

Proposition d'une méthode de typologie hydro-géomorphologique des cours d'eau et test sur un sous-bassin du Rhône (bassin de l'Yzeron)

Schmitt L.⁽¹⁾, Valette L.⁽¹⁾, Valin K.⁽¹⁾, Piégay H.⁽²⁾ et Hallot E.⁽³⁾

⁽¹⁾ Faculté de Géographie, Histoire, Histoire de l'Art, Tourisme, Université Lumière Lyon2, UMR 5600 CNRS, 5 avenue Pierre Mendès-France 69676 Bron cedex - France (laurent.schmitt@univ-lyon2.fr)

⁽²⁾ UMR 5600 CNRS, 18 rue Chevreul, 69362 Lyon cedex 07 - France

⁽³⁾ Université de Liège, Laboratoire d'Hydrographie et de Géomorphologie Fluviale, Allée du 6 août, 2, Bât. B11 - Sart Tilman B 4000 - Liège – Belgique

Résumé : Cet article propose une méthode de typologie hydro-géomorphologique des cours d'eau potentiellement utilisable en Europe occidentale et la teste sur le bassin versant de l'Yzeron. Globalement, les analyses multivariées à partir des données de terrain valident les résultats du modèle de typologie. Des recommandations sont faites pour le développement de méthodes automatiques de caractérisation-sectorisation des cours d'eau.

Abstract: *Proposal of a method of hydro-geomorphological typology of rivers and test of a sub-basin of the Rhône River (Yzeron basin).* The paper proposes a hydro-geomorphological typology method of watercourses that might potentially be used in western Europe. The method was tested in the Yzeron basin (France). Field data were collected and analysed by multivariate statistics. Statistical results were consistent with the results of the typology model. Some recommendations are also made for the future development of automatic methods of characterization-sectorization of rivers.

Zusammenfassung: *Vorschlag einer hydromorphologischen Gewässerklassifizierung-Methode und Test auf einem Nebenfluß von dem Rhône (Yzerons Flussgebiet).* In diesem Artikel schlagen wir eine hydromorphologischen Gewässerklassifizierung Methode vor die potentiell in Westeuropa genutzt sein kann und testen diese Methode of den Yzeron Flusseinzugsgebiet. Insgesamt, die statistische multivariate Analyse begründet auf gelände Daten erklären rechtsgültig die Resultaten von dem Klassifizierung's Model. Einigen Empfehlungen sind gemacht für die aus Bearbeitung auf künftigen automatische Methoden auf Charakterisierung-Unterteilungen von Fließgewässer.

1 INTRODUCTION

Les typologies hydro-géomorphologiques des eaux courantes sont fréquemment utilisées dans la gestion, notamment pour l'évaluation de la qualité du milieu physique des cours d'eau (Demortier *et al.*, 1996 ; Agences de l'Eau, 1998 ; Union Européenne *et al.*, 2000) et leur restauration (Kondolf, 1995 ; Brookes et Shield, 1996 ; Kondolf *et al.*, 2003). En effet, ces procédures reposent en grande partie sur des classifications d'états de référence par rapport auxquels la qualité du milieu physique des cours d'eau est évaluée et qui guident les opérations de restauration (Kern, 1992 ; Bostelmann *et al.*, 1998 ; Wimmer *et al.*, 2000). Les organismes fluviaux étant hautement diversifiés, les classifications hydro-géomorphologiques reflètent la diversité des fonctionnements physiques des hydrosystèmes, laquelle résulte des caractéristiques physiographiques de leur bassin versant (Brussock *et al.*, 1985 ; Frissel *et al.*, 1986).

Or, les procédures de type évaluation de la qualité du milieu physique et restauration des cours d'eau se multiplient dans le monde (Gurnell *et al.*, 1994) et en Europe (Demortier *et al.*, 1996 ; Muhar, 1996 ; Müller *et al.*, 1996 ; Agences de l'eau, 1998 ; Environmental Agency, 2002 ; Raven *et al.*, 2002), notamment dans ce dernier cas en application de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE) qui impose que toutes les masses d'eau de l'Union Européenne atteignent leur « bon état écologique » d'ici 2015 (Union Européenne *et al.*, 2000). Cette réglementation demande explicitement de développer des méthodes de typologies hydro-géomorphologiques d'états de référence de cours d'eau. Ce champ de recherche revêt donc une importance particulière, d'autant plus que les travaux antérieurs ne proposent pas de méthodes aisément utilisables et transposables (Church, 1992 ; Montgomery et Buffington, 1998 ; Schmitt, 2001 ; Kondolf *et al.*, 2003). L'objet de cet article est de proposer une méthode de typologie hydro-géomorphologique de cours d'eau pouvant potentiellement être utilisée en Europe, et de tester sa validité sur un sous-bassin du Rhône, le bassin de l'Yzeron.

2. PROPOSITION D'UNE METHODE DE TYPOLOGIE

2.1. Fondements de la méthode

L'approche de typologie hydro-géomorphologique mise en œuvre dans le projet GEREHPUR découle de travaux antérieurs, d'ordre méthodologique, portant sur le développement d'une typologie des cours d'eau d'Alsace (Schmitt *et al.*, 2000 ; Schmitt, 2001 ; Schmitt *et al.*, 2004). Cette approche alsacienne, de type inductif et basée sur de nombreuses analyses statistiques multivariées, a conduit à une typologie fonctionnelle aujourd'hui utilisée par les gestionnaires, ainsi qu'à un modèle conceptuel hiérarchique de fonctionnement d'un système fluvial (fig. 1). Ce modèle a été utilisé pour élaborer une méthode de typologie hydro-géomorphologique à portée générale, potentiellement utilisable en Europe occidentale, dont le premier test porte sur le bassin versant de l'Yzeron. L'approche mise en œuvre ici est donc hypothético-déductive puisque nous avons appliqué, et cherché à vérifier, une méthode de typologie définie préalablement.

2.2. Méthode de typologie proposée

Les étapes de la méthode de typologie hydro-géomorphologique que nous proposons sont les suivantes :

- ① étude bibliographique des caractéristiques géologiques et géomorphologiques du bassin versant en portant une attention particulière aux héritages géomorphologiques (Schmitt, 2001). Sur cette base, une régionalisation en unités hydro-géomorphologiques naturelles est développée par expertise. Pour cela, il est préconisé de chercher à faire apparaître des zones contrastées en ce qui concerne l'hydrodynamique (abondance des précipitations, perméabilité, relations nappe-rivière...) et l'abondance et la texture de sédiments fournis par les versants aux cours d'eau (relief, géologie, héritages géomorphologiques...), étant entendu que ces deux types de critères se recoupent dans la plupart des cas (Schmitt, 2001). Le découpage du bassin versant en unités hydro-géomorphologiques est testé à partir de variables de contrôle du bassin, notamment la pente du fond de vallée, le rapport d'encassement (rapport de la largeur du fond de vallée sur la largeur du lit mineur ; Rosgen, 1996) et, dans la mesure du possible, des descripteurs hydrologiques. Il est par exemple possible de tester si les relations crues biennales-surface drainée ou débit spécifique de l'étiage décennal – débit spécifique de la crue décennale discriminent les différentes unités naturelles (Schmitt, 2001) ;
- ② sectorisation des cours d'eau à partir de variables de contrôle du système fluvial (Schumm, 1977) et adaptées des résultats de Cupp (1989a) et de Schmitt (2001) : (i) les changements d'unités hydro-géomorphologiques naturelles dans le bassin versant ; (ii) les variations de la pente longitudinale qui est estimée, soit à partir des profils en long des grandes forces hydrauliques lorsqu'ils existent, soit à partir de profils en long des corridors fluviaux tirés de la BDcarto ou de cartes topographiques ; (iii) les changements de morphologie des fonds de vallée (c'est en général la largeur du fond de vallée qui est retenue) ; (iv) les discontinuités liées aux héritages géomorphologiques des fonds de vallée, par exemple les dépôts fluvio-glaciaires ou les empreintes de la paléo-dynamique quaternaire. En compléments, des variables de réponse facilement accessibles (sur cartes, à partir d'un SIG ou de photographies aériennes) comme le style fluvial et la sinuosité peuvent aussi être prises en compte. Il est clair que les discontinuités mises en évidence par ces différentes variables se recoupent fréquemment ;
- ③ regroupement des différents secteurs obtenus pour élaborer une classification. Cette étape passe par une confrontation raisonnée des différentes sectorisations de cours d'eau et s'appuie sur les connaissances bibliographiques et de terrain du bassin versant. A cette étape, chaque type est également caractérisé par une dénomination se rapportant aux types d'unité naturelle et au fond de vallée ;
- ④ validation et/ou amélioration de la typologie à partir de données morphodynamiques de terrain et d'analyses statistiques multivariées ;
- ⑤ caractérisation morphodynamique des types de cours d'eau à l'aide de l'ensemble des données qualitatives et quantitatives, y compris de terrain. Il est possible de préciser les dénominations

des types de façon à ce que ces dernières permettent d'appréhender le plus possible le fonctionnement morphodynamique des types (Kondolf, 1995).

