

# Application of a Gaussian Mixture Model on a LiDAR Topo-bathymetric survey for the identification of morphological units of a channel river

Utilisation des courbes de densité d'altitudes adimensionnalisées pour la caractérisation morphologique d'une rivière alluviale à chenaux multiples : le cas de la Loire (France)

Andréault A., Rodrigues S., Gaudichet C.

UMR CNRS 7324 CITERES & Ecole Polytechnique de l'Université de Tours (Polytech Tours), [andreault@univ-tours.fr](mailto:andreault@univ-tours.fr), 33 – 35 allée F. de Lesseps, 37200 Tours.

## RÉSUMÉ

Les classifications morphologiques des rivières sont souvent mal adaptées à la réalité du terrain. Une voie d'amélioration concerne l'apparition de nouvelles technologies à l'instar du LiDAR topo-bathymétrique (LTB). Cet outil offre la particularité de capter une grande quantité de données (+ de 10 pts.m<sup>-2</sup>) de précision centimétrique. Un levé réalisé sur la Loire entre Nevers et Nantes a permis de tester, sur des secteurs morphologiquement contrastés, l'apport du LTB relatif à la définition de différentes signatures morphologiques (*sensu* Garcia-Lugo et al., 2015). L'hypothèse de travail étant qu'une morphologie fluviale d'un tronçon à un instant donné présente une signature morphologique particulière qualifiable par la distribution statistique des altitudes et des pentes. Dans ce travail, les courbes de densité des altitudes adimensionnalisées et des pentes ont été produites et simplifiées à l'aide d'un modèle à mixture de gaussiennes (*Gaussian Mixture Model*). Les résultats attestent l'existence de signatures topo-bathymétriques particulières, qui, lorsqu'elles sont simplifiées par le GMM, permettent l'identification et la hiérarchisation des unités morphologiques composant la bande active. Ces résultats s'avèrent prometteurs pour la compréhension des processus hydrosédimentaires et morphodynamiques des grands cours d'eau et de leur restauration.

## ABSTRACT

Morphological classifications of rivers are often poorly adapted to the field complexity. One way of improving them is based on new technologies such as topo-bathymetric LiDAR (LTB). This tool has the particularity of capturing a large quantity of data (more than 10 pts.m<sup>-2</sup>) with a centimetric accuracy. A survey, carried out on the Loire River between Nevers and Nantes allowed to test the contribution of the LTB to the definition of different morphological signature in morphologically contrasted sectors (Garcia-Lugo et al., 2015). The working hypothesis is that the morphology of a river reach at a given time presents a particular morphological signature that can be qualified by the elevations and slopes distributions simplified using a Gaussian Mixture Model. The results show the existence of particular topo-bathymetric signatures, which, when simplified by the GMM, allow the identification of morphological units composing the active width. These results are promising for the understanding of the hydrosedimentary and morphodynamic processes of large rivers as well as for their restoration.

## MOTS CLES

Morphodynamique fluviale, Gaussian Mixture Model, courbes de densité, altitude adimensionnée, Rivière à chenaux multiple.

## 1. INTRODUCTION

Les méthodologies actuelles de classification morphologiques des rivières ne font pas consensus dans la communauté scientifique (Biedenharn et al., 2008). Les technologies de topographie actuelles permettent d'obtenir une couverture spatiale quasi intégrale des cours d'eau et de leur vallée. Le LiDAR topo-bathymétrique (LTB) permet des acquisitions simultanées, sur de grandes étendues, de bonne résolution et de qualité, quasiment inatteignable par d'autres méthodes. Cette emprise permet d'envisager une approche quantifiée globale de la morphologie d'un cours d'eau. L'organisation spatiale des unités morphologiques d'une rivière peut être approchée par la signature morphologique indexée sur une courbe de densité (Garcia-Lugo et al., 2015). La description visuelle du signal statistique étant subjective il est proposé de simplifier ce dernier à l'aide d'une méthode de *clustering* en vue d'identifier les grandes unités morphologiques et leur degré de connexion sur les cours moyen et aval de la Loire.

## 2. MATERIELS ET METHODES

### 2.1 Traitement des données brutes et dérivés du LiDAR Topo-Bathymétrique

#### 2.1.1 Préparation des modèles numériques et de leur signature statistique

Les analyses ont été réalisées sur plusieurs sites d'études localisés le long de la Loire moyenne et aval. Ces sites représentent un panel de morphologies différentes du système ligérien. Les résultats qui suivent présentent uniquement 2 sites à l'aspect distinct : 1) Marzy (058), 2) Béhuard (049). Marzy, présente une configuration à chenaux multiples séparés par des îles végétalisées, Béhuard présente une morphologie avec un chenal unique divagant entre des barres sédimentaires associées à la présence d'épis de navigation.

