

Détection et prédiction des bifurcations alluviales

La Loire de Nevers aux Ponts de Cé



PRI 2024-2025
DAE – option IMA
Sous la direction de Stéphane Rodrigues

Contexte

Une bifurcation alluviale est un phénomène naturel où un cours d'eau se divise en deux bras distincts séparés par une île. Elle se forme à l'étiage par l'intermédiaire d'une barre sédimentaire qui émerge et se végétalise. Le développement de la végétation pionnière puis ligneuse induit un piégeage sédimentaire qui contribue à la pérennité de la barre puis de l'île.

Chenal unique

Formation d'une barre sédimentaire à l'étiage

Développement de la végétation pionnière, piégeage sédimentaire

Développement de la végétation ligneuse formation d'une bifurcation alluviale

La prédiction de la formation des bifurcations alluviales constitue un enjeu croissant, en effet, celle-ci permet de :

- Prédire davantage le risque inondation par l'exhaussement de la ligne d'eau
- Limiter l'incision du lit grâce au phénomène d'aggradation en aval
- Favoriser la biodiversité par la création d'une mosaïque d'habitats

Etat de l'art

D'après la littérature, la formation de barres sédimentaires puis de bifurcations alluviales est contrôlée par plusieurs paramètres :

- La largeur de la plaine d'inondation : lorsque la plaine d'inondation est plus étendue, le chenal tend également à s'élargir, ce qui augmente les probabilités de formation de bifurcations alluviales (Repetto et al. 2002).
- La longueur d'onde de variation de largeur : lorsque la largeur du chenal varie, des barres sédimentaires auront plus de chances de se développer notamment avec la divergence des lignes de courant (Repetto et al. 2002).
- Le ratio d'aspect : la formation et la configuration des barres sédimentaires (centrales, alternes, transverses) dépendent de la valeur du ratio d'aspect et de son évolution (Wu et Yeh, 2005).

Apparition d'une barre centrale dans une zone d'élargissement du chenal durant une simulation en canal artificiel

(Wu et Yeh, 2005)

Sur la Loire, la valeur du ratio d'aspect est toujours compatible avec la formation de barres sédimentaires (Le Guern, 2021) et la largeur de la plaine d'inondation est contrainte par des aménagements. La variation de largeur du chenal semble donc être le paramètre principal de contrôle de la formation des bifurcations alluviales.

Existe-il une gamme de variation de largeur favorable à la formation de barres sédimentaires sur la Loire de Nevers aux