3. LA ZONE D'ETUDE

Le bassin versant de l'Yzeron, d'une superficie de 150 km², est situé à l'ouest de l'agglomération lyonnaise (fig. 2). La rivière prend sa source à 720 m d'altitude, draine essentiellement les Monts du Lyonnais et le plateau lyonnais, et conflue avec le Rhône à Oullins à une altitude de 164 m, après un parcours de 26 km d'orientation générale Ouest-Est. Dans sa partie terminale, la rivière bifurque vers le Sud-Sud-Est en empruntant une paléo-vallée du Rhône et de la Saône (Mandier, 1988), reçoit son principal affluent, le ruisseau de Charbonnière, puis s'oriente à nouveau vers l'Est avant de rejoindre le Rhône. Jusqu'à la paléo-vallée Rhône-Saône, c'est-à-dire sur un linéaire de 20 km, le substrat est essentiellement cristallin et métamorphique (granit, gneiss) et présente une faible épaisseur de formations superficielles meubles (Chocat, 1997). Plus en aval, les formations superficielles, alluviales, fluvio-glaciaires et glaciaires, s'épaississent (Mandier, 1988 ; Chocat, 1997). Le réseau hydrographique et les vallées sont largement encaissés dans le plateau lyonnais et les formes héritées. Cet encaissement, de l'ordre de 150 m et à commande aval, puisque déterminé par le niveau de base local du Rhône, remonte plus ou moins vers l'amont à hauteur du plateau lyonnais.

Le bassin versant de l'Yzeron présente un contraste d'occupation du sol très varié entre l'amont rural qui présente, dans les Monts du lyonnais, une importante couverture forestière et l'aval, très urbanisé en raison de la proximité de l'agglomération lyonnaise. La partie intermédiaire du bassin a connu au cours des 5 dernières décennies une urbanisation et une périurbanisation très importantes (Chocat, 1997 ; SAGYRC, 2002 ; Cottet, 2005). La présente étude s'inscrit dans deux programmes de recherche, GEREHPUR (GEstion de la Ressource en Eau dans les Hydrosystèmes Péri-URbains ; coordination : M. Lafont) et ECODYN (Dynamique du Carbone et de l'Azote en rivière dans un gradient rural-urbain ; coordination : P. Breil). Ces derniers visent à quantifier les flux de carbone et d'azote dans le bassin, à diagnostiquer l'état écologique de l'hydrosystème, très impacté par de nombreux rejets d'eaux pluviales souvent polluées, et à proposer des approches de restauration. Une classification géomorphologique s'est avérée nécessaire pour ces études afin de guider la localisation des sites de prélèvements biologiques et physico-chimiques et montrer si les processus d'assimilation des polluants sont différents selon les caractéristiques géomorphologiques des milieux aquatiques. Enfin, la classification devrait permettre d'étendre le diagnostic écologique et les procédures de restauration, spécifiques pour chaque type de cours d'eau, à l'ensemble du réseau hydrographique. Par exemple, il devrait être possible de connaître a priori le bénéfice écologique d'une suppression de seuil artificiel en fonction des types hydro-géomorphologiques de cours d'eau.

4 APPLICATION DE LA METHODE AU BASSIN VERSANT DE L'YZERON

4.1 Régionalisation hydro-géomorphologique du bassin versant de l'Yzeron

Après une étude bibliographique approfondie de l'évolution géologique et géomorphologique de l'Ouest lyonnais (Mandier, 1988), le bassin versant de l'Yzeron a été divisé en quatre unités hydro-géomorphologiques, a priori distinctes sur le plan du fonctionnement morphodynamique des cours d'eau (Valette, 2004). Ce découpage repose sur le relief, la lithologie, le type de formations superficielles et les héritages géomorphologiques. Les quatre unités hydro-géomorphologiques sont : i) les Monts du Lyonnais ; ii) le plateau lyonnais métamorphique ; iii) le plateau lyonnais recouvert de cailloutis miocènes et pliocènes ; dans cette unité, une sous-unité iv) « Arène granitique de Charbonnières », à formations superficielles particulièrement meubles, a été distinguée ; v) les formes héritées d'origine fluviale et glaciaire (fig. 3 ; Valette, 2004).

La validité de ce découpage du bassin versant de l'Yzeron a été testée à partir de deux variables morphologiques indépendantes du système fluvial : la pente moyenne du fond de vallée et

le rapport d'encaissement. Notons que les stations hydrométriques sont trop peu nombreuses dans le bassin de l'Yzeron pour pouvoir utiliser des descripteurs hydrologiques.

La figure 4 donne, pour chacun des 46 sites de mesure présentés plus bas (§ 5) et en fonction des unités naturelles mises en évidence, la relation rapport d'encaissement - pente du fond de vallée. Précisons que l'unité « formes héritées d'origine fluviale et glaciaire », qui ne comporte qu'un seul site, a été agglomérée à l'unité « plateau lyonnais recouvert de cailloutis miocènes et pliocènes ». Malgré quelques chevauchements et à l'exception de la sous-unité « Arène granitique de Charbonnières », on observe que les unités hydro-géomorphologiques se distinguent relativement bien :

- les Monts du Lyonnais où les pentes sont élevées (> 5 %) et le rapport d'encaissement faible (< 10) car les fonds de vallée sont souvent en « V » ;
- le plateau lyonnais métamorphique où les pentes sont moyennes (1-5 %) et le rapport d'encaissement relativement élevé (10-30), ce qui est dû au fait que les fonds de vallée sont rarement encaissés dans le plateau métamorphique ;
- le plateau lyonnais recouvert de cailloutis mio-pliocènes où les pentes sont faibles (0,7-2 %) et le rapport d'encaissement relativement faible (7-30), ce qui est lié au fait que les fonds de vallée sont généralement encaissés dans le plateau.

Par ailleurs, il est logique que la sous-unité « Arène granitique de Charbonnières » se discrimine peu sur cette figure et chevauche les deux unités précédentes car elle n'a été individualisée que sur des critères sédimentologiques, à savoir l'épaisseur des formations superficielles à texture fine (arène granitique). La régionalisation hydro-géomorphologique est donc globalement validée, même si des chevauchements partiels entre unités hydro-géomorphologiques peuvent subsister. Il paraît donc fondé d'utiliser les unités naturelles, parmi d'autres variables, pour sectoriser les cours d'eau et spatialiser la morphologie des cours d'eau du bassin de l'Yzeron.

4.2 Sectorisation des cours d'eau et élaboration de la typologie

Les branches du réseau hydrographique de l'Yzeron ont été sectorisées sur la base des quatre variables citées plus haut et facilement accessibles sur cartes, à partir d'un SIG ou de la bibliographie : le type d'unité hydro-géomorphologique, la pente du fond de vallée, la morphologie du fond de vallée et les héritages géomorphologiques. Les deuxième et troisième variables ont été estimées dans un SIG à partir de la BDcarto (Valin, 2004). L'exemple de la sectorisation de la Chaudanne, qui draine les Monts du Lyonnais et le plateau métamorphique, est donné dans la figure 5. Après cette étape de sectorisations, des rapprochements entre les différents secteurs homogènes, assortis d'une interprétation géomorphologique, ont permis d'élaborer une typologie hydro-géomorphologique (Fig. 6). Cette typologie, qui se décline en 8 classes (voir figure 6), a été intégrée dans le SIG ArcGis.

5 VALIDATION STATISTIQUE DE LA TYPOLOGIE

A ce stade, nous avons cherché à valider statistiquement la typologie, élaborée principalement à partir de variables relatives aux fonds de vallée, à l'aide de données morphodynamiques dépendantes collectées sur des sites de mesures.

