TYPOLOGIE DES FACIES D'ECOULEMENT OU UNITES MORPHODYNAMIQUES DES COURS D'EAU A HAUTE ENERGIE

J.R. MALAVOI

CEMAGREF (Centre National du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et des Forêts)
Division Qualité des Eaux, Pêche et Pisciculture. Laboratoire d'Hydroécologie Quantitative.
3, quai Chauveau.
69336 LYON CEDEX 09.

et

LABORATOIRE DE GEOGRAPHIE PHYSIQUE. Département de Géographie. Université LYON III.

Reçu le 18 décembre 1989
Accepté le 27 décembre 1989

Received 18 December, 1989
Accepted 27 December, 1989

RESUME

La méthode des microhabitats développée au CEMAGREF de LYON permet actuellement d'obtenir une bonne image de la capacité d'accueil d'un cours d'eau salmonicole à *Salmo trutta fario*. Elle consiste à coupler sur une station d'étude représentative d'une partie du linéaire de celui-ci, d'une part un modèle biologique traduisant les relations entre la présence et la densité relative d'un stade donné d'une espèce de poisson (ici la truite) et les valeurs des trois variables physiques caractéristiques de son habitat (la profondeur, la vitesse du courant et la granulométrie du lit), d'autre part un modèle hydraulique permettant à partir d'une campagne de mesure, de reconstituer pour différents débits, les valeurs des variables hydrodynamiques retenues.

Pour sectoriser un cours d'eau, le typer et choisir les stations qui permettront d'en donner une image fiable à un moindre coût, il est nécessaire de bien connaître les différents types de faciès d'écoulement que l'on peut y rencontrer.

L'identification de ces unités se fera sur le terrain au moyen de critères simples tels que la hauteur d'eau, la vitesse, la granulométrie, la forme des profils en travers et en long, la localisation et le tracé en plan. Elle sera si possible réalisée en période d'étiage moyen de façon à observer des conditions d'écoulement variées ce qui n'est plus le cas lorsque le débit augmente et "lisse" la surface libre.

TYPOLOGY OF FLOW FEATURES OR MORPHODYNAMIC UNITS IN HIGH ENERGY STREAMS

SUMMARY

The microhabitat methodology developed by the CEMAGREF (LYON) permits to obtain a clear picture of the habitat suitability of a trout stream. It consists in linking on a study reach, representative of a longer part of the stream, on the one hand a biological model reflecting connections between the presence and the relative density of a given stage of development of a fish species (here the brown trout) and the values of the three physical variables characterizing its habitat (the water depth, the stream velocity and the sediment size), on the other hand an hydraulic model allowing with one survey, to reconstitute for different discharges the values of the hydrodynamic variables.

To sector a stream, classify it and choose the study reaches which could give a reliable picture of it, it is necessary to have a good knowledge of the morphological features (facies) types likely to be encountered.

The identification of these units will be done in the field using some simple criteria such as water depth, stream velocity, sediment size, cross section shape, longitudinal profile and plan view. This will be carried out during low flow stage in order to observe the more varied flow conditions, which is not the case when the discharge increases and smoothes the free water surface.

INTRODUCTION

Le CEMAGREF de LYON développe actuellement une méthodologie inspirée de celle de BOVEE (1982) permettant de décrire et de modéliser l'habitat des communautés ichthyologiques des écosystèmes d'eau courante (FRAGNOUD, 1987, SOUCHON et al. 1989, MALAVOI et SOUCHON, 1989). Cette méthode vise à terme la possibilité d'estimation précise des stocks de poissons d'un cours d'eau ou d'une portion de cours d'eau.

Dans un premier temps, la recherche a été menée sur des rivières de montagne ou de piémont caractérisées par un peuplement salmonicole à *Salmo trutta fario*, espèce dont la présence et la densité sont conditionnées notamment par trois variables morphodynamiques essentielles : la hauteur d'eau, la vitesse du courant et la granulométrie du lit. A chaque stade de sa vie, la truite effectue en effet, quel que soit le cours d'eau dans lequel elle se trouve, un choix dépendant de ces trois paramètres pour exercer une fonction physiologique comme la nutrition, la reproduction, le repos...

Afin de mieux cerner l'évolution au cours d'un cycle hydrologique annuel de la "capacité d'accueil" d'un cours d'eau pour une telle espèce un protocole de mesure a été élaboré. Il consiste dans un premier temps à choisir une station d'étude représentative d'une certaine proportion du linéaire du cours d'eau considéré, puis à découper cette station en fonction des différents types d'écoulement présents de façon à effectuer les mesures des trois variables sus-citées dans des conditions homogènes.

Il apparaît donc important, dans l'optique d'une plus large utilisation de la méthode proposée, dite méthode des "microhabitats", de standardiser la terminologie applicable aux faciès d'écoulement rencontrés dans les cours d'eau à "haute énergie" (pentes moyennes à fortes) afin de les identifier facilement et de choisir et décrire au mieux les stations d'étude.

Avant cela, il est nécessaire de faire rapidement le point sur la technique que nous employons pour "découper" un cours d'eau, à partir de critères à la fois géomorphologiques et écologiques, de façon à le sectoriser sur des bases les plus objectives possibles.

