



Appel à candidature
pour une thèse à l'UMR 5600 « Environnement, Ville, Société » (2023-2026)

Description, segmentation et classification multi-scalaires et continues des tronçons fluviaux au sein des réseaux hydrographiques

Résumé

Le projet de recherche MapdO vise à construire un **outil en ligne pour les gestionnaires de rivières** sur les **données et modèles de caractérisation physique des cours d'eau**. Cet outil se veut simple d'utilisation, didactique, adaptable et participatif et pourrait constituer à terme un outil national de visualisation des caractéristiques physiques des bassins aidant les gestionnaires dans l'évaluation de l'état des cours d'eau et dans la planification de leurs actions (restauration écologique par exemple). L'application en ligne MapdO a ainsi vocation à fournir des outils de visualisation mais aussi une **aide à l'interprétation des données**, notamment en ce qui concerne la caractérisation longitudinale des cours d'eau et la classification de tronçons à l'échelle des bassins. La thèse portera sur ces outils d'aide à l'interprétation, qui requièrent un important travail d'exploration, de tests, et de retours critiques. Le travail de thèse portera ainsi sur les méthodes de **description et de segmentation multi-échelles de séries** et de **classification à contrainte(s) spatiale(s)**.

Le ou la candidat(e):

- 1) réalisera une étude préliminaire consistant à explorer les **méthodes possibles de description, de segmentation et de classification des tronçons fluviaux**
- 2) les appliquera à **des données hydrogéomorphologiques** issues du champ d'application initial du projet, à savoir (en premier lieu) le bassin du Rhône mais aussi plus largement l'ensemble des réseaux hydrographiques de France métropolitaine.
- 3) **confrontera ces sorties aux attentes des gestionnaires de cours d'eau** et participera ainsi au **choix des méthodes d'interprétation** qui seront intégrées au cahier des charges de l'application.
- 4) participera au **développement de certains de ces outils** et à leur implémentation dans l'application.

La thèse débutera à l'automne 2023. Pour candidater, merci d'envoyer à Lise Vaudor

(lise.vaudor@ens-lyon.fr) d'ici le 19 juin 2023 un dossier comprenant:

- un CV
- une lettre de motivation
- un relevé des notes de Master 1 et du premier semestre de Master 2 (ou équivalent)
- facultatif: une lettre de recommandation d'un.e enseignant.e ou d'un.e encadrant.e

Les entretiens pour les candidats sélectionnés auront lieu le 28 juin par visioconférence.

La thèse débutera à l'automne 2023 avec un financement de 3 ans.

Profil recherché

Master 2 obtenu (ou en cours) en géographie/aménagement, en géomatique ou géoinformatique, en gestion de l'environnement ou en sciences de l'eau, sinon en statistiques, ou mathématiques appliquées; Diplôme d'ingénieur obtenu (ou en cours) en sciences de l'environnement (du type Agro, ENGEES, INSA Lyon...).

Compétences et intérêts spécifiques:

- Intérêt pour l'hydrogéomorphologie et la gestion des cours d'eau.
- Appétence pour les méthodes de statistiques et d'analyse du signal.
- Compétences en analyse de données (R ou Python)
- Notions de géomatique

Compétences générales :

- Bonne maîtrise de l'anglais
- Bonne capacité de synthèse et compétences didactiques
- Qualités rédactionnelles et de communication orale
- Autonomie et proactivité

Lieu de travail

La thèse sera menée au sein de l'UMR 5600 « Environnement, Ville, Société » (EVS), site Descartes de l'ENS de Lyon (15 parvis Descartes). Le/la doctorant.e pourra s'appuyer sur les ressources humaines et techniques de la plateforme « Ingénierie spatiale, Images et Géomatique » (ISIG) de l'UMR 5600 EVS.

Contexte institutionnel

Le doctorat s'inscrit dans le projet MapdO, issu d'une convention entre l'[Office Français de la Biodiversité](#) et le CNRS. Le doctorat est financé pour moitié par l'OFB via ce contrat, et pour moitié via l'Ecole Universitaire de Recherche [H₂O'Lyon](#).