5.1 Localisation des sites de mesures

Les sites de mesures, au nombre de 46, ont été localisés aléatoirement sur les tronçons des 8 types de cours d'eau en cherchant à garder, autant que possible, le même nombre de sites par type (Valette, 2004 ; Valin, 2004). Seuls des secteurs les moins anthropisés ont été pris en compte. Pour cette raison, seulement un site a pu être localisé sur le type « C » (Cours d'eau des paléo-vallées du Rhône et de la Saône) car celui-ci est très aménagé, en particulier sur l'extrémité aval de l'Yzeron. La localisation des sites est présentée sur la figure 6. Pour que les données soient représentatives, les sites ont une longueur égale à 36 fois la largeur à pleins bords du lit mineur (Kershner *et al.*, 1992 ; Simonson *et al.*, 1994). Ils débutent et se terminent à la crête d'un seuil, d'une marche ou

d'un rapide, afin de prendre en compte les séquences complètes des faciès d'écoulements (Rosgen, 1996).

5.2 Sélection des variables et protocole de mesures

La liste des variables retenues, adaptée à partir de Schmitt (2001), et les modes d'estimation sont donnés dans le tableau 1. Les codes des variables permettent de les identifier dans les figures des analyses statistiques présentées plus bas.

5.3 Analyses statistiques mises en oeuvre

Un tableau de données de 46 sites et 16 variables a été constitué. Les variables informatives ont bien entendu été exclues des analyses statistiques. Le type d'analyse statistique multivariée retenu est l'Analyse en Composantes Principales (ACP) Inter-classes en raison du nombre élevé de variables par rapport au nombre de sites. Le logiciel utilisé est ADE4. L'ACP Inter-classes a été effectuée avec :

- les variables de contrôle pour montrer comment la typologie est structurée par les variables indépendantes ;
- les variables de réponse pour chercher à valider la typologie avec les variables dépendantes de terrain.

5.3.1 Structuration de la typologie par les variables de contrôle

En plus des quatre variables indépendantes prises en compte pour sectoriser et classer les cours d'eau, le jeu de données contient également d'autres variables indépendantes, à savoir la surface drainée, l'altitude et la puissance spécifique, cette dernière étant plus précisément une variable semi-indépendante (Schmitt *et al.*, 2001). Ces variables sont partiellement liées aux précédentes, mais elles ont été individualisées de façon à disposer d'un jeu de données le plus complet possible. Une ACP Interclasses a été réalisée afin de montrer comment la typologie préalablement définie est structurée par l'ensemble des variables indépendantes. Le tableau de données de cette analyse compte ainsi 46 sites et 6 variables quantitatives, la variable « héritages géomorphologiques » n'ayant pas pu être utilisée ici puisqu'il s'agit d'une variable qualitative. Les 6 variables sont : la surface drainée, la largeur du fond de vallée, le rapport d'encaissement, l'altitude, la pente moyenne du fond de vallée et la puissance spécifique (cf. tabl. 1).

L'analyse calcule une inertie inter-classes de 50,8% et une inertie intra-classes de 49,2%. Sur 1000 permutations aléatoires des sites, aucune combinaison ne permet d'obtenir une variance inter-classes supérieure à la variance inter-classes de la classification. La figure 7 montre que la plupart des types, excepté le type A2, s'organisent en grande partie autour d'un gradient défini par la pente et la surface drainée (SupBV), ces deux variables étant inversement corrélées, ce qui est logique car, de l'amont vers l'aval, la surface drainée augmente alors que la pente tend à diminuer. La morphologie du fond de vallée (lv/lm, lval) intervient dans un second temps (axe F2). Le jeu combiné du gradient amont-aval avec les variations de la morphologie du fond de vallée, souligne la structure de la typologie. Notons que la puissance spécifique (Pspé) et l'altitude (Alt) structurent moins la typologie que les variables précédentes du fait que la puissance spécifique intègre à la fois la pente et le débit à pleins bords, qui dépend étroitement de la surface drainée, et aussi par le fait que l'altitude et la pente ne sont pas systématiquement corrélées dans le bassin de l'Yzeron, compte tenu des ruptures de pente liées à l'encaissement plus ou moins important des fonds de vallée dans le plateau lyonnais.

Par ailleurs, malgré quelques chevauchements, les types s'individualisent bien, excepté les types B2 et B3, proches l'un de l'autre. Ceci est lié au fait que ces deux types présentent des caractéristiques de fond de vallée relativement semblables. Ainsi, les variables liées à l'encaissement (largeur du fond de vallée et rapport d'encaissement) montrent de faibles différences car les fonds de vallée du type B2 (non encaissés) sont aussi étroits que ceux du type B3. Par contre, l'importance de l'encaissement est nettement moindre pour B2 (quelques m) que pour B3 (≈ 150 m), mais cette caractéristique n'a pas été directement prise en compte dans le jeu de

données. Il s'avère donc utile d'intégrer la variable « importance de l'encaissement » dans les travaux futurs.

5.3.2 Validation statistiques à partir des variables de réponse et caractérisation des types

Cette étape a visé à valider la typologie basée sur les variables indépendantes à partir de variables morphodynamiques dépendantes. Pour cela, une ACP Interclasses a été effectuée. Le jeu de données comporte 46 sites et les 10 variables quantitatives indiquées dans le tableau 1.

Les types se structurent là aussi autour de deux axes principaux. Le premier (60,8 % de variance expliquée) est essentiellement lié à l'intensité de la dynamique latérale (%B, %BS, Indmob), au rapport largeur/profondeur des lits mineurs (l/p) et au pourcentage de plats (%P). Sur cet axe, ces variables s'opposent au coefficient de variation des sédiments du fond des lits (coefvar) et, dans une moindre mesure, aux pourcentages de mouilles (%M). Le deuxième axe (21,4 % de variance expliquée) traduit principalement la granulométrie des sédiments du fond des lits, qui apparaît comme une variable très liée au type B1.

L'inertie inter-classes est de 27,8%, alors que l'inertie intra-classes s'élève à 72,2%. La variabilité inter-classes est donc ici plus faible que pour l'analyse précédente. Il est en effet logique que la variabilité inter-classes soit plus élevée avec les variables indépendantes car celles-ci ont précisément été utilisées pour effectuer la typologie. Ces résultats restent cependant satisfaisants, d'autant plus que, sur 1000 permutations aléatoires des sites, une seule combinaison donne une variance inter-classes plus élevée que celle de la classification obtenue.

Plus précisément, la figure 8 discrimine les types comme suit : i) B1, lié à une granulométrie particulièrement grossière, apparaît très isolé ; ii) à l'opposé, B5, lié à une granulométrie fine sableuse, est également bien individualisée ; iii) A1, pour lequel le tri sédimentaire est faible (coefficient de variation de la taille des sédiments du fond du lit élevé), tout comme l'intensité de la dynamique latérale, le rapport largeur/profondeur et le pourcentage de plats, se discrimine aussi nettement ; iv) à l'inverse, B4 et C sont proches et présentent un bon tri sédimentaire, ainsi qu'une intensité de la dynamique latérale, un rapport largeur/profondeur et un pourcentage de plats élevés. Rappelons que C n'est représenté que par un seul site car une grande partie du linéaire de ce type est aménagée. Notons que notre expertise de terrain confirme que C et B4 présentent des caractéristiques morphodynamiques semblables, le poids des héritages géomorphologiques vis-à-vis de la morphodynamique actuelle apparaissant faible dans le cas du type C. Dans la suite de l'étude, il pourrait être envisagé d'agglomérer ces deux types ; v) enfin, les types A2, B2 et B3 se chevauchent partiellement au centre du plan factoriel, respectivement dans un ordre de dynamique latérale croissante. La proximité des types B2 et B3 a été évoquée plus haut. Il est donc logique qu'elle se retrouve ici. Il nous paraît cependant justifié de distinguer par expertise ces deux types en raison de la différence de l'importance de l'encaissement dans le plateau lyonnais, ce qui est important sur un plan écologique. En effet, les fonds de vallée de B3 sont très encaissés et les versants latéraux sont raides et proches des lits mineurs, ce qui tend à limiter la zone hyporhéique, un compartiment essentiel du fonctionnement écologique des cours d'eau (Lafont et al., 1992), contrairement au type B2 pour lesquels la zone hyporhéique est susceptible d'être plus développée car l'encaissement est faible. Le type A2 présente quant à lui des caractéristiques morphodynamiques de terrain assez proches des celles de B2 et B3, bien que la morphologie du fond de vallée soit relativement dissemblable (énergie et largeur du fond de vallée plus élevées ; cf. fig. 7). Les fonds de vallée de A2 sont vraisemblablement moins encaissés que ceux de B2 en raison de la nature très cohésive de la géologie du replat des Monts du Lyonnais (granit et gneiss) par rapport à celle du plateau lyonnais métomorphique (gneiss oillé aux cristaux facilement altérables). Compte tenu de la discrimination très nette de A2 à partir des variables de contrôle (fig. 7), nous continuerons d'individualiser ce type par expertise.