I. SECTORISATION MORPHO-ECOLOGIQUE

Le cours d'eau, entité à part entière, peut généralement être, quelle que soit sa taille, sectionné en un certain nombre d'unités, définies à différents niveaux d'une classification hiérarchisée (fig.1).

1.1. NIVEAU TRONÇON

Il peut d'abord être divisé en TRONÇONS dont les limites seront établies sur la base de paramètres géologiques, géomorphologiques, hydrologiques ou tout autres se traduisant par de nettes modifications de la morphologie générale de la rivière ou de sa vallée.

(EX : Passage d'un socle cristallin à un bassin sédimentaire, brusque arrivée en plaine après un parcours montagneux, modification anthropique sensible de la physionomie générale du cours d'eau, de sa vallée ou de son bassin versant, ou, critère le plus souvent utilisé, apport hydrologique d'un affluent important.)

1.2. NIVEAU SEGMENT

Chaque tronçon peut ensuite être découpé en SEGMENTS, caractérisés par une relative homogénéité des faciès ou séquences de faciès, ainsi que de la morphologie en plan.

(EX : Segment méandriforme à séquences RADIER/MOUILLE, segment rectiligne à RAPIDES etc...)

Un autre critère de délimitation des segments fréquemment employé est la largeur du lit moyen ordinaire (non végétalisé), bande active d'érosion et de dépôt de la charge solide, qui influe particulièrement sur la dynamique du segment (notamment en fonction des débits).

(EX : Segment à lit moyen supérieur à 10 fois la largeur du lit mineur, segment à lit moyen confondu avec le lit mineur etc...).

C'est au niveau du segment que se fait le choix de la station d'étude.

figure 1. : Sectorisation morphoécologique d'un cours d'eau
figure 1. : Morphoecological sectoring of a stream

1.3. NIVEAU SEQUENCE

Un segment peut n'être représenté que par un type de faciès (Segment à RAPIDES); il l'est plus généralement par une succession répétée de faciès que l'on nomme SEQUENCE.

(EX : Séquence RADIER/MOUILLE, séquence PLAT/RADIER/MOUILLE etc...)

1.4. NIVEAU FACIES

Naturellement chaque séquence peut être fractionnée en FACIES D'ÉCOULEMENT ou UNITES MORPHODYNAMIQUES de tailles très variables qui feront l'objet du développement de ce document.

(EX : Faciès RADIER, faciès PLAT, faciès CASCADE etc...)

* Pour affiner la description, certains faciès peuvent encore être subdivisés en SOUS-UNITES. (EX : Tête de RADIER à granulométrie grossière, queue de RADIER à granulométrie plus fine, milieu de MOUILLE présentant généralement la profondeur la plus forte etc...)

1.5. NIVEAU AMBIANCE

A ce niveau de description commencent à intervenir des paramètres plus écologiques que géomorphologiques.

C'est ainsi qu'il nous a semblé intéressant d'intégrer une échelle intermédiaire entre le faciès et l'entité suivante (le micro-habitat), que nous nommons AMBIANCE MESOLOGIQUE, et qui peut être caractérisée par exemple, par la proximité de deux écoulements très différents (rapide et lent , voir fig.1) qui sont en réalité les conditions mésologiques que ressent véritablement la communauté biotique du cours d'eau et particulièrement la faune piscicole.

1.6. NIVEAU MICROHABITAT

Le dernier niveau d'observation du cours d'eau, le MICRO-HABITAT, peut aussi être considéré comme ayant une valeur avant tout écologique.

Il est défini actuellement par la conjonction de trois variables abiotiques admises comme primordiales pour le développement de la communauté piscicole, et sans doute pour un certain nombre d'autres communautés biologiques (invertébrés benthiques, végétaux aquatiques etc...)

- * la hauteur d'eau
- * la vitesse moyenne du courant
- * la granulométrie du substrat

Après avoir évoqué succinctement les différentes échelles possibles d'observation d'un cours d'eau, nous allons développer plus finement une des notions principales permettant cette classification hiérarchisée :

LE FACIES D'ÉCOULEMENT OU UNITE MORPHODYNAMIQUE.

II. LES FACIES D'ÉCOULEMENT

On appelle faciès d'écoulement ou unité morphodynamique, toute portion de cours d'eau présentant sur une certaine longueur une physionomie générale homogène sur le plan des hauteurs d'eau, des vitesses et de la granulométrie.

La longueur des faciès peut être très variable, quelle que soit la taille de la rivière; un faciès "FOSSE DE DISSIPATION" pourra faire quelques m2, un faciès "RADIER à Pierres Grossières" quelques centaines, un faciès "RAPIDE à blocs" plus d'un millier (pour la nomenclature des classes granulométriques, se référer à la note CEMAGREF (1988).

Le problème principal concernant la typologie des faciès est de savoir sur quel niveau de débit sera basée la description. Il semble en effet évident qu'un faciès PLAT à PF observé à l'étiage aura une physionomie tout à fait différente en eaux moyennes.

Nous avons pris le parti de choisir comme débit de caractérisation des faciès l'étiage moyen (par exemple le module mensuel médian de la période hydrologique d'étiage), la raison sous-jacente étant l'hypothèse selon laquelle les valeurs d'habitat limitantes (pour la truite fario notamment) sont celles correspondant aux basses eaux.

