de forme

Ce rapport est utilisé pour décrire la géométrie des différents faciès d'écoulement en vues en travers ; un rapport élevé caractérise les faciès profonds et un rapport faible, les faciès peu profonds. Il s'agit là d'une définition homothétique des faciès d'écoulement. L et H sont aussi utiles pour calculer le volume des mouilles, en déduire un volume de refuge ou une capacité de rétention.

- le nombre de Froude (Fr)

C'est un paramètre hydraulique sans dimension qui décrit le rapport des forces d'inertie aux forces de pesanteur, ou encore le rapport de l'énergie potentielle à l'énergie cinétique du cours d'eau (HENDERSON, 1966). Son expression la plus répandue est la suivante :

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gH}}$$

où g est l'accélération gravitationnelle ($g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$).

Plus ce rapport est élevé, plus on a affaire à un cours d'eau « dynamique », en opposition aux milieux « tranquilles » où, à l'extrême, la vitesse est nulle. Le nombre de Froude a aussi été utilisé pour faire la distinction entre les écoulements fluviaux ($Fr < 1$) et torrentiels ($Fr \geq 1$). Il reflète la proportion de radiers et de mouilles dans un tronçon (WOLMAN, 1955 ; BJHOWMIK et DEMISSIE, 1982).

- le nombre de Reynolds (Re)

$$Re = V \times H / \eta$$

Avec η = viscosité cinématique.

Le nombre de Reynolds s'apparente à un débit unitaire (débit divisé par la largeur)

- la force tractrice (τ)

$$\tau = \rho g \times H \times J$$

où ρg est le poids spécifique de l'eau (en N/m^3), H la profondeur moyenne (en m) et J la pente de la ligne d'eau (en m/m).

La force tractrice exprime le frottement.

- l'énergie spécifique des cours d'eau (E_s) (on la calcule généralement pour un débit de pleins bords)

$$E_s = \rho g \times Q^{pb} \times \frac{J}{L_{pb}}$$

où E_s traduit l'énergie ou puissance spécifique (en Watt/m^2), L_{pb} représente la largeur du lit de plein bord (en m), ρg traduit le poids spécifique de l'eau (en N/m^3) et J est la pente de la ligne d'eau (en m/m).

L'énergie spécifique est proportionnelle au débit de plein bord et à la pente de la ligne d'eau, et inversement proportionnelle à la largeur au miroir correspondant au niveau de plein bord (SCHUMM, 1977 ; BROOKES *et al.*, 1983). Cette variable a été considérée comme une des plus importantes dans la typologie de référence des cours d'eau du Système d'Evaluation de la Qualité (SEQ) physique (AQUASCOP, 1998). BROOKES (1988) a par ailleurs montré que la réversibilité des aménagements de type chenalisation sur les rivières anglaises et danoises était fonction de cette énergie spécifique des cours d'eau. La valeur repère qu'il avance de 35 W/m^2 comme seuil en deçà duquel les cours d'eau ne se régénèrent pas d'eux-mêmes est à nuancer en fonction du type de cours d'eau et surtout de sa granulométrie.

COUPLAGE ENTRE TYPES DE FACIÈS, GÉOMÉTRIE HYDRAULIQUE ET BIOLOGIE

Aux différences entre faciès, sont souvent associées des différences de fonctionnement biologique (HAWKINS *et al.*, 1993) : par exemple la rétention des nutriments (AUMEN *et al.*, 1990), la densité algale (TETT *et al.*, 1978), la production d'invertébrés ou leur diversité (HURYN et WALLACE, 1987) et l'abondance des poissons (BISSON *et al.*, 1988).

Certains auteurs, forts de leurs connaissances des exigences d'habitat d'une espèce de poisson, ont proposé de noter qualitativement chaque type de faciès en fonction de leur intérêt biologique : ainsi les spécialistes des salmonidés et du saumon (*Salmo salar*, L.) en particulier, identifient-ils des radiers à tacons ou des faciès propices à la reproduction (CHAMPIGNEULLE, 1978 ; BAGLINIÈRE et CHAMPIGNEULLE, 1982). Cette connaissance peut être cartographiée pour de grands linéaires après interprétation de photographies aériennes (GÉRARDIN et LACHANCE, 1987).