Enfin, les données de terrain permettent également de caractériser le fonctionnement hydro-géomorphologique des types : tableau de caractérisation quantitative des types (tabl. 2), figure montrant la variabilité de quelques caractères pour les différents types (fig. 9) et fiches descriptives des types (fig. 10). Ces dernières identifient également des sites de référence pour chaque type. La

typologie définitive assortie de la caractérisation quantitative des types est bien entendu intégrée dans un SIG et mise à la disposition des gestionnaires.

6. DISCUSSION, PERSPECTIVES

Les analyses statistiques multivariées ont permis de mettre en évidence la structure de la typologie tout en validant cette dernière à partir des variables dépendantes de terrain. Pour cela, nous avons également eu recours à l'expertise pour compléter l'interprétation statistique. Au terme de l'interprétation, le regroupement des types B4 et C est envisagé.

Notre approche peut être comparée à celle de Cupp (1989a) car le modèle proposé concerne essentiellement le fond de vallée. Toutefois, elle s'en distingue dans la mesure où nous préconisons un découpage préalable du bassin versant en unités hydro-géomorphologiques homogènes, nous ne recommandons pas l'emploi de la pente du bas des versants latéraux, cette variable n'intervenant que lorsque le lit mineur est en contact direct avec un versant, nous intégrons fortement les héritages géomorphologiques et nous préconisons de valider statistiquement la typologie, dans un premier temps, avec des variables hydro-géomorphologiques de réponse, et non avec des données biologiques comme le fait Cupp (1989b). Dans la méthode que nous proposons, les liens avec la biologie peuvent être étudiés dans un deuxième temps. Cette démarche en deux étapes permet alors une meilleure connaissance de la structure des habitats physiques d'une part, et des modalités de la distribution des biocénoses d'autre part (Schmitt *et al.*, sous presse).

Bernot et al (1996) et Bernot et Creuzé des Chatelliers (1998) ont développé des travaux similaires aux nôtres en se basant en grande partie sur la puissance spécifique. L'intérêt de ce type d'approche réside dans le fait que la puissance spécifique est une variable de première importance en géomorphologie fluviale (Schmitt *et al.*, 2001). Cependant, le calcul rapide de la puissance spécifique sur des linéaires importants de cours d'eau pose encore des problèmes méthodologiques. C'est la raison pour laquelle nous proposons, en l'absence, pour l'instant, de méthodes rapides d'estimation de la puissance spécifique, de ne pas intégrer cette variable pour sectoriser et classer les cours d'eau, mais plutôt de l'intégrer pour caractériser les types. Notons que des recherches novatrices sont menées actuellement pour spatialiser automatiquement la puissance spécifique (Petit et al., sous presse ; Hallot *et al.*, ce numéro). Les résultats attendus devraient permettre d'intégrer cette variable dans le modèle ultérieurement.

Nos résultats montrent que les approches visant à sectoriser et à classer les cours d'eau avec des variables morphologiques accessibles aisément, et celles fondées sur le traitement statistique de données de terrain, sont complémentaires. En effet, la première permet de sectoriser et de classer rapidement des linéaires hydrographiques importants, la seconde permet de valider et d'améliorer la typologie obtenue et de caractériser les types avec une campagne de mesures relativement légère. Nos résultats rejoignent en cela ceux de Andriamahefa et Malavoi (1993) et Bernot *et al.* (1996), tout en ayant une portée plus générale.

Dans l'avenir, pour répondre au besoin induit par la DCE de classer des états de référence de cours d'eau sur des critères hydro-géomorphologiques, tous les cours d'eau de taille notable de l'Union Européenne devront être classés sur des bases hydro-géomorphologiques. Ainsi, la méthode typologique proposée dans le présent article est susceptible d'être utilisée directement sur des bassins de taille moyenne, de moins de 1 000 à 2 000 km² environ. Ceci permettra d'ailleurs de tester la robustesse de la méthode. Par contre, pour des bassins plus grands, il s'avère important de développer des méthodes automatiques ou semi-automatiques, fondées sur des modèles numériques de terrain, de caractérisation-sectorisation-classification des fonds de vallée. Des recherches dans ce sens sont menées actuellement par les Agences de l'Eau françaises (Bernot et Malavoi, 1999 ; études menées par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie), en Angleterre (Dawson *et al.*, 2002) et par l'Université de Liège (Hallot *et al.*, ce numéro). Dans ce dernier cas, les travaux visent également, comme nous l'avons souligné plus haut, à intégrer la puissance spécifique (Petit et al., sous presse ; Hallot *et al.*, ce numéro).

La démarche présentée dans le présent article, qui devra, comme nous l'avons montré dans le test sur l'Yzeron, aussi prendre en compte la variable « importance de l'encaissement du fond de

vallée », pourrait constituer un fondement méthodologique pour ces approches automatiques ou semi-automatiques en cours de développement. Il apparaît donc que l'approche de Eric Hallot (Hallot *et al.*, ce numéro) et la nôtre convergent pleinement. La confrontation, sur de vastes surfaces et dans des milieux variés, des résultats des méthodes automatiques, qui se fondent essentiellement sur des variables liées à la taille du bassin et à la morphologie du fond de vallée (des variables de contrôle), avec les données morphodynamiques de terrain (variables de réponse), sera riche d'enseignements sur les liens fonctionnels entre les fonds de vallée et la morphodynamique des chenaux. Les résultats obtenus en Alsace, et, dans une moindre mesure, dans le bassin de l'Yzeron, montrent que ces liens fonctionnels entre les fonds de vallée et la morphodynamique des chenaux peuvent être liés aux héritages géomorphologiques (dépôts fluvio-glaciaires, paléo-dynamique fluviale... ; Bravard et Gilvear, 1993). Il paraît donc primordial de prendre en compte ces caractéristiques géomorphologiques dans les approches de typologie de cours d'eau, ce qui a rarement été le cas dans le passé (Schmitt, 2001).

Enfin, il est clair que le transport solide, dépendant des caractéristiques physiographiques des bassins versants, mais pouvant aussi varier dans le temps en fonction des fluctuations climatiques et des changements d'occupation du sol, exerce également un contrôle important sur la morphodynamique actuelle des lits fluviaux (AQUASCOP, 1997 ; Montgomery et Buffington, 1998 ; Liebault et Piégay, 2001 ; Bravard, 2002a). Ainsi, les variations temporelles du débit solide, mais aussi, dans une moindre mesure, du débit liquide, devraient être intégrées dans les schémas typologiques, tous les types (et tous les bassins versants) ne présentant pas la même sensibilité aux variations temporelles des flux solides et liquides. Cette dimension temporelle avait été intégrée partiellement dans l'étude alsacienne (Schmitt, 2001), mais ne l'a pas été sur le bassin de l'Yzeron en raison de la faible sensibilité de ce bassin à ces variations temporelles, excepté sur certains cours d'eau de tête de bassin (Schmitt, 2002). Les schémas typologiques devraient donc intégrer la dimension temporelle, notamment par l'étude diachronique de cartes anciennes (Schmitt, 2001), les types d'ajustements des lits (Brookes, 1987 ; Downs, 1995 ; Montgomery et Buffington, 1998) et la prise en compte des métamorphoses fluviales (Bravard, 1989, 2002a), ces dernières impliquant le déséquilibre dynamique des états de référence de certains cours d'eau (2002b).

Remerciements

Les programmes de recherches GEREHPUR et ECODYN ont été soutenus financièrement respectivement par le Conseil Régional Rhône-Alpes (Programmes thématiques) et le CNRS (Programme National « ECCO » Ecosphère Continentale : Processus et Modélisation). La BD Carto a été mise à notre disposition par le SAGYRC (Syndicat d'Aménagement et de Gestion de l'Yzeron, du Ratier et du Charbonnières) dans le cadre du programme GEREHPUR. La préparation de certaines couches d'information SIG a bénéficié de l'appui technique de GIPEA (Alexandre Carbonel). Les auteurs remercient M. François PETIT pour avoir corrigé une première version du manuscrit. La traduction du résumé en allemand a été possible grâce à l'aide de Mme Estelle Heidinger.