Les géomorphologues et les hydrauliciens ont eux plutôt tendance à observer les rivières à un débit relativement élevé (généralement le débit "à pleins bords") considéré comme celui responsable de la genèse des formes majeures du lit (débit morphogène).

Cette approche, pour intéressante qu'elle soit, ne permet que l'observation des phénomènes d'érosion les plus importants et éventuellement du transport solide en suspension; elle a un intérêt limité dans le cadre d'une typologie que nous nommons "morpho-écologique".

Il sera tout de même profitable, si cela est possible, d'avoir une image de l'unité ou de la séquence en question à un débit différent de celui de la description (stade modulaire annuel par exemple).

Un certain nombre de critères ont été choisis pour différencier les faciès de la façon la plus objective.

Les trois principaux, utilisés d'ailleurs pour l'évaluation des habitats aquatiques (échelle du micro-habitat) sont :

- * la hauteur d'eau moyenne
- * la vitesse moyenne
- * la granulométrie moyenne

D'autres paramètres peuvent être introduits pour affiner la classification :

- * localisation et tracé en plan
- * forme du profil en travers
- * forme du profil en long
- * existence d'alternances d'écoulement
- * etc...

Nous présenterons ici les caractéristiques principales des unités morphologiques les plus communément rencontrées sur les cours d'eau à haute énergie et à fond caillouteux.

Nous tâcherons, aussi souvent que possible, de mettre en Italiques le terme anglosaxon le plus fréquemment utilisé pour caractériser les différents faciès (Habitat Inventory Committee 1985).

Chaque observateur pourra, s'il désire affiner sa description, noter en supplément la granulométrie moyenne du faciès (cf. note précédemment citée).

Il lui sera de même possible en cas d'hésitation entre deux faciès proches ou pour des unités présentant des caractéristiques transitoires, d'accoler le nom de deux faciès en notant en premier celui dont la zone examinée se rapproche le plus.

(EX : un faciès transitoire entre un RADIER et un PLAT sera nommé RADIER-PLAT, même chose pour un faciès RAPIDE-CASCADE etc...).

Il pourra enfin dans certains cas complexes comme la présence sur un même profil transversal de deux faciès différents (phénomène dû généralement à un obstacle disposé longitudinalement et provoquant une partition nette de l'écoulement) joindre au moyen du signe + le nom des deux faciès en question.

(EX : une section de cours d'eau composée en rive droite d'un PLAT et en rive gauche d'un CHENAL LOTIQUE sera codée PLAT+CHENAL LOTIQUE, l'opérateur pouvant, s'il le désire, préciser la largeur occupée par chacune des deux unités)

2.1. FACIES ASSIMILABLES A DES MOUILLES

Ce sont des zones caractérisées par une forte hauteur d'eau et une faible vitesse par rapport au reste du segment.

2.1.1. Genèse

Il s'agit généralement d'aires de surcreusement, d'érosion active, dues à la convergence en crue des flux hydriques, l'énergie cinétique ainsi renforcée se dissipant dans l'affouillement et l'arrachement des éléments du substrat.

Ce sont donc des formes élaborées à un stade de débit élevé.

Deux modèles de "MOUILLES" ne sont pas toujours liés à ces lois d'affouillement : les MOUILLES AMONT D'OBSTRUCTION et certains types de CHENAUX LENTIQUES.

2.1.2. Caractéristiques physiques

* hauteurs d'eau beaucoup plus fortes que la moyenne du tronçon

* vitesses très faibles voire pratiquement nulles en basses eaux (mais la tendance s'inverse à partir d'un certain seuil de débit, d'où l'affouillement)

NB : Certaines unités de surcreusement, notamment sur des cours d'eau à forte pente aménagés avec digues ou enrochements, présentent, même en eaux assez basses, un écoulement lotique voire hyperlotique.

Ces faciès que l'on peut difficilement d'un point de vue écologique assimiler à des MOUILLES seront cependant codés: MOUILLES LOTIQUES.

2.1.3 Tracé en plan, profils en travers, profils en long.

Ces unités morphologiques peuvent être observées en différents points d'un cours d'eau.

* Dans des rivières méandriformes ou sinueuses, les convergences de flux et les courants secondaires dans les concavités des coudes provoquent le développement des classiques : MOUILLES DE CONCAVITE (pool) (fig.2).

Le profil en travers typiquement dissymétrique de ces MOUILLES nous oblige à y associer un faciès conjoint à hauteur d'eau décroissante vers l'intérieur de la courbe : le BANC DE CONVEXITE (point bar), dont tout ou partie peut d'ailleurs être émergé à l'étiage.

figure 2 : Mouille de concavité et banc de convexité

figure 2 : Pool and point bar

* A l'aval de seuils artificiels, de chutes, de cascades ou de gros embâcles, se produit généralement une augmentation des forces tractrices liée aux pertes de charge singulières et provoquant un phénomène d'affouillement identique.

Ces faciès sont appelés FOSSES DE DISSIPATION (ou BAIGNOIRES dans le cas des CASCADES) (*plunge pool*) (fig.3).

figure 3 : Fosse de dissipation
figure 3 : Plunge pool

* Les obstacles à l'écoulement, dans les cours d'eau disposant d'une énergie suffisante, provoquent aussi l'apparition de phénomènes érosifs.