Dans d'autres cas, il est nécessaire de connaître plus finement le comportement de chaque faciès en fonction de variations imposées du débit. Il faut alors avoir recours à des méthodes prenant en compte l'habitat de façon dynamique, c'est à dire représentant l'évolution des vitesses et hauteurs d'eau avec le débit. C'est le principe de la méthode des microhabitats (BOVEE, 1982 ; POUILLY *et al.*, 1985), supportée par le logiciel EVHA* (GINOT, 1995 ; GINOT *et al.*, 1998). Une caractérisation simplifiée de la répartition statistique des hauteurs et vitesses au sein d'une station est désormais possible grâce aux travaux de LAMOUREUX (1997 ; logiciel Stathab*). Ces travaux montrent qu'il est possible de prévoir cette répartition en fonction du débit dès lors que l'on connaît les variations mesurées de la largeur mouillée et des hauteurs d'eau à deux débits. De plus leur validation biologique en grands cours d'eau montre que la composition du peuplement de poissons est pour partie liée au nombre de Froude au débit d'étiage Q_{20} (LAMOUREUX *et al.*, 1999).

DISCUSSION

Choix des critères de premier niveau pour la clé de détermination

Le choix de la hauteur d'eau et de la vitesse comme critères de premier niveau résulte d'un compromis entre les aspects pratiques de terrain et les critères récurrents dans la littérature. JOWETT (1993) considère par exemple que ces deux variables sont les meilleures pour discriminer les faciès des cours d'eau qu'il étudie en Nouvelle Zélande. C'est aussi la position de OSWOOD et BARBER (1982) et de AALAND (1993).

Nous avons tenu à proposer des valeurs chiffrées pour ces variables, de façon à limiter la subjectivité et les écarts d'appréciation entre observateurs. Il s'agit là encore de compromis entre différentes valeurs admises dans la bibliographie internationale. Ces valeurs sont en général citées pour discriminer des grands types d'assemblages floristiques et faunistiques ou satisfaire les grandes fonctions vitales. C'est l'exemple bien connu des radiers à graviers qui ont un rôle fonctionnel pour la reproduction des poissons lithotoques comme la truite ou les cyprinidés rhéophiles et pour la production de macroinvertébrés (HYNES, 1970 ; NEVEU, 1981).

Par ailleurs, plusieurs auteurs signalent avec JOWETT (1993) une certaine difficulté à bien distinguer les radiers de certains plats courants : dans ce cas, le rapport V/H apparaît comme un bon critère de discrimination. Ce rapport est voisin de 2 pour les plats et de 5 pour les radiers. A noter qu'ALLEN (1951) donne complémentirement des valeurs inférieures à 0,8 pour les mouilles.

* Logiciels EVHA et Stathab : <http://www.lyon.cemagref.fr/lyon/bea/lhq/lhq.html>

Un parti pris hydrobiologique

D'un point de vue géomorphologique, il eut été intéressant de ne décrire et caractériser les faciès d'écoulement que par des paramètres adimensionnels, qui auraient permis de préciser le type de faciès observé quelle que soit la taille du cours d'eau.

Ainsi si l'on définit un faciès PLAT par un rapport largeur/profondeur supérieur à 50 pour un débit d'étiage (ou pour un débit de pleins bords), il est très simple de classer en PLAT des faciès présents sur de tout petits cours d'eau comme sur de très grands.

Le PLAT d'un ruisseau de 2 m de large aurait une hauteur d'eau de 4 cm en étiage (ou moins), le PLAT typique du Rhône à Lyon aurait, pour 150 m de largeur, une hauteur d'eau de 3 m.

Ce type de classification adimensionnelle correspond bien à une réalité physique, hydraulique et morphodynamique, mais n'est pas transposable en l'état dans un contexte hydrobiologique, certaines espèces étant inféodées non à des paramètres adimensionnels mais bien à des valeurs brutes de ces paramètres. Une hauteur d'eau moyenne semble plus appropriée pour décrire l'habitat de la truite fario qu'un rapport largeur/profondeur, même si de nombreuses corrélations existent, en fonction de la taille du cours d'eau, entre ce paramètre adimensionnel et les caractéristiques d'habitat de nombreuses espèces.