Références

- Agences de l'Eau. 1998. SEQ physique : système d'évaluation de la qualité physique des cours d'eau, rapport de présentation. Rapport Inter-Agences, Ministère de l'Environnement, 31 p.
- ANDRIAMAHEFA H. et MALAVOI J.R., 1993, Eléments pour une typologie morphologique des cours d'eau du bassin de la Loire. Rapport d'étape, Ministère de l'environnement, CEMAGREF, Groupement de Lyon, Division Biologie des Ecosystèmes Aquatiques, Laboratoire d'Hydroécologie Quantitative, Epteau, 48 p. + ann.
- AQUASCOP 1997. Système d'évaluation de la qualité du milieu physique: 1. Typologie physique simplifiée des cours d'eau français. Rapport, Agences de l'eau, 55 p.
- BERNOT V., CALLAND V., BRAVARD J.P. & FOUSSADIER R., 1996. La sectorisation longitudinale du Vidourle (Gard-Hérault) : une méthode appliquée à la gestion environnementale de l'espace fluvial méditerranéen. *Revue de Géographie de Lyon*, 4, pp. 323-339.

- BERNOT V. & CREUZE DES CHATELLIERS D., 1998. Etude de l'adaptation de la méthode de sectorisation mise au point sur le Vidourle à d'autres cours d'eau du bassin Rhône-Méditerranée-Corse. Rapport final à l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, A.R.A.L.E.P.B.P., 63 p. + ann.
- BERNOT V. & MALAVOI J.R., 1999. Méthode de sectorisation préalable à l'étude des cours d'eau. Guide d'utilisation pour l'application au Bassin Rhône-Méditerranée-Corse. ARALEPBP, Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, 29 p. + ann.
- BOSTELMANN R., BRAUKMANN U., BRIEM E., FLEISCHHACKER T., HUMBORG G., NADOLNY I., SCHEURLIN K. & WEIBEL U., 1998. An approach to classification of natural streams and floodplains in South-west Germany. In: WAAL L.C., LARGE A.R.G. & WADE P.M. (Eds), *Rehabilitation of rivers : principles and implementation*. John Wiley & Sons, pp. 31-55.
- BRAVARD J.P., 1989. La métamorphose des rivières des Alpes françaises à la fin du Moyen-Âge et à l'époque moderne. *Bull. de la Société Géogr. de Liège*, 25, pp. 145-157.
- BRAVARD J.P., 2002a. Les réponses des systèmes fluviaux à une réduction des flux d'eau et de sédiments sous l'effet du reboisement en montagne. *La Houille Blanche*, 3, pp. 68-71.
- BRAVARD J.P., 2002b. Quel rôle attribuer aux héritages géomorphologiques dans la détermination du « bon état écologique » ? Séminaire « Les enjeux de la directive cadre européenne sur l'eau ». Synthèse des exposés et débats. Paris, 29-30 avril 2002. CNRS, Cemagref Editions, pp. 39-41.
- BRAVARD J.P. & GILVEAR D.J., 1993. Structure hydro-géomorphologique des hydrosystèmes. In: AMOROS C. & PETTS G.E. (Eds), *Hydrosystèmes fluviaux*, Masson, Collection d'écologie 24, pp. 83-103.
- BROOKES A., 1987. The distribution and management of channelized streams in Denmark. *Regulated Rivers: Research & Management*, 1, pp. 3-16.
- BROOKES A. & SHIELDS F.D. Jr (Eds), 1996. *River channel restoration. Guiding principles for sustainable projects*. John Wiley & Sons, 433 p.
- BRUSSOCK P.P., BROWN A.V. & DIXON J.C., 1985. Channel form and stream ecosystem models. *Water Resources Bulletin*, 21, 5, pp. 859-866.
- CHOCAT B., 1997. Le rôle possible de l'urbanisation dans l'aggravation du risque d'inondation : l'exemple de l'Yzeron (Lyon). *Revue de Géographie de Lyon*, 72, 4, pp. 273-280.
- CHURCH M., 1992. Channel morphology and typology. In: CALOW P. & PETTS G.E. (Eds), *The rivers handbook. Hydrological and ecological principles. Volume 1*. Blackwell Scientific Publications, pp. 126-143.
- COTTET M., 2005. Evolution de l'occupation du sol dans le bassin versant de l'Yzeron au cours du XX^{ème} siècle. Premiers éléments pour un diagnostic hydrologique. Université Jean Moulin Lyon III, Mémoire de Master 1 de Géographie, 105 p.
- CUPP C.E., 1989a. Identifying spatial variability of stream characteristics through classification. MS Thesis, University of Washington, Seattle, 92 p.
- CUPP C.E., 1989b. Stream corridor classification for forested lands of Washington. Washington Forest Protection Association, Olympia, Washington, USA, 24 p. + ann.
- DAWSON F.H., HORNBY D.D. AND HILTON J., 2002. A method for the automated extraction of environmental variables to help the classification of rivers in Britain. *Aquatic Conservation : Marine and Freshwater Ecosystems* 12, pp. 391-403.
- DEMORTIER G., GOETGHEBEUR P. & AQUASCOP, 1996. Outil d'évaluation de la qualité du milieu physique des cours d'eau - Synthèse. Agence de l'Eau Rhin-Meuse, AQUASCOP, 78 p.
- DOWNS P.W., 1995. River channel classification for channel management purposes. In: GURNELL A. & PETTS G. (Eds), *Changing river channels*. John Wiley & Sons Ltd, pp. 347-365.
- Environment Agency, 2002. *RHS applications manual version 1.1*, 71 p.
- 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, 2, pp. 199-214.
- GURNELL A.M., ANGOLD P. & GREGORY K.J., 1994. Classification of river corridors : issues to be addressed in developing an operational methodology. *Aquatic conservation : Marine and freshwater ecosystems*, 4, pp. 219-231.
- HALLOT E., SCHMITT L., MOLS J. & PETIT F., ce numéro. Elaboration d'une typologie hydro-géomorphologique de cours d'eau dans l'Euregio Meuse-Rhin. Mosella.
- KERN K., 1992. Restoration of lowland rivers : the german experience. In: CARLING P.A. & PETTS G.E. (Eds), *Lowland floodplain rivers. Geomorphological perspectives*. John Wiley & Sons, pp. 279-297.
- KERSHNER J.L., SNIDER W.M., TURNER D.M. & MOYLE P.B., 1992. Distribution and sequencing mesohabitats : are there differences at the reach scale ? *Rivers*, 3, 3, pp. 179-190.
- KONDOLF G.M., 1995. Cases studies and reviews. Geomorphological stream channel classification in aquatic habitat restoration : uses and limitations. *Aquatic Conservation : Marine and Freshwater Ecosystems*, 5, pp. 127-141.
- KONDOLF G.M., MONTGOMERY D.R., PIÉGAY H. & SCHMITT L., 2003. Geomorphologic classification of rivers and streams. In: KONDOLF G.M. & PIEGAY H. (Eds), *Tools in fluvial geomorphology*. John Wiley & Sons, pp. 169-202.
- LAFONT M., DURBEC A. & ILLE C., 1992. Oligochaete worms as biological descriptors of the interaction between surface and groundwaters: a first synthesis. *Regulated Rivers*, 7, pp. 65-73.
- LIEBAULT F. & PIÉGAY H., 2001. Assessment of channel changes due to long-term bedload supply decrease, Roubion River, France. *Geomorphology*, 36, pp. 167-186.