Nous nommons les unités qui en résultent, de taille souvent réduite, des FOSSES D'AFFOUILLEMENT D'OBSTACLE (*backwater pool, scour pool*) (fig.4).

figure 4 : Fosses d'affouillement d'obstacle
figure 4 : Backwater pools or scour pools

* Sous certaines conditions hydrodynamiques (obstacles de grande taille émergés ou immergés) se développent parfois des écoulements particulièrement érosifs qui, au niveau des berges notamment, provoquent la création d'unités proches des précédentes mais généralement plus vastes que l'on nomme ANSES D'EROSION (*alcove*) (fig.5).

Les profondeurs sont souvent assez fortes et les vitesses faibles ou nulles avec parfois un contre courant.

figure 5 : Anse d'érosion
figure 5 : Alcove

* A l'amont d'obstacles de plus grande dimension, obstruant totalement ou presque le lit mineur (embâcles, seuils de moulins etc.) sur des tronçons à pente moyenne ou faible, la hauteur d'eau augmente et la pente de la ligne d'énergie diminue notablement du fait d'un très net contrôle

aval. On est alors en présence d'une unité de type : MOUILLE AMONT D'OBSTACLE (*dammed pool*) (fig.6).

figure 6. : Mouille amont d'obstacle
figure 6. : Dammed pool

* Sur des cours d'eau à pente moyenne ou faible de modèle rectiligne ou légèrement sinueux, on observe fréquemment des faciès de grande longueur ressemblant au précédent et ayant une origine assez proche, à savoir un type de contrôle aval moins marqué qu'une obstruction complète du lit mais presque aussi efficace (resserrement naturel ou artificiel, pont à arches étroites etc.). Le profil en travers est généralement en auge ou peu dissymétrique, les profondeurs sont élevées et les vitesses faibles; on parle alors de CHENAL LENTIQUE (les anglosaxons ne semblent pas faire de différence avec le faciès précédent) (fig.7).

figure 7. : Chenal lentique
figure 7. : Lentic channel

NB : Ce terme peut être aussi appliqué à certains faciès rencontrés sur les rivières à faible pente rectifiées ou endiguées.

2.2. FACIES DE TYPE RADIER (*riffle*)

On inscrira dans cette catégorie, les unités de longueur faible ou moyenne (1 < < 5 fois la largeur du lit mineur) situées dans une séquence (ex : RADIER/MOUILLE DE CONCAVITE) (fig.8).

Les RADIERs sont généralement bien marqués dans la topographie du fond et présentent souvent une nette rupture de pente à l'amont et à l'aval, la pente moyenne du faciès étant toujours nettement supérieure à celle du reste du segment ou de la séquence.

Si le faciès est long, les ruptures de pente peu marquées et la pente moyenne sensiblement identique voire inférieure à la moyenne du segment on pourra alors l'assimiler à un PLAT, même s'il est situé dans une séquence.

Les RADIERs sont, de plus, très souvent disposés de façon oblique dans le cours d'eau.

2.2.1. Genèse

Les RADIERS sont situés dans des zones de divergence du courant, en général à la sortie de zones de convergence (ex : MOUILLES DE CONCAVITE), les flux hydriques s'étalant, la profondeur diminue et les valeurs des forces tractrices chutent considérablement.

On observe alors le dépôt des particules arrachées aux zones d'érosion et transportées par charriage, les éléments les plus grossiers se déposant en tête.

Si à l'étiage c'est sur ces RADIERS que s'observent les plus fortes vitesses, la tendance s'inverse à partir d'un certain seuil de débit (en crue par exemple) et c'est à ce moment que se produit le phénomène de dépôt.

2.2.2. Caractéristiques physiques

- * Hauteurs d'eau faibles, les éléments les plus grossiers apparaissant au ras de l'eau.
- * Vitesses plus fortes que la moyenne du segment.
- * Granulométrie relativement étendue selon le type de cours d'eau; elle est caractérisée par la présence en tête d'unité, de la fraction la plus grossière disponible au charriage, le diamètre des éléments diminuant vers l'aval du RADIER.

Si des fines sont parfois piégées dans les interstices du substrat, elles ne forment qu'une partie infime de la courbe granulométrique.

2.2.3. Tracé en plan, profils en travers et profils en long

- * Sur des cours d'eau méandriformes ou très sinueux, on les trouve dans les zones d'inflexion des courbures, là où le courant diverge. Le profil en travers est en auge avec parfois un talweg d'étiage. Le profil en long est caractérisé par une rupture topographique assez nette.

- * Sur des rivières aux sinuosités moins marquées, on les trouve aussi à l'aval de zones de convergence.

Si le faciès devient plus étendu on peut alors passer au type PLAT.

figure 8. : Radier

figure 8. : Riffle

2.3. FACIES DE TYPE PLAT (run ou shool)

Quelques notions essentielles sont à retenir pour l'identification de ce type de faciès :

- les hauteurs d'eau sont faibles et très uniformes sur l'ensemble de l'unité.
- les vitesses sont moyennes, elles aussi très uniformes.
- la granulométrie ne dépassant pas la classe PG pour les éléments les plus grossiers

est encore une fois elle aussi tout à fait uniforme.