Le doctorant sera co-encadré par

- Hervé Piégay, DR CNRS, UMR5600-[EVS](#)
- Stéphane Dray, DR CNRS, UMR5558-[LBBE](#)
- Lise Vaudor, UMR5600-[EVS](#)

Comité de thèse:

- Joe Wheaton, Prof. Utah state University
- Nicolas Lamouroux, DR INRAE, EcoFlows
- Nelly Pustelnik, CR CNRS, Laboratoire de Physique - CNRS UMR 5672
- Nathalie Thommeret, MCF, Laboratoire Géomatique et Foncier, CNAM

L'évaluation de l'**état écologique des cours d'eau** passe par une **caractérisation physique et notamment géomorphologique des réseaux afin de déterminer des tronçons fonctionnels ayant des caractéristiques propres**. Parmi les **descripteurs géomorphologiques** les plus pertinents dans le cadre d'une telle détermination on peut par exemple citer la largeur de bande active, la largeur de fond de vallée, la pente, ou encore la sinuosité (Wiederkehr, 2012). Ces descripteurs sont de plus en plus accessibles sur des emprises larges du fait de l'évolution des bases de données disponibles et des avancées géomatiques (Roux et al., 2015, Rousson et Dunesme, 2020).

Cependant, la **détermination des tronçons fonctionnels et la compréhension de leur dynamique** (dans le cadre de projets de restauration écologique notamment) restent difficiles (Morandi *et al.*, 2014). La limite entre deux tronçons géomorphologiquement homogènes peut être parfois brutale mais aussi souvent transitoire ; elle n'est pas non plus figée dans le temps. En effet, les caractéristiques géomorphologiques des cours d'eau résultent de mécanismes complexes, à la fois naturels et anthropiques, **intercorrélés, bruités**, et sujets à des **effets d'échelle**. De même, l'inférence d'une qualité écologique en terme d'**habitat (méso-habitats ou habitats fonctionnels) pour les organismes** à partir de descripteurs physiques (caractéristiques morphologiques ou hydrauliques par exemple) n'est pas exempte de questionnements (Kemp et al., 1999, Lamouroux et al., 2018).

L'établissement de **typologies** fait partie des outils de compréhension, de synthèse et de l'évaluation les plus classiquement appliqués dans l'étude des caractéristiques physiques des cours d'eau (Wiederkehr, 2012; Wheaton et al., 2015; Belletti et al., 2017). Elles permettent notamment d'**identifier certains tronçons particulièrement vulnérables ou remarquables** comme les rivières en tresses qui font office de référence en termes de bon état écologique pour les rivières alpines. Cependant, ces typologies sont multiples, hétérogènes et parfois difficilement accessibles et réutilisables, puisqu'elles sont généralement dépendantes de la façon dont les **unités fonctionnelles** sont définies (échelle, réseaux de référence), de la **nature des métriques** intégrées à l'analyse, des **méthodes** implémentées, de l'**emprise géographique des données**, de l'attention apportée à la **reproductibilité** du résultat de recherche ou encore du format choisi pour la **publication** de la typologie.