- MANDIER P., 1988. Le relief de la moyenne vallée du Rhône au Tertiaire et au Quaternaire – Essai de synthèse paléogéographique, Thèse d'Etat, Université Lyon 2, BRGM, 3 vol.
- MONTGOMERY D.R. & BUFFINGTON J.M., 1998. Channel processes, classification, and response. In. NAIMAN R.J. & BILBY R.E. (Eds), River ecology and management. Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion. Springer, pp. 13-42.
- MUHAR S., 1996. Habitat improvement of austrian rivers with regard to different scales. Regulated rivers : research & management, 12, pp. 471-482.
- MÜLLER A., GLACER D., SOMMERHÄUSER M. AND TIMM T., 1996. Leitbilder für die Gewässerstrukturgütekartierung in Nordrhein-Westfalen. Kasseler Wasserbau-Mitteilungen Heft 6: 95-105.
- PETIT F., HALLOT E., HOUBRECHTS G. & MOLS J., sous presse. Évaluation des puissances spécifiques de rivières de Moyenne et de Haute Belgique, Bull. Société Géographique de Liège.
- RAVEN P.J., HOLMES N.T.H., CHARRIER, P., DAWSON F.H., NAURA M. AND BOON P.J., 2002. Towards a harmonized approach for hydromorphological assessment of rivers in Europe : a qualitative comparison of three survey methods. Aquatic Conservation : Marine and Freshwater Ecosystems, 12, pp. 405-424.
- ROSGEN D.L., 1996. Applied river morphology. Wildland Hydrology, Colorado, 390 p.
- SAGYRC, 2001. Contrat de Rivière Yzeron VIF 2001-2007.
- SCHMITT L., 2001. Typologie hydro-géomorphologique fonctionnelle de cours d'eau. Recherche méthodologique appliquée aux systèmes fluviaux d'Alsace. Doctorat, Université Louis Pasteur, Faculté de Géographie et d'Aménagement, Centre d'Etudes et de Recherches Eco-Géographiques Fre 2399 CNRS, 217 p. + ann.
- SCHMITT L., 2002. Définition des zones inondables et diagnostic géomorphologique du bassin versant du ruisseau des Prés Mouchettes. Université Lumière Lyon II, UMR 5600 CNRS, IRG, LRGE, Communauté Urbaine de Lyon, Direction de l'Eau, 31 p. + ann.
- SCHMITT L., MAIRE G., HUMBERT J., 2000. Typologie hydro-géomorphologique des cours d'eau : vers un modèle adapté à la gestion du milieu physique des rivières du versant sud-occidental du fossé rhénan. Revue de Géographie de Lyon, 75, 4, pp. 347-363.
- SCHMITT L., MAIRE G. & HUMBERT J., 2001. La puissance fluviale : définition, intérêt et limites pour une typologie hydro-géomorphologique de rivières. Zeitschrift für Geomorphologie, 45, 2, pp. 201-224.
- SCHMITT L., MAIRE G. & NOBELIS P., 2004. Typologie hydro-géomorphologique fonctionnelle de rivières. L'expérience d'Alsace (France). Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, Mitteilungen 184, pp. 155-172.
- SCHMITT L., TREMOLIERES M., NOBELIS P. et MAIRE G., sous presse. Complémentarité entre typologies hydro-géomorphologique et biologique de rivières dans l'hydrosystème fluvial ello-rhénan français. In. TREMOLIERES M. & SCHNITZLER A. (eds), Fonctionnement, biodiversité et restauration des écosystèmes alluviaux. TEC & DOC.
- SCHUMM S.A., 1977. The fluvial system. John Wiley & Sons, 338 p.
- 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, pp. 607-615.
- Union européenne, 2000. Directive 2000. Conseil du Parlement européen et du Conseil établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. Projet commun approuvé par le comité de conciliation prévu à l'article 251, paragraphe 4, du traité CE.
- VALETTE Laurent, 2004. Typologie hydro-géomorphologique naturelle des cours d'eau du bassin versant de l'Yzeron. Mémoire de Maîtrise, Université Lyon 2, 106 p.
- VALIN Karine, 2004. Intégration d'une typologie hydro-géomorphologique dans l'étude écologique d'un bassin versant périurbain. Premiers résultats et perspectives. Mémoire de DEA, Université Lyon 2, CEMAGREF-Lyon, 52 p. + ann.
- WIMMER R., CHOVANEC A., MOOG O., FINK M.H. AND GRUBER D., 2000. Abiotic stream classification as a basis for a surveillance monitoring network in Austria in accordance with the EU Water Framework Directive. Acta hydrochim. Hydrobiol., 28, 4, pp. 177-184.

Figure 1 : Modèle conceptuel hiérarchique des liens fonctionnels entre les composantes du système fluvial et identification (en gras) des variables prises en compte dans la méthode de classification.

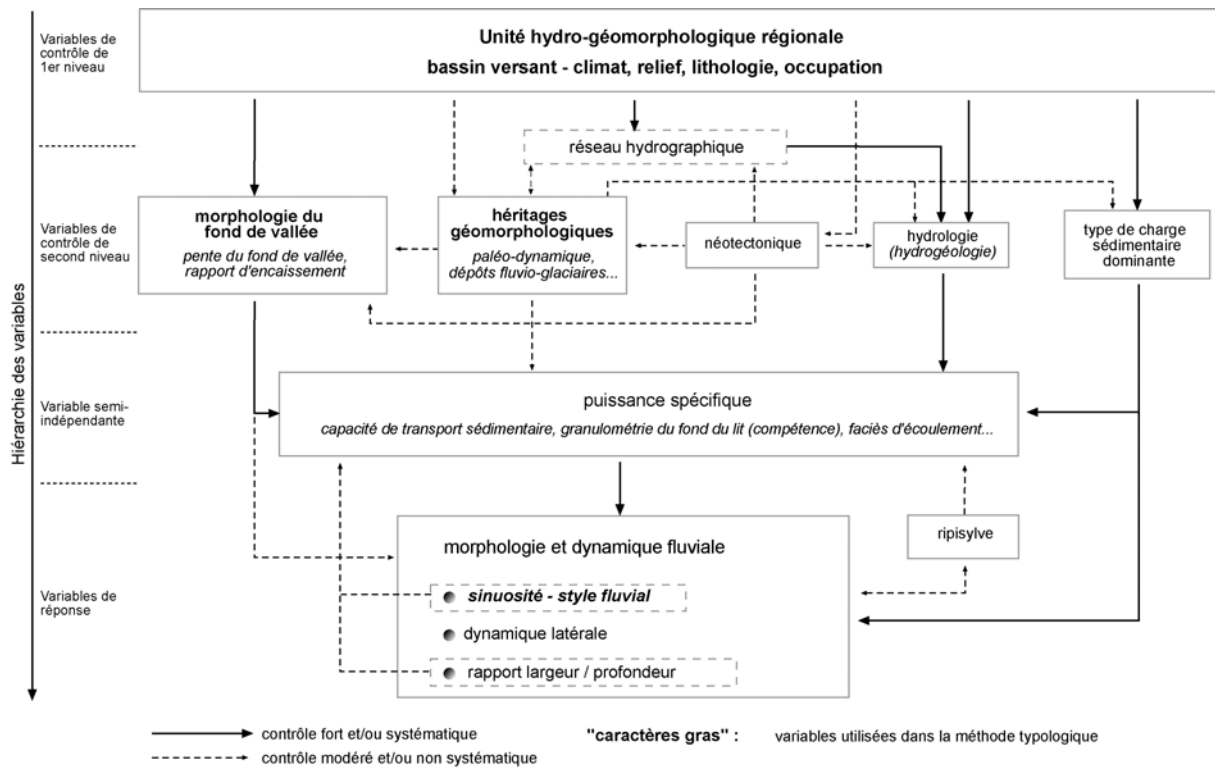


Figure 4 : Régionalisation de la morphologie des fonds de vallée mise en évidence d'après la relation rapport d'encaissement-pente du fond de vallée.

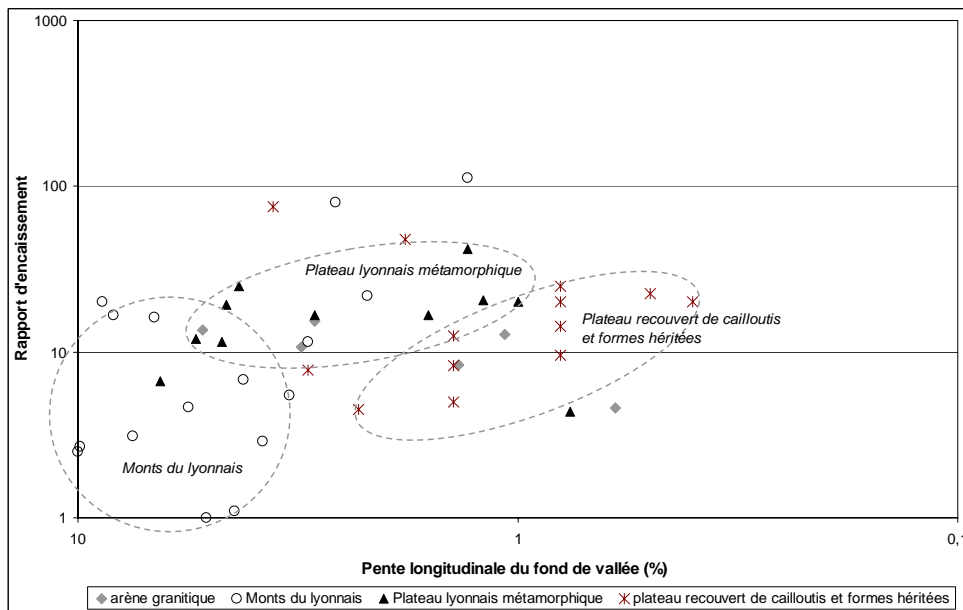


Figure 5 : Exemple de la sectorisation d'un affluent de l'Yzeron (la Chaudanne).