- le profil en long, très lissé, ne présente généralement pas de ruptures de pente marquées avec les autres faciès de la séquence mais plutôt un contact assez doux; la pente de la ligne d'eau est souvent parallèle à celle du fond et l'écoulement est proche du régime uniforme (les anglosaxons distinguent un type de PLAT à vitesses faibles avec peu ou pas de turbulence de surface qu'ils nomment *glide*, *flat* ou *slick*. On peut ainsi introduire la notion de PLAT LENTIQUE).

2.3.1. Genèse.

Les PLATS se localisent le plus souvent dans des portions rectilignes. Leur formation est due à l'uniformité des vitesses dans un lit mineur assez large, liée essentiellement à l'absence ou au faible développement des courants secondaires généralement induits par les courbures.

Uniformité des vitesses impliquant uniformité des forces tractrices, il n'y a pas véritablement de phénomène d'érosion d'une partie du faciès par rapport à une autre, les profondeurs sont alors très homogènes ainsi que la granulométrie.

On peut considérer que le PLAT est plus une zone de transit de matériaux que d'érosion ou de dépôt.

2.3.2 Caractéristiques physiques

- * les profondeurs sont faibles, dans la plupart des cas inférieures à deux fois le diamètre des éléments les plus grossiers du substrat (correspondant au régime uniforme on les nomme profondeurs "normales").
- * les vitesses sont généralement moyennes.
- * la granulométrie est elle aussi moyenne, allant de CG à PG pour les plus gros éléments.

2.3.3 Tracé en plan, profils en travers et profils en long.

* Dans les cours d'eau méandriformes ou sinueux, on observe le faciès PLAT dans les sections rectilignes comprises entre deux méandres de grande longueur d'onde. Le contact entre le PLAT et la MOUILLE est parfois marqué par un RADIER de faible longueur.

* Dans les autres types de cours d'eau, les PLATS se rencontrent aussi dans des portions rectilignes, naturelles ou artificielles (enrochements prolongés, endiguement, rectification etc.)(fig.9).

figure 9. : Plat

figure 9. : Run or shoal

Lorsque la granulométrie grossière devient supérieure à PG et que la pente augmente, on arrive progressivement au faciès suivant : le RAPIDE.

2.4. FACIES DE TYPE RAPIDE (*Rapids*)

Il est important de noter avant toute autre chose que ce type de faciès peut présenter des physionomies générales tout à fait différentes en fonction de la granulométrie du lit (fig.10).

2.4.1. Genèse

Dans les cours d'eau à forte énergie des régions de montagnes ou de collines, la granulométrie la plus grossière disponible au charriage est souvent du type PG ou Bloc.

Cette granulométrie grossière, alliée à une forte pente sur des cours d'eau de style généralement sinueux ou rectiligne, provoque le développement d'un faciès caractérisé par la

disposition plus ou moins aléatoire des éléments grossiers du substrat et ce, sur une grande portion du linéaire (parfois plusieurs kilomètres).

NB : Dans certains cas et pour des raisons que l'on connaît encore assez mal, ces éléments s'agencent de façon plus ordonnée sous la forme de "bancs" de blocs disposés perpendiculairement à l'écoulement et que les anglo-saxons nomment "transverse ribs". Ils sont souvent à l'origine de l'unité morphologique que nous étudierons après : le faciès de type ESCALIER (WHITTAKER 1987).

Le faciès RAPIDE présente à une large échelle une physionomie assez homogène avec de nombreuses zones de remous caractérisant une forte dissipation d'énergie.

A une échelle plus fine, cette dissipation d'énergie s'effectue à partir des pertes de charge provoquées par les éléments grossiers du substrat formant obstacle à l'écoulement.

Macroturbulences, jets et contre-courants derrière les gros éléments sont les formes dominantes d'écoulement de ce type de faciès.

2.4.2. Caractéristiques physiques

- * Hauteurs faibles à moyennes, les éléments les plus grossiers protubérants à la surface de l'eau provoquent une écume blanche. Localisées derrière les plus gros blocs, certaines zones peuvent avoir une profondeur plus importante que la moyenne du faciès, elles s'apparentent alors à des MICRO-FOSSÉS D'AFFOUILLEMENT D'OBSTACLE.

- * Vitesses fortes sauf dans les contre-courants sus-cités et dans les zones calmes de bordure où l'eau s'étale entre les blocs (FLAQUES DE BORDURE: voir faciès particuliers.)

- * Granulométrie grossière toujours supérieure à PG pour les plus gros éléments mais caractérisée le plus souvent par des blocs. Derrière ces blocs sont régulièrement observées des zones de granulométrie plus fine (Graviers, Sables) dues aux contre-courants.

2.4.3. Tracé en plan, profils en travers et profils en long

Ces unités se rencontrent sur les cours d'eau à forte pente, tressés ou non, dans des tronçons sinueux ou rectillignes.

Le profil en travers est généralement en auge, le profil de la ligne d'eau étant quant à lui très irrégulier, toujours du fait de ces gros éléments qui isolent parfois des cellules d'écoulement dans le sens longitudinal.