Nous nous sommes donc volontairement orientés vers une classification non exclusivement géométrique et physique des faciès mais bien physico-biologique, c'est à dire intégrant des notions générales d'habitats pour les biocénoses aquatiques. C'est dans cet esprit que nous avons pris comme valeur seuil pour séparer les PLATS des CHENAUX un tirant d'eau de 60 cm ; de même pour séparer les faciès lentiques et lotiques avons nous choisi un seuil de 30 cm/s.

Descriptions de variables complémentaires

Au même titre que le substrat, il peut être intéressant, à des fins géomorphologique ou biologique, d'observer des structures plus fines internes au faciès. Ainsi, pour décrire l'habitat des salmonidés, BISSON *et al.* (1981) s'attachaient à détailler beaucoup plus d'ensembles structuraux. Une attention particulière peut être portée aux structures ligneuses grossières, diffuses ou formant embâcles, aux encoches d'érosion et sous berges, éléments de jugement sur l'activité du cours d'eau, mais aussi parties intégrantes de l'habitat aquatique de certains poissons ou macroinvertébrés (MARIDET et SOUCHON, 1995). Ces remarques vont dans le sens de celles de KERSHNER et SNIDER (1992), qui mettent l'accent sur une richesse biologique parfois inféodée à des habitats singuliers peu représentés.

Ne pas oublier la dimension dynamique

Il est très tentant pour de nombreux hydrobiologistes de chercher à dériver des relations simples entre séquences de faciès et biologie. La description instantanée proposée a des limites :

- les faciès et leur agencement linéaire peuvent recouvrir des réalités physiques différentes en termes de distribution de hauteurs d'eau et de vitesses en fonction de différentes régions (COHEN *et al.*, 1998 ; SOUCHON *et al.*, 2000),

- l'hydraulique d'un cours d'eau varie avec le débit. Or la dynamique biologique ne dépend pas de l'hydraulique instantanée, mais de l'histoire temporelle des conditions hydrauliques. Par conséquent, s'il l'on souhaite comparer deux cours d'eau, il n'est pas très utile de comparer des mesures instantanées. Elles dépendent fortement du débit du jour

de l'échantillonnage. Il faudrait au contraire comparer les conditions hydrauliques pour un même quantile de débit.

C'est pourquoi il nous a semblé utile d'introduire les notions de géométrie hydraulique, qui permettent d'établir des lois de comportement physique simples avec le débit. Il suffit par exemple de mesurer la hauteur moyenne et la largeur moyenne du tronçon à deux débits différents. Cela ne nécessite pas de mesures de vitesses ni de repérage topographique précis. De telles mesures prennent au maximum 2 x 2 heures à deux personnes (LAMOUREUX, 1997).

Cette dynamique physique structure en grande partie le fonctionnement biologique des cours d'eau (STATZNER *et al.*, 1988 ; TOWNSEND et HILDREW, 1994). A l'échelle de tronçons, des variables comme le nombre de Froude et le nombre de Reynolds expliquent par exemple la structuration des peuplements de poissons du Rhône (LAMOUREUX *et al.*, 1999) et gouvernent les formes des réponses des simulations d'habitat (LAMOUREUX et CAPRA, in press ; LAMOUREUX et SOUCHON, in press).