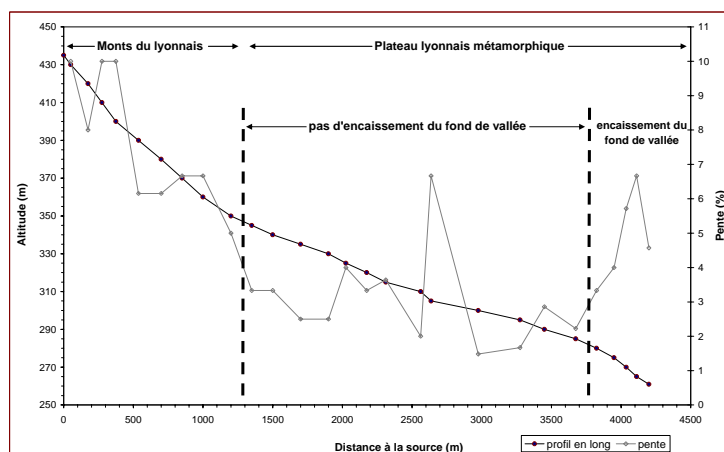


Figure 6 :

Dénominations et codes des types de cours d'eau

<i>Dénominations et codes des types de cours d'eau</i>	Code
Torrents des Monts du lyonnais	A1
Cours d'eau à énergie modérée des replats des Monts du lyonnais	A2
Cours d'eau à haute énergie de l'extrémité amont des secteurs à fond de vallée encaissé	B1
Cours d'eau à énergie modérée et à fond de vallée peu encaissé du plateau lyonnais	B2
Cours d'eau à énergie modérée et à fond de vallée encaissé et étroit du plateau lyonnais	B3
Cours d'eau à énergie modérée et à fond de vallée encaissé et large du plateau lyonnais	B4
Cours d'eau sur arène granitique de la région de Charbonnières	B5
Cours d'eau des paléo-vallées du Rhône et de la Saône	C

Figure 7 : Résultats de l'ACP inter-classes des variables de contrôle.

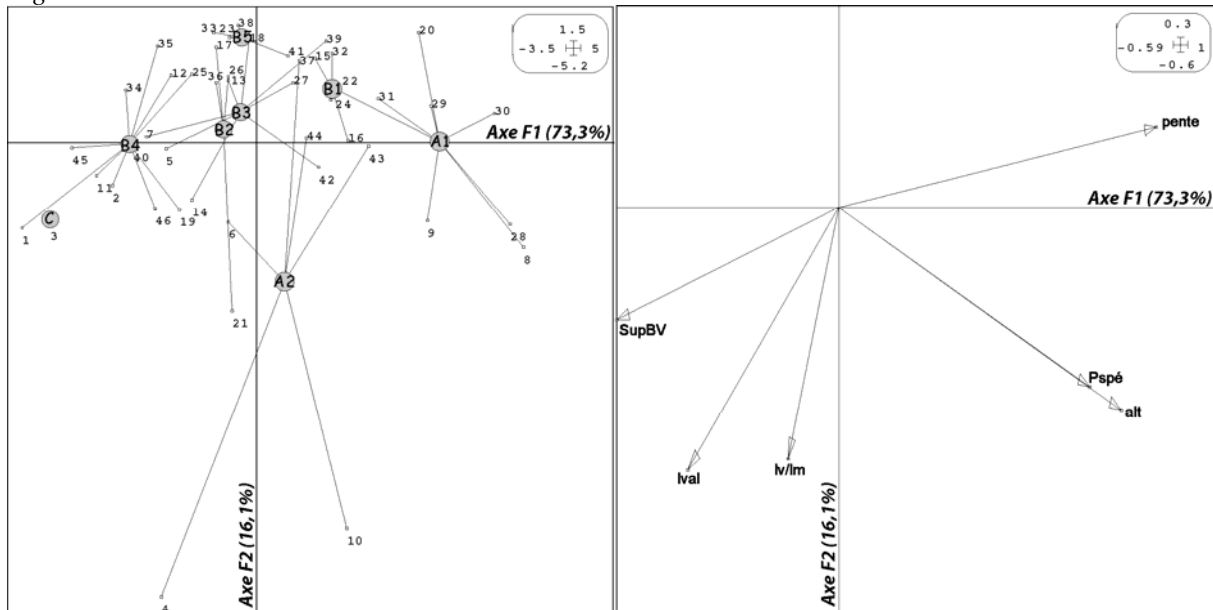


Figure 8 : Résultats de l'ACP inter-classes des variables de réponse.

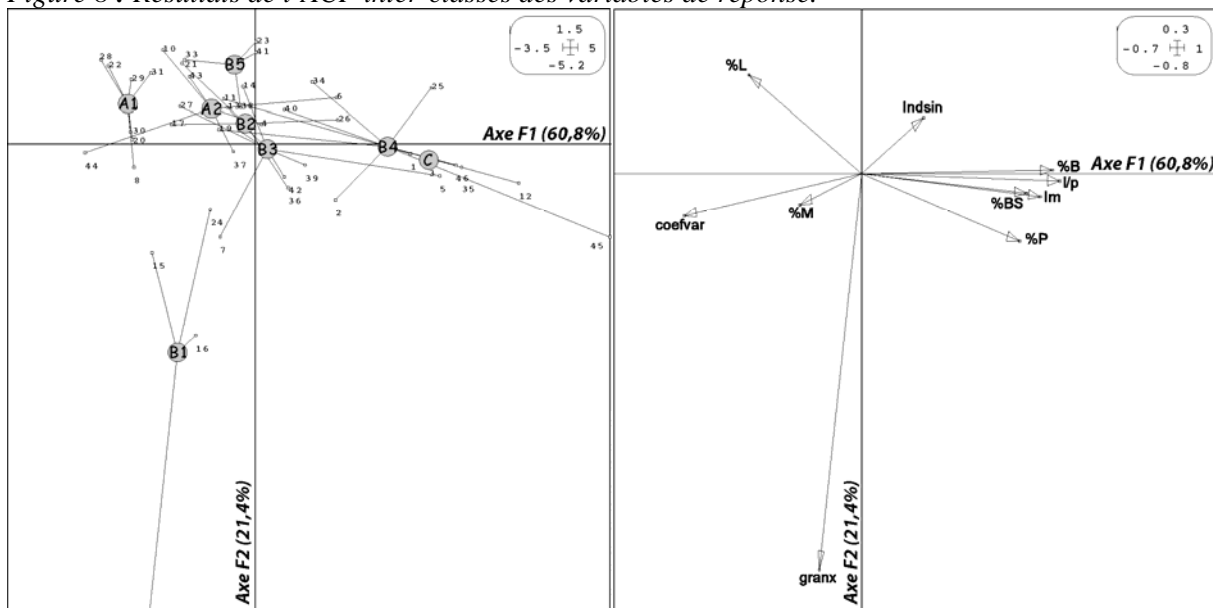


Figure 9 : Variabilité de quelques caractères géomorphologiques des types de cours d'eau.

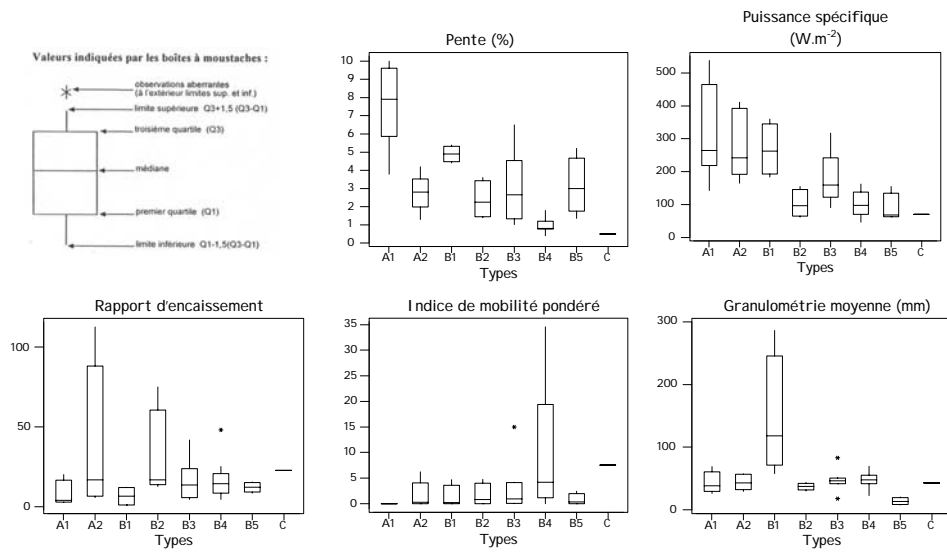


Figure 10 : Exemple de Fiche descriptive d'un type de cours d'eau.