Le profil en long est irrégulier aussi mais les ruptures de pente ne sont pas très marquées, tout au moins par rapport aux deux faciès suivants (hauteur de chute en moyenne inférieure à 30 cm).

figure 10. : Rapide

figure 10. : Rapids

2.5. FACIES DE TYPE ESCALIER (*step pool*)

Unité intermédiaire entre le RAPIDE tel que défini ci-dessus et le faciès CASCADE/BAIGNOIRE, fréquent sur les cours d'eau à forte pente rectilignes ou faiblement sinueux. Il est caractérisé par ces fameuses "rides transversales de blocs" disposées perpendiculairement à l'écoulement (fig.11).

2.5.1. Genèse

Ces rides, dont la genèse est encore mal connue, ont pour effet d'occasionner des ruptures du profil en long assez marquées dans la topographie.

On suppose que cette morphologie particulière se constitue à l'occasion de fortes crues sous un écoulement particulièrement torrentiel (*tumbling flow*) (WHITTAKER 1987) ; les bancs de blocs sont donc particulièrement stables sous des conditions normales d'écoulement. Ils peuvent être pris en compte dans les modèles numériques sous forme d'une succession de seuils discrets.

Ces cassures répétées, espacées de un à plusieurs mètres, donnent au faciès une allure en marches d'escalier avec alternance de zones assez planes et de petites chutes (20 à 40 cm de hauteur) au pied desquelles se développent souvent de plus ou moins larges et profondes FOSSES D'AFFOUILLEMENT.

2.5.2. Caractéristiques physiques

- * Hauteurs d'eau relativement faibles surtout sur la crête des rides (hauteur critique), plus fortes dans les petites fosses.

- * Vitesses moyennes à fortes sur les rides, faibles à moyennes sur les secteurs Intermédiaires.

- * Granulométrie caractérisée par les plus gros éléments agencés comme nous l'avons présenté, les autres classes granulométriques étant observables sur le reste du faciès.

NB : Un type particulier d'ESCALIER peut être noté sur certains cours d'eau où la roche mère affleure en dalles.

2.5.3. Tracé en plan, profils en travers et profils en long.

Le tracé en plan est donc typé par ces bandes transversales d'éléments grossiers.

Le profil en travers est relativement symétrique

Le profil en long montre bien cette alternance de zones planes ou surcreusées et de petites chutes.

figure 11. : Escalier/fosse

figure 11. : Step/pool

Lorsque les hauteurs de chute deviennent plus élevées et les FOSSES DE DISSIPATION plus profondes et plus vastes, on passe progressivement au modèle suivant.

2.6. FACIES DE TYPE CASCADE (Cascade)

2.6.1. Genèse

C'est avant tout la granulométrie qui conditionne l'existence de ce faciès. Lorsqu'elle est très grossière (gros blocs, rochers éboulés) l'écoulement subit de fréquentes constriction entre ces éléments et s'en trouve accéléré (jets), ces contraintes se traduisent aussi par la formation de chutes souvent assez hautes (de 40 cm à parfois plus d'un mètre). l'énergie ainsi accumulée se libérant dans les FOSSES DE DISSIPATION présentées en 2.1. (fig.12).

Le faciès CASCADE étant souvent associé à celui de FOSSE DE DISSIPATION, ces deux unités peuvent être fréquemment combinées pour n'en former plus qu'une : le faciès CASCADE/BAIGNOIRE (il en était un peu de même pour le faciès ESCALIER qui est souvent en réalité l'assemblage de trois types d'écoulement différents : RIDE/PETITE FOSSE/PSEUDO-PLAT).

2.6.2. Caractéristiques physiques.

- * Hauteurs d'eau faibles à moyennes sur les chutes ou dans les goulets d'étranglement, moyennes à fortes dans les BAIGNOIRES.
- * Vitesses fortes sur les CASCADES, faibles ou nulles dans les FOSSES.
- * Granulométrie très grossière en moyenne mais le dépôt d'éléments plus fins est possible dans les BAIGNOIRES.

2.6.3. Tracé en plan, profils en travers et profils en long.

Ce faciès se développe généralement dans des secteurs où la vallée s'encaisse entre des falaises ou des talus d'éboulis grossiers, le tracé en plan pouvant être rectiligne, sinueux, voire même méandrilforme. Le profil en travers est très irrégulier sur les CASCADES proprement dites, il est en U dans les FOSSES DE DISSIPATION. Le profil en long se présente sous la forme d'alternances de zones de surcreusement et de zones protubérantes. Les ruptures de pente sont très marquées dans la topographie (presque toujours supérieures à 40 ou 50 cm).

figure 12. : Cascade
figure 12. : Cascade

2.7. FACIES DE TYPE CHUTE (chute)

2.7.1. Genèse

Ce type d'unité peut être observé sur les cours d'eau où la roche mère affleure et où des accidents géologiques ont provoqué des cassures transversales importantes (failles, flexures etc...) (fig.13).

On signale aussi ce faciès dans les régions volcaniques où la roche affleure sous forme d'orgues basaltiques de plusieurs mètres de haut (ex : Versants du plateau de l'Aubrac).

Un autre phénomène peut encore être à l'origine de cette unité morphodynamique, il s'agit de l'érosion régressive remontant depuis l'aval du cours d'eau et se trouvant bloquée par un affleurement rocheux (*knickpoint*) qu'elle affouillera jusqu'à ce que la rivière ait retrouvé un profil d'équilibre (ou que la CHUTE recule par effondrement de la partie en encorbellement qui se développe parfois lorsqu'une couche plus tendre est dégagée sous la CHUTE en roche dure). Un exemple de *knickpoint* peut être actuellement observé en cours d'évolution sur le Fier à l'aval de Thônes (Haute-Savoie).