Le projet MapdO vise à construire un **outil en ligne à l'intention des opérateurs des cours d'eau** autour des **données et modèles en hydromorphologie**. Cet outil doit être **simple d'utilisation et didactique**: Il consiste notamment à **standardiser et rendre accessible sur l'ensemble de la France métropolitaine les métriques les plus pertinentes pour la caractérisation hydrogéomorphologique des cours d'eau et la détermination de secteurs fonctionnels**. La caractérisation de la **qualité écologique de ces tronçons**, et notamment leur utilisation pour la définition de méso-habitats, passe par l'exploration des distributions de ces variables à différentes échelles et selon différents référentiels (tronçon, cours d'eau, région). La description, l'étude et la compréhension de ces caractéristiques notamment à travers des **outils statistiques visant à les expliquer, les synthétiser et les régionaliser** sont des préalables indispensables à l'utilisation et l'interprétation des données à **des fins opérationnelles mais aussi de recherche** (Hare *et al.*, 2023). A terme, l'application comprendra de plus des **données historiques permettant d'évaluer l'évolution de formes fluviales sur quelques dizaines d'années** (Dunesme *et al.*, 2023). La caractérisation et l'évaluation des **changements hydro-géomorphologiques des cours d'eau dans le temps** est ainsi un enjeu méthodologique supplémentaire complexe mais essentiel pour les opérateurs ouvrant la voie à du monitoring au long cours et au partage de données graphiques via notre outil de géovisualisation en ligne.

L'application en ligne MapdO (dont un prototype est consultable [ici](#)) est ainsi destinée à fournir des outils de visualisation mais également **d'aide à l'interprétation des données**. Les tronçons peuvent

en effet y être décrits en se plaçant dans le contexte général du cours d'eau (**caractérisation longitudinale**). Dans ce cas, on s'intéresse plutôt aux **méthodes de segmentation et de description multi-échelle de séries (A)**. On peut aussi vouloir décrire un tronçon en le remplaçant dans un contexte plus large (par exemple régional, en le comparant à l'ensemble des tronçons d'un bassin versant). Dans ce cas, on s'intéresse plutôt aux **méthodes de classification multi-variées appliquées à un réseau (B)**.

A) Description multi-échelle des séries spatiales 1D (ou séries longitudinales)

La segmentation et la description multi-échelle de séries ont principalement été formalisées pour les **séries temporelles** même si certaines formalisations existent pour les séries spatiales (e.g. Parker *et al.*, 2012), et ce notamment pour la caractérisation des **ruptures de pente** (Gailleton *et al.*, 2019). Ces problématiques recouvrent des méthodes très nombreuses et diverses en termes de

- **principes** (uni ou multivarié, reposant sur un modèle probabiliste, statistique, ou des algorithmes d'intelligence artificielle, multi-échelle ou non, semi-dirigé ou non, etc.),
- **facilité d'application** (fonctions et packages pré-existants ou non, qualité de la documentation, temps de calcul nécessaire, etc.)
- **résultats** (descripteur quantitatif ou catégoriel en sortie, si catégoriel nombre de classes en sortie, sur ou sous-segmentation éventuelles, interprétabilité des classes)

Parmi les méthodes envisageables pour l'étude et la description des séries spatiales hydrogéomorphologiques, on peut citer par exemple les algorithmes pour la **détection de ruptures** (e.g. Leviandier *et al.*, 2012, Killick *et Eckley*, 2014), les **modèles stochastiques** (type ARIMA), les **décompositions en ondelettes** pour l'analyse multi-résolution et l'application de filtres. On peut ainsi s'intéresser à des différences en termes de valeur centrale ou de variabilité. On peut considérer une ou plusieurs ruptures dans la série, on peut également envisager la différence entre deux tronçons comme une rupture ou au contraire comme une transition. L'étude de ces zones de contact au fil du temps est potentiellement un enjeu dans le cadre du monitoring car elles sont véritablement sentinelles des ajustements en cours.