CONCLUSION

La clé de détermination des faciès que nous proposons s'inscrit dans un souci de mieux standardiser les approches de description des cours d'eau, particulièrement lorsqu'elles font intervenir des chercheurs de différentes disciplines et des gestionnaires (NAIMAN *et al.*, 1992 ; HAWKINS *et al.*, 1993). L'approche spatiale des hydrosystèmes selon un canevas d'échelles emboîtées est désormais bien admise depuis la description de FRISSEL *et al.* (1986). Elle fait une large part aux faciès, qui se présentent comme des unités résumant la dynamique fluviale et au sein desquelles on peut agréger différentes fonctions biologiques. Ceci nous apparaît comme particulièrement utile au moment de la mise en place d'un SEQ physique (Système d'Evaluation de la Qualité) au niveau français, pour déterminer l'état des cours d'eau, évaluer leurs transformations et définir leurs besoins de réhabilitation. Démarche qui a été amplifiée récemment à l'échelon européen dans le cadre de l'application de la Directive Cadre sur les eaux de surface (décembre 2000). L'ajout d'une dimension dynamique à cette description par le biais de mesures de géométrie hydraulique permet d'établir des liens plus fonctionnels avec la biologie.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les 3 relecteurs anonymes et Nicolas Lamouroux pour leurs précieux conseils de révision. Une partie de ces travaux a bénéficié du soutien financier du Cemagref (Département Gestion des Milieux Aquatiques, action Etat écologique, projet CAPHYR).

BIBLIOGRAPHIE

- AADLAND L.P., 1993. Stream habitat types: their fish assemblages and relationship to flow. *North American Journal of Fisheries Management*, 13, 790-806.
- ALLEN K.R., 1951. The Horokivi stream. Fisheries Bulletin, Rep. No. 10, New Zealand Marine Department, Wellington, 231 p.
- AQUASCOP, 1998. Système d'évaluation de la qualité du milieu physique des cours d'eau. Rapport de présentation, Rep. No. Version 0, Agences de l'Eau, 31 p. + annexes.
- ARMITAGE P.D., GUNN R.J.M., FURSE M.T., WRIGHT J.F., MOSS D., 1987. The use of prediction to assess macroinvertebrate response to river regulation. *Hydrobiologia*, 144, 25-32.

- AUMEN N.G., HAWKINS C.P., GREGORY S.V., 1990. Influence of woody debris on nutrient retention in catastrophically disturbed streams. *Hydrobiologia*, 190, 183-192.
- BAGLINIÈRE 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) : préférences physiques et variations annuelles (1976-1980). *Acta Œcologica*, 3, 241-256.
- BESCHTA R.L., PLATTS W.S., 1986. Morphological features of small streams: significance and functions. *Water Resources Bulletin*, 22, 369-379.
- BISSON P.A., SULLIVAN K., NELSEN J.L., 1988. Channel hydraulics, habitat use, and body form of juvenile coho salmon, steelhead, and cutthroat trout in streams. *Transactions of the American Fisheries Society*, 117, 262-273.
- BISSON P.A., NIELSEN J.L., PALMASON R.A., GROVE L.E., 1981. A system of naming habitat types in small streams, with examples of habitat utilization by salmonids during low streamflow. In : Acquisition and utilization of aquatic habitat inventory information (ARMANTROUT N.B. ed.), 62-73. American Fisheries Society, Bethesda, MD.
- BJHOWMIK N.G., DEMISSIE M., 1982. Bed material sorting in pools and riffles. *Journal of the Hydraulics Division of the American Society of Civil Engineers*, 108, 1227-1231.
- BOVEE K.D., 1982. A guide to stream habitat analysis using the Instream Flow Incremental Methodology. Instream Flow Information Paper n°12, FWS/OBS 82/86. U.S.D.S. Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services, Fort Collins, Colorado, 248 p.
- BROOKES A., 1988. Channelized rivers. Perspectives for environmental management. Wiley Interscience, 326 p.
- BROOKES A., GREGORY K.J., DAWSON F.H., 1983. An assessment of river channelization in England and Wales. *The Science of the Total Environment*, 27, 97-112.
- CHAMPIGNEULLE A., 1978. Caractéristiques de l'habitat piscicole et de la population de juvéniles sauvages de saumon atlantique (*Salmo salar* L.) sur le cours principal du Scorff (Morbihan). Thèse de 3^{ème} cycle, Université de Rennes, 92 p.
- COHEN P., ANDRIAMAHEFA H., WASSON J.G., 1998. Towards a regionalization of aquatic habitat: distribution of mesohabitats at the scale of a large basin. *Regulated Rivers: Research and Management*, 14, 391-404.
- DELACOSTE M., BARAN P., LEK S., LASCAUX J.M., 1995. Classification et clé de détermination des faciès d'écoulement en rivières de montagne. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 337/338/339, 149-156.
- 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. *Environmental Management*, 10, 199-214.
- GÉRARDIN V., LACHANCE Y., 1987. Vers une gestion intégrée des bassins versants. Atlas du cadre écologique de référence du bassin versant de la rivière Saint Charles, Québec, Canada, Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec - Ministère de l'Environnement du Canada, Québec, 58 p.
- GINOT V., 1995. EVHA : un logiciel d'évaluation de l'habitat du poisson sous Windows. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 337/338/339, 303-308.
- GINOT V., SOUCHON Y., CAPRA H., BREIL P., VALENTIN S., 1998. Logiciel EVHA. Evaluation de l'habitat physique des poissons en rivière (V. 2.0). Guide méthodologique. Cemagref Lyon BEA/LHQ et Ministère de l'Environnement, Dir. de l'Eau, Paris, France. 176 p.
- GLOVA G.J., DUNCAN M.J., 1985. Potential effects of reduced flows on fish habitats in a large braided river, New Zealand. *Transactions of the American Fisheries Society*, 114, 165-181.
- GREGORY K.J., GURNELL A.M., HILL C.T., TOOTH S., 1994. Stability of the pool-riffle sequence in changing river channels. *Regulated Rivers: Research and Management*, 9, 35-43.
- HAWKINS C.P., KERSHNER J.L., BISSON P.A., BRYANT M.D., DECKER L.M., GREGORY S.V., MCCULLOUGH D.A., OVERTON C.K., REEVES G.H.,