De même que le précédent, ce faciès est habituellement associé à une FOSSE DE DISSIPATION D'ÉNERGIE, et est alors nommé CHUTE/BAIGNOIRE.

2.7.2. Caractéristiques physiques

- * Les hauteurs sont faibles sur la CHUTE (hauteur critique), très fortes dans la fosse (la profondeur étant, entre autres, fonction de la hauteur de chute).
- * Les vitesses sont fortes sur la crête de la CHUTE, très faibles ou nulles dans la fosse.
- * La granulométrie est très variable depuis la roche mère jusqu'au sable parfois présent dans la fosse, selon la nature géologique des terrains traversés.

2.7.3. Tracé en plan, profils en travers et profils en long

Le tracé en plan ne présente pas de particularité importante.

Le profil en travers est très symétrique sur la CHUTE et en U dans la BAIGNOIRE.

Le profil en long est marqué par une rupture topographique pouvant aller de 1 à plusieurs mètres.

figure 13. : Chute

figure 13. : Chute

2.8. FACIES DE TYPE CHENAL LOTIQUE

Nous avons cru nécessaire de créer cette catégorie de faciès dans la mesure où nous avons fréquemment constaté l'existence d'unités morphologiques aux profondeurs et vitesses relativement fortes, et ce sur un certain nombre de types très différents de cours d'eau. Un rapprochement peut être fait avec le type CHENAL LENTIQUE sus-décrit mais la particularité du faciès présent est d'exhiber des vitesses relativement élevées même en période de basses eaux (fig.14).

2.8.1. Genèse

Ces unités se rencontrent le plus souvent dans des tronçons rectilignes ou faiblement sinueux de cours d'eau à pente moyenne à forte, où l'absence de courants secondaires importants ne permet pas une diversification des trois variables morphodynamiques principales.

En fait ce type de faciès pourrait être assimilé à un PLAT qui aurait une forte hauteur d'eau, et d'ailleurs, un PLAT observé en eaux moyennes ou en crue peut être, sans que ce soit une erreur, noté CHENAL LOTIQUE.

2.8.2. Caractéristiques physiques

- * Hauteurs moyennes à fortes
- * Vitesses moyennes à fortes
- * Granulométrie étendue de CG à PG

2.8.3. Tracé en plan, profils en travers et profils en long

Le tracé en plan est en général rectiligne ou faiblement sinueux.

Le profil en travers est symétrique avec cependant parfois un thalweg de surcreusement en son milieu.

Le profil en long est lissé, la ligne d'eau étant parallèle au fond du lit.

figure 14. : Chenal lotique

figure 14. : Lotic channel

2.9. FACIES DE TYPE EAU MORTE OU LONE (*off channel pond*)

2.9.1. Genèse

Dans les rivières à pente moyenne de modèle méandriforme, la dynamique active d'érosion-dépôt et de migration des formes provoque souvent le recoupement des sinuosités, les coudes abandonnés formant alors des bras plus ou moins reliés au nouveau lit (particulièrement par l'aval) et ayant un fonctionnement morpho-écologique particulier (ils sont généralement à terme complètement isolés du lit principal et se rapprochent de plus en plus d'écosystèmes de type lacustre, jusqu'au terme de leur évolution qui est communément leur colmatage complet par limonage de crue.) (fig.15).

2.9.2. Caractéristiques physiques

- * Hauteurs d'eau moyennes à fortes.
- * Vitesses très faibles ou le plus souvent nulles.
- * Granulométrie de l'ancien lit mais se remblayant peu à peu sous l'apport de fines en période de crue.

2.9.3. Tracé en plan, profils en travers et profils en long

figure 15. : Eau morte ou lône

figure 15. : Off channel pond

2.10. FACIES PARTICULIERS

Nous avons réuni dans ce paragraphe les unités peu fréquentes ou étant difficiles à classer dans un ordre logique.

2.10.1. Les Bordures de lit

Nous avons pris le parti de considérer ces types d'unités comme des faciès à part entière dans la mesure où ils présentent des caractéristiques physiques tout à fait particulières et ont un rôle écologique primordial pour certaines espèces et certains stades de développement d'éléments de la communauté biotique.

On constate de plus que la plupart des types de faciès précédemment analysés exhibent, sur tout ou partie de leur linéaire, sur l'une ou les deux rives, les conditions physiques permettant de définir le faciès BORDURE.

Ces conditions remarquables sont dues aux caractéristiques de l'écoulement le long des rives d'un cours d'eau, celui-ci étant freiné par la macro-rugosité des berges.

Dans les cours d'eau à granulométrie grossière, ces zones de bordures sont souvent typées par un étalement de l'eau entre les plus gros éléments, les hauteurs et les vitesses étant faibles, en tout cas par rapport à la moyenne du faciès principal. La granulométrie est celle du faciès principal mais est souvent caractérisée par un léger dépôt de fines, favorisé par ces faibles vitesses.

Leur largeur est souvent proportionnelle à celle du lit mouillé.