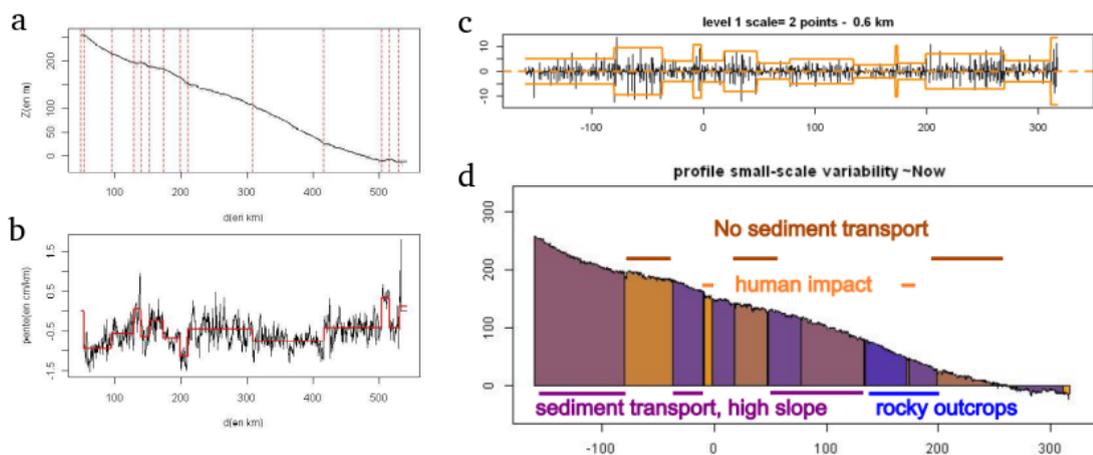


Fig. 1: Un exemple d'analyse du signal. Ici on s'intéresse au profil en long du Rhône (1a), notamment à travers la détection de ruptures de pente (1b) et de ruptures dans les variations de profondeur à petite échelle (1c), extraites via une transformée d'ondelettes. On interprète les ruptures ainsi identifiées (1d) comme étant liées notamment à la présence de barrages -pour les ruptures de pente- et comme démontrant l'existence de tronçons différents en termes de faciès d'écoulement (alternances seuils-mouilles) -pour les segments de variabilité à petite échelle distincts-. On peut ainsi combiner les deux segmentations pour tenter d'interpréter les caractéristiques du profil en long du Rhône comme reflétant une zonation dans le processus de transport de sédiments.

B) méthodes de classification multi-variées appliquées à un réseau

La description des **tronçons fonctionnels et de leurs changements, ainsi que la recherche des facteurs** (naturels ou humains) **qui régissent leurs propriétés, ou qui expliquent les changements** passe par une analyse de ces caractéristiques et de leurs interrelations (e.g. Hohensinner et al., 2021) au sein même des tronçons, mais également entre les tronçons et les propriétés amont des bassins versants qui les drainent : corrélations entre descripteurs sur les tronçons les plus naturels, contraintes externes pour les tronçons les plus anthropisés, autocorrélation spatiale et temporelle, etc. L'interprétation de ces tronçons fonctionnels, notamment à des fins opérationnelles, aboutit très généralement à des démarches de modélisation liant les conditions locales (variables d'ajustement) et amont (variables de contrôle). Pour autant, la nature intrinsèquement spatiale des données relatives aux cours d'eau est très souvent négligée au profit de méthodes de classifications ou de modélisation plus simples bien qu'il soit désormais possible d'**introduire des contraintes spatiales aux méthodes d'analyse multivariées** (Dray et Jombart, 2011, Guénard et Legendre, 2022). De plus, la classification des tronçons à une échelle régionale nécessite la prise en compte non seulement de l'**autocorrélation spatiale** mais aussi **de la structure en réseaux** de ces systèmes (Thoms, 2018).

Le doctorant devra

- réaliser une **étude bibliographique** visant à explorer les méthodes envisageables pour A) la description des séries et B) la classification des tronçons dans le réseau.
- **explorer les avantages et inconvénients des méthodes** (en termes de principes, applicabilité, résultats) sur A) un certain nombre de **séries hydrogéomorphologiques d'exemple**, choisies dans le cadre du projet MapdO B) les données relatives au bassin du Rhône
- **confronter les segmentations et typologies ainsi obtenues à la littérature et aux connaissances expertes** et éprouver ainsi leur apport à une meilleure compréhension des hydrosystèmes.
- **confronter les caractéristiques des méthodes aux attendus du public-cible de l'application interactive MapdO** et ainsi participer à la sélection de méthodes d'interprétation adéquates pour l'élaboration d'un cahier des charges.
- participer au développement de codes et fonctions et éventuellement d'un **package R visant à intégrer la ou les méthodes retenues à l'application** et assurer pour partie la **documentation** du package et de ses fonctions.