Les MNT de ces secteurs sont établis à l'aide des points LiDAR correspondant au sol et au fond du chenal (topographie et bathymétrie). Les points présents dans les mailles sont moyennés pour obtenir l'altitude du pixel. Les îles et les berges des secteurs sont exclues afin de ne conserver que la bande active du cours d'eau dans les analyses. Les secteurs profonds, interpolés, sont exclus des analyses. Ces zones représentent moins de 19% de la surface total du tronçon d'études.

Dans un second temps, les MNT sont débasculés afin de retirer le biais de pente responsable de la surestimation et la sous-estimation des altitudes des unités morphologiques situées à l'amont et à l'aval du tronçon. Pour retirer la pente, un raster est créé à partir des altitudes de la ligne d'eau au moment de l'acquisition aux limites du tronçon (basses eaux). Enfin, le raster correcteur est soustrait au MNT. Les MNT débasculés sont ensuite normalisés selon l'amplitude maximale du jeu de données pour pouvoir comparer les différents sites d'études entre eux. Enfin, des courbes de densité des altitudes débasculées et normalisées sont créées à l'aide du logiciel R et du package « ggplot2 ».

#### 2.1.2 Déconvolution des signatures morphologiques par Gaussian Mixture Model

Un modèle de mixtures gaussiennes (GMM) est appliqué pour simplifier et extraire les unités morphologiques de chaque site. Le principe de ce modèle repose sur une méthode de *clustering* des jeux de données en plusieurs sous-groupes à l'aide d'un algorithme d'espérance-maximisation d'une fonction de vraisemblance (Scrucca et al., 2016). Les Gaussiennes obtenues après l'application du modèle sont représentées sur les MNT à hauteur de 67,5 % de leur intégrale totale autour de la moyenne de la courbe.

## 3. RESULTATS

### 3.1 Déconvolution d'un site à chenaux multiples (Marzy [058]) et d'un site à barre alterne forcées (Béhuard [049])

Le site de Marzy (058) localisé à l'amont du tronçon de la Loire moyenne présente une morphologie apparente à chenaux multiples qui se traduit dans sa courbe de densité par une organisation en trois parties (figure 1). L'analyse de la courbe de densité à partir du GMM indique une composition de 4 Gaussiennes. La première Gaussienne (figure 1a) identifie le thalweg, la seconde (figure 1,b) inclue le chenal secondaire localisé à l'amont du tronçon, la troisième identifie le chenal secondaire situé à l'aval du tronçon dans le complexe d'îles. La dernière gaussienne (figure 1d) met en évidence un réseau de chenaux secondaires perchés. Cette distribution signe un style fluvial à chenaux multiples en cours d'incision. A l'instar de la courbe de densité de Marzy, la distribution de Béhuard peut être divisée en 3 parties. Le GMM, quant à lui, présente une mixture de 4 Gaussiennes dont la 1<sup>ère</sup> identifie le thalweg, la 2<sup>ème</sup> présente les bords du chenal en eau au moment de l'acquisition, la 3<sup>ème</sup> indique les parties

basses des barres sédimentaires latérales et la 4<sup>ème</sup> représente le sommet des barres.