- STEEDMAN R.J., YOUNG M.K., 1993. A hierarchical approach to classifying stream habitat features. *Fisheries*, 18, 3-12.
- HENDERSON F.M., 1966. Open channel flow. McMillan, New-York.
- HURYN A.D., WALLACE J.B., 1987. Local geomorphology as a determinant of macrofaunal production in a mountain stream. *Ecology*, 68, 1932-1942.
- HYNES H.B.N., 1970. The Ecology of Running Waters. University of Toronto Press, Toronto, 555 p.
- 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*, 27, 241-248.
- KERSHNER J.L., SNIDER W.M., 1992. Importance of a habitat-level classification system to design instream flow studies. In: River Conservation and Management (BOON P.J., CALOW P., PETTS E. Eds.), 179-193. John Wiley & Sons Ltd.
- KERSHNER J.L., SNIDER W.M., TURNER D.M., MOYLE P.B., 1992. Distribution and sequencing of mesohabitats: are there differences at the reach scale? *Rivers*, 3, 179-190.
- LAMOUREUX N., 1997. Hydraulique statistique et prédiction de caractéristiques du peuplement piscicole : modèles pour l'écosystème fluvial. Thèse Doctorat Université Claude Bernard Lyon I, Compagnie Nationale du Rhône, Cemagref BEA/LHQ, 50 p. + annexes.
- LAMOUREUX N., CAPRA H., in press. Simple predictions of instream habitat model outputs for target fish populations. *Freshwater Biology*.
- LAMOUREUX N., SOUCHON Y., in press. Lessons from instream habitat modelling for fish communities. *Freshwater Biology*.
- LAMOUREUX N., OLIVIER J.M., PERSAT H., POUILLY M., SOUCHON Y., STATZNER B., 1999. Predicting community characteristics from habitat conditions: fluvial fish and hydraulics. *Freshwater Biology*, 42, 275-299.
- LEOPOLD L.B., MADDOCK T., 1953. The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. U.S. Geological Survey Prof. Paper, Rep. No. 252, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 57 p.
- LEOPOLD L.B., WOLMAN M.G., MILLER J.P., 1964. Fluvial processes in Geomorphology, San Francisco, 522 p.
- MALAVOI J.R., 1989. Typologie des faciès d'écoulement ou unités morphodynamiques des cours d'eau à haute énergie. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 315, 189-210.
- MALAVOI J.R., SOUCHON Y., 1989. Méthodologie de description et quantification des variables morphodynamiques d'un cours d'eau à fond caillouteux. Exemple d'une station sur la Filière (Haute Savoie). *Revue de Géographie de Lyon*, 64, 252-259.
- MARIDET L., SOUCHON Y., 1995. Habitat potentiel de la truite fario (*Salmo trutta fario*, L. 1758) dans trois cours d'eau du Massif Central. Approche méthodologique et premiers résultats sur le rôle de la végétation rivulaire arborée. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 336, 1-18.
- MOSLEY M.P., 1982. A procedure for characterising river channels. Water and soil miscellaneous publication, Rep. No. 32, Ministry of Work and Development, Wellington, 90 p.
- NAIMAN R.J., LONZARICH D.G., BEECHIE T.J., RALPH S.C., 1992. General principles of classification and the assessment of conservation potential in rivers. In: Rivers Conservation and Management (BOON P., CALOW P., PETTS G. Eds.), 93-123. Wiley & Sons, Chichester, UK.
- NEVEU A., 1981. Densité et microrépartition des différentes espèces de poissons dans la Basse Nivelle, petit fleuve côtier des Pyrénées Atlantiques. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 280, 86-102.
- NEWBURY R.W., GABOURY M.N., 1993. Stream analysis and fish habitat design. Newbury Hydraulics Ltd., Manitoba Natural Resources, 256 p.
- O'NEIL M.P., ABRAHAMS A.D., 1984. Objective identification of pools and riffles. *Water Resources Research*, 20, 921-926.