Bibliographie

- Belletti, B., Rinaldi, M., Bussetini, M., Comiti, F., Gurnell, A., Mao, L., Nardi, L., & Vezza, P. (2017). Characterising physical habitats and fluvial hydromorphology: A new system for the survey and classification of river geomorphic units. *Geomorphology*, 283, 143-157.
- Dray, S., & Jombart, T. (2011). Revisiting Guerry's data: Introducing spatial constraints in multivariate analysis. *The Annals of Applied Statistics*, 5, 2278-2299.
- Dunesme, S., Piégay, H., & Mustière, S. (2022). Automatic vectorization of fluvial corridor features on historical maps to assess riverscape changes. *Cartography and Geographic Information Science*, 49(6), 512-527.
- Gaillaton, B., Mudd, S., Clubb, F., Peifer, D., & Hurst, M. (2019). A segmentation approach for the reproducible extraction and quantification of knickpoints from river long profiles. *Earth Surface Dynamics*, 7(1), 211-230.
- Guénard, G., & Legendre, P. (2022). Hierarchical Clustering with Contiguity Constraint in R. *Journal of Statistical Software*, 103(1), 1-26.

Hare, D., Benz, S., Kurylyk, B., Johnson, Z., Terry, N., & Helton, A. (2023). Paired Air and Stream Temperature Analysis (PASTA) to Evaluate Groundwater Influence on Streams. *Water Resources Research*, 59(4), e2022WR033912.

Hohensinner, S., Egger, G., Muhar, S., Vaudor, L., & Piégay, H. (2021). What remains today of pre-industrial Alpine rivers? Census of historical and current channel patterns in the Alps. *River Research and Applications*, 37(2), 128-149.

Kemp, J., Harper, D., & Crosa, G. (1999). Use of 'functional habitats' to link ecology with morphology and hydrology in river rehabilitation. *Aquatic conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 159-178.

Killick, R., & Eckley, I. (2014). changepoint: An R Package for Change-point Analysis. *Journal of Statistical Software*, 58(3), 1–19.

Lamouroux, N., Augeard, B., Baran, P., Capra, H., Le Coarer, Y., Girard, V., Gouraud, V., Navarro, L., Prost, O., Sagnes, P., Sauquet, E., & Tissot, L. (2018). Debits écologiques a place des modeles d'habitat hydraulique dans une démarche intégrée. *Hydroécol. Appl.*, 20, 1-27.

Leviandier, T., Alber, Le Ber, F., & Piégay, H. (2012). Comparison of statistical algorithms for detecting homogeneous river reaches along a longitudinal continuum. *Geomorphology*, 138(1), 130-144.

Morandi, B., Piégay, H., Lamouroux, N., & Vaudor, L. (2014). How is success or failure in river restoration projects evaluated? Feedback from French restoration projects. *Journal of Environmental Management*, 137, 178-188.

Roux, C., Alber, A., Bertrand, M., Vaudor, L., & Piégay, H. (2015). "FluvialCorridor": A new ArcGIS toolbox package for multiscale riverscape exploration. *Geomorphology*, 242, 29-37.

Thoms, J. (2018). Characterization of River Networks : A GIS Approach and Its Applications. *Journal of the American Water Resources Association*, 899-913.

Wheaton, J., Fryirs, K., Brierley, G., Bangen, S., Bouwes, N., & O'Brien, G. (2015). Geomorphic mapping and taxonomy of fluvial landforms. *Geomorphology*, 248, 273-295.

Wiederkehr, E. (2012). *Apport de la géomatique pour une caractérisation physique multi-échelle des réseaux hydrographiques. Elaboration d'indicateurs appliqués au bassin du Rhône..* (Doctoral dissertation).