Tableau 1 : Sélection des variables collectées sur les sites et modes d'estimation,

VARIABLE	MODE D'ESTIMATION
VARIABLES INFORMATIVES	
Coordonnées de l'extrémité amont du site	Terrain (GPS) ou SIG
Longueur du site	Terrain, topofil
VARIABLES INDÉPENDANTES (DE CONTRÔLE)	
Superficie du bassin versant (SupBV)	SIG
Altitude du site (alt)	SIG
Largeur du fond de vallée (lval)	Terrain, topofil
Rapport d'encassement (lv/lm)	Largeur du fond de vallée/largeur du lit mineur ; Terrain, topofil
Pente moyenne du lit mineur (pente)	SIG
Puissance spécifique (Pspé)	Terrain, SIG
VARIABLES DÉPENDANTES (DE RÉPONSE)	
Rapport largeur/profondeur du lit mineur (l/p)	Terrain, topométrie simplifiée
Indice de sinuosité (Indsin)	Terrain, topofil
Granulométrie moyenne des sédiments du fond du lit (granx)	Terrain, Méthode de Wolman (1954) sur les seuils naturels et les rapides, Méthode de Chin (1998) sur les torrents à séquences marches-cuvettes
Tri des sédiments du fond du lit (coefvar)	Coefficient de variation de la largeur (axe-B) des sédiments du fond du lit
Pourcentage de faciès découlement lotiques (%L)	Terrain, topofil, Faciès pris en compte : seuils naturels, rapides, marches, bedrock
Pourcentage de mouilles (%M)	Terrain, topofil
Pourcentage de plats (%P)	Terrain, topofil
Pourcentage de berges sapées (%BS)	Terrain, topofil
Pourcentage de bancs (%B)	Terrain, topofil
Indice de mobilité pondéré I_m Cette variable et les deux précédentes traduisent la dynamique latérale des chenaux,	Terrain, topofil, $I_m = \frac{S + 3B}{4L} \cdot 100$; S=longueur des berges sapées, B=longueur des bancs, L=longueur du site,

Tableau 2 : Caractéristiques hydro-géomorphologiques quantitative des types de cours d'eau, [Moyenne (coefficient de variation)],

	lval (m)	lv/lm	Indsin	pente (%)	l/p	Pspé (W.m ⁻²)	granX (mm)	coefvar	%M	%P	%L	%BS	%B	I_m
A1	16 (1,2)	8,6 (0,9)	1,11 (0,1)	7,58 (0,3)	3,1 (0,2)	313 (0,5)	42 (0,4)	1,05 (0,2)	43 (0,3)	1 (1,9)	56 (0,2)	3 (1,2)	2 (2,8)	1,9 (1,5)
A2	110 (1,4)	39,7 (1,1)	1,20 (0,1)	2,77 (0,4)	5,1 (0,7)	275 (0,4)	44 (0,3)	0,97 (0,4)	42 (0,2)	6 (0,9)	52 (0,2)	11 (1,1)	9 (0,9)	9,2 (0,9)
B1	17 (0,9)	6,4 (1,1)	1,09 (0,1)	4,90 (0,1)	3,8 (0,3)	267 (0,3)	145 (0,7)	1,10 (0,5)	43 (0,3)	14 (1,3)	43 (0,2)	12 (1,5)	7 (1,4)	7,8 (1,5)
B2	63 (0,9)	30,2 (1)	1,06 (0)	2,38 (0,4)	4,3 (0,5)	103 (0,4)	37 (0,1)	1,00 (0,2)	37 (0,4)	15 (1,0)	48 (0,3)	29 (0,9)	14 (0,7)	17,8 (0,2)
B3	46 (0,7)	16,2 (0,8)	1,10 (0,1)	3,05 (0,6)	4,7 (0,3)	181 (0,4)	47 (0,4)	0,85 (0,2)	41 (0,2)	18 (0,8)	40 (0,3)	24 (1,4)	13 (0,5)	17,0 (0,6)
B4+C	103 (0,5)	17,5 (0,7)	1,18 (0,2)	0,91 (0,4)	7,0 (0,4)	100 (0,4)	48 (0,2)	0,70 (0,2)	38 (0,3)	20 (0,9)	42 (0,3)	37 (1)	22 (0,8)	26,1 (0,6)
B5	19 (0,4)	12,0 (0,3)	1,16 (0,1)	3,14 (0,5)	3,8 (0,4)	89 (0,5)	14 (0,4)	0,94 (0,2)	38 (0,4)	15 (0,5)	46 (0,3)	14 (1,1)	12 (0,9)	12,7 (0,7)

Figure 2

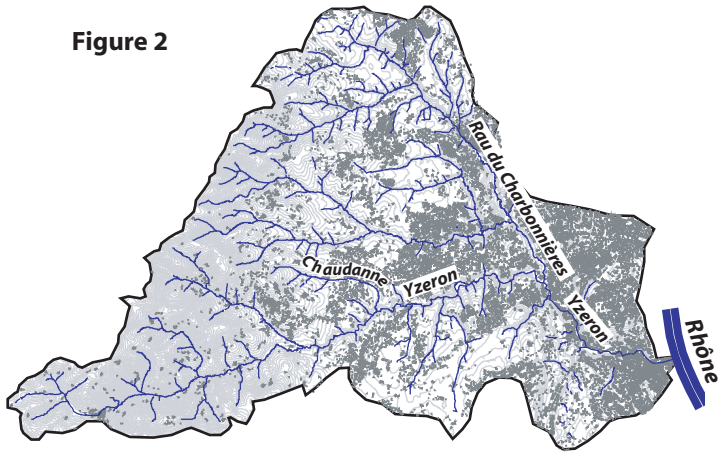


Figure 3

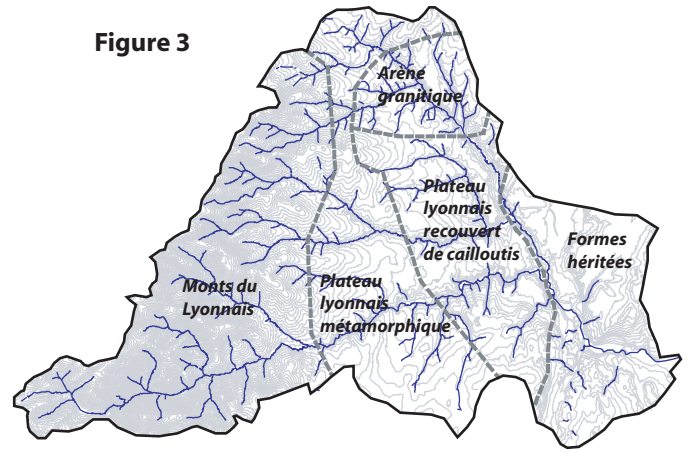
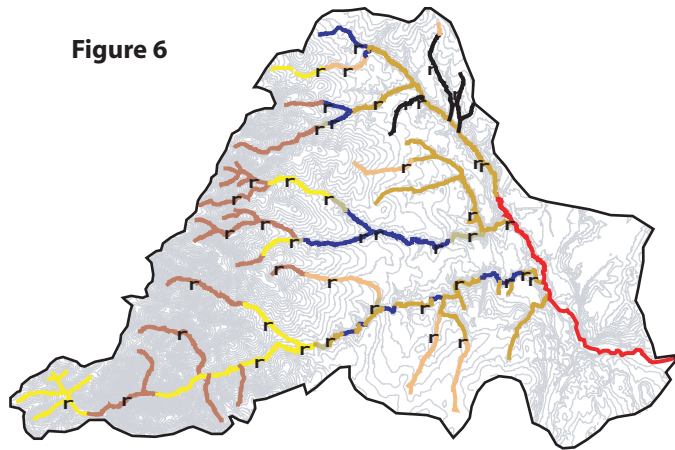


Figure 6



Types

- A1
- A2
- B1
- B2
- B3
- B4
- B5
- C

r Sites de mesure



Copyright du réseau hydrographique, des courbes de niveau et de l'occupation du sol : BD Carthage - SAGYRC

Conception-réalisation : L. Schmitt UMR 5600 CNRS - Université Lyon2