2.10.2. Les flaques de bordure

Très proches du faciès précédent, elles s'en différencient par un plus large étalement hors du lit mineur et ont souvent pour origine des variations artificielles ou naturelles du niveau de l'eau. Elles peuvent être plus ou moins reliées au chenal principal, les hauteurs d'eau étant fonction de la profondeur de la dépression de bordure.

Les vitesses sont habituellement nulles.

2.10.3. Zones d'étalement

Dans certains secteurs à pente faible ou moyenne, il est possible qu'en période d'étiage les vitesses deviennent très faibles provoquant un étalement de l'eau; les hauteurs sont alors elles aussi relativement faibles et l'écoulement se fait lentement entre les éléments du substrat. Lorsque ce faciès

figure 16. : Exemple de distribution spatiale des types de faciès
figure 16. : Example of spacial distribution of the morphodynamic units

est observé en période d'eaux moyennes, il peut, selon la pente du fond et la granulométrie grossière du lit, ressembler soit à un CHENAL LOTIQUE, soit à un RADIER ou même un RAPIDE.

Il s'agit, nous en convenons, d'un faciès assez flou mais que l'on peut rencontrer assez souvent et qu'il est donc important de signaler.

CONCLUSION

Le présent document constitue un tableau élémentaire des différents types de faciès d'écoulement que l'on peut observer sur les cours d'eau à fond caillouteux, la figure 16 présentée ci dessus donnant un exemple sommaire de leur distribution spatiale éventuelle.

Même si cette liste n'est pas complètement exhaustive, nous pensons avoir signalé les unités les plus fréquemment rencontrées et il doit être possible à présent pour toute personne désirant typer, sectoriser ou tout simplement décrire un cours d'eau ou une portion de cours d'eau de le faire sur des bases relativement objectives.

Un des problèmes principaux qui subsistent au terme de cette analyse typologique est celui concernant les faciès transitoires ou hybrides.

Ainsi que nous l'avons signalé dans notre introduction, la seule solution que nous pouvons proposer pour le résoudre en partie, consiste à accoler en cas d'hésitation le nom des deux faciès douteux, en plaçant en tête celui dont l'unité observée se rapproche le plus.

Nous travaillons actuellement à une extension de cette typologie des unités morphodynamiques aux autres types de cours d'eau (notamment ceux à faible énergie et à fonds sableux ou graveleux) ainsi qu'aux rivières de plus grandes dimensions qui présentent souvent sur une même section des types d'écoulement très différenciés.

BIBLIOGRAPHIE

BOVEE K.D. (1982). A guide to stream habitat analysis using the Instream Flow Incremental Methodology. Instream Flow Information Paper N°12. FWS/OBS 82/26. Western Energy and Land Use Team, U.S. Fish and Wildlife Service, Ft. Collins, Colorado. 248p.

FRAGNOUD E. (1987). Préférences d'habitat de la truite fario (*Salmo trutta fario* L. 1758) en rivière. Exemple de quelques cours d'eau du sud-est de la France. Thèse 3^{ème} cycle. Université Cl. Bernard LYON I, CEMAGREF QEPP-LHQ. 398 p.

HABITAT INVENTORY COMMITTEE (1985). Aquatic habitat Inventory : Glossary and methods American Fisheries Society, Western Division. W.T Helm, ed.

MALAVOI J.R. (1988). Protocole de description des composantes morphodynamiques d'un cours d'eau à fond caillouteux . Note technique CEMAGREF QEPP LHQ (Lyon). Non publié.

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 Fillière (Haute-Savoie). *Rev. Géo. Lyon*, (à paraître).

SOUCHON Y., TROCHERIE F., FRAGNOUD E. et al. (1989). Les modèles numériques des microhabitats des poissons: application et nouveaux développements. *Revue des Sciences de l'Eau*, 2, N°4, 817-841.

WHITTAKER J.G. (1987). Sediment transport in Step-pool Streams , in *Sediment transport in Gravel-bed rivers*, C.R. Thorne, J.C. Bathurst, R.D. Hey, eds. John Wiley & Sons Ltd. pp 545-579.

Photo 1 : Séquence chenal lentique,
radier, mouille de concavité

Photo 2 : Séquence radier, chenal lentique

Photo 3 : Séquence radier, chenal lentique

Photo 4 : Faciès banc de convexité,
mouille de concavité

Photo 5 : Faciès fosses d'affouillement
d'obstacle

Photo 6 : Faciès fosses d'affouillement
d'obstacle

Photo 7 : Faciès intermédiaire entre un plat et un radier . Il est codé plat-radier.

Photo 8 : Faciès plat dans un segment endigué

Photo 9 : Faciès plat

Photo 10: Faciès rapide

Photo 11: Faciès rapide

Photo 12: Faciès rapide

Photo 13: Faciès potentiellement rapide observé en très basses eaux

Photo 14: Faciès escalier

Photo 15: Faciès escalier

Photo 16: Faciès cascade

Photo 17: Faciès chute et fosse de dissipation

Photo 18: Faciès chute et fosse de dissipation

Photo 19: Faciès chenal lotique

Photo 20: Faciès chenal lotique

Photo 21: Faciès chenal lotique

Photo 22: Faciès rapide et au premier plan
faciès flaqué de bordure

Photo 23: Séquence radier/mouille observée
en très basses eaux

Photo 24: Faciès hybride que l'on pourrait
coder zone d'étalement