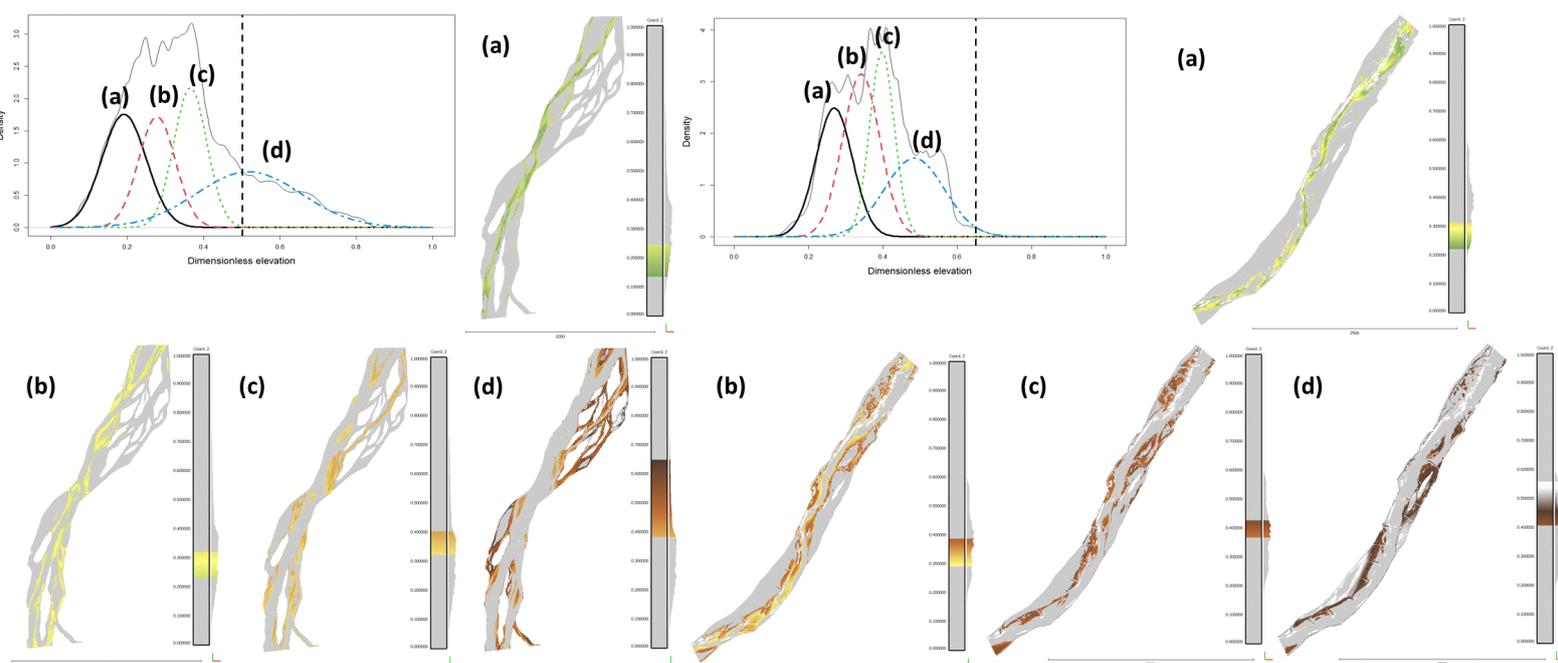


Figure 1: Descriptions spatiales des GMM des tronçons de Marzy(058) et Béhuard (049)

## 4. DISCUSSION

### 4.1 Efficacité de la méthode GMM pour caractériser la morphologie

Les analyses visuelles et statistiques ont montré des correspondances entre les éléments morphologiques identifiés. Le premier pic correspond au thalweg dans tous les cas. Mais le reste des mixtures demeure variable et identifie des unités morphologiques différentes. Ainsi, la déconvolution de la signature topographique de Marzy identifie la hiérarchisation des chenaux depuis le chenal principal jusqu'au réseau de chenaux secondaires plus ou moins perchés. A l'inverse, la signature morphologique de Béhuard, qui apparaît sensiblement différente de celle de Marzy mais avec le même nombre de Gaussiennes, montre que la signature traduit la présence des barres sédimentaires latérales du site. Ainsi, la méthodologie employée semble bien réagir pour la caractérisation de la morphologie d'un cours d'eau. L'analyse des signatures et des GMM d'autres secteurs (*Andréault et al. in prep.*) témoigne d'une sensibilité de la méthode à l'état d'incision du tronçon.

## 5. CONCLUSION

Les résultats obtenus ont montré que la méthodologie GMM permettait d'identifier de manière objective des éléments morphologiques sur un tronçon donné, préalablement débasculé et adimensionné. Les mixtures de gaussiennes varient en nombre et identifient des unités morphologiques différentes selon les tronçons. La méthodologie semble adaptée pour la discrétisation des courbes de densité des altitudes, elles-mêmes apparaissent comme des indicateurs du type de morphologie d'un tronçon de cours d'eau. Ainsi, malgré certaines limites à la méthodologie, il serait intéressant d'appliquer cette approche à d'autres rivières à la morphologie contrastée.

## BIBLIOGRAPHIE

Biedenbarn, D.S., Watson, C.C. and Thorne, C.R. (2008). Fundamentals of fluvial Geomorphology *in* Sedimentation Engineering de Garcia, H. (2008). Ed. American Society of Civil Engineers, N°110, 355-438.

Garcia-Lugo, G.A., Bertoldi, W., Henshaw, A.J. and Gurnell A.M. (2015). The effect of lateral confinement on gravel bed river morphology. *Water Resour. Res.*, Vol. 51, 7145-7158.

Scrucca, L., Fop, M., Murphy, T.B., and Raftery, A.E. (2016). Mclust 5: Clustering, Classification and Density Estimation Using Gaussian Finite Mixture Models. *The R Journal*, Vol. 8, p. 205-233.