- OSWOOD M.E., BARBER W.E., 1982. Assessments of fish habitat in streams: goals, constraints and a new technique. *Fisheries*, 7, 8-11.
- POUILLY M., VALENTIN S., CAPRA H., GINOT V., SOUCHON Y., 1995. Note technique : méthode des microhabitats, principes et protocoles d'application. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 336, 41-54.
- RICHARDS K.S., 1976. The morphology of riffle-pool sequences. *Earth Surface Proceedings*, 1, 71-88.
- ROSGEN D., 1996. Applied river morphology. Wildland Hydrology, Colorado, 345 p.
- SCHUMM S.A., 1977. The Fluvial System. John Wiley and Sons Eds. Water Resources Publications, New-York, 338 p.
- SIMONSON T.D., 1993. Correspondence and relative precision of stream habitat features estimated at two spatial scales. *Journal of Freshwater Ecology*, 8, 363-372.
- SIMONSON T.D., LYONS J., KANEHL P.D., 1994. Quantifying fish habitat in streams: transect spacing, sample size, and a proposed framework. *North American Journal of Fisheries Management*, 14, 607-615.
- SOUCHON Y., TROCHERIE F., FRAGNOUD E., LACOMBE C., 1989. Les modèles numériques des microhabitats des poissons : application et nouveaux développements. *Revue des Sciences de l'Eau*, 2, 807-830.
- SOUCHON Y., ANDRIAMAHEFA H., COHEN P., BREIL P., PELLA H., LAMOUREUX N., MALAVOI J.R., WASSON J.G., 2000. Régionalisation de l'habitat aquatique dans le bassin de la Loire. Synthèse. Agence de l'eau Loire Bretagne, Cemagref Bely/LHQ, 291 p.
- STATZNER B., GORE J.A., RESH V.H., 1988. Hydraulic stream ecology: observed patterns and potential applications. *Journal of the North American Benthological Society*, 7, 307-360.
- TETT P., GALLEGOS C., KELLY M.G., HORNBERGER G.M., COSBY B.J., 1978. Relationships among substrate, flow, and benthic microalgal pigment density in the Mechums River, Virginia. *Limnology and Oceanography*, 23, 785-797.
- TOWNSEND C.R., HILDREW A.G., 1994. Species traits in relation to a habitat template for river system. *Freshwater Biology*, 31, 265-276.
- WENTWORTH C.K., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30, 377-392.
- WOLMAN M.G., 1955. The natural channel of Brandywine Creek, Pennsylvania. *USGS Professional Paper*, 271.
- YANG C.T., 1971. Formation of riffles and pools. *Water Resources Research*, 7, 1567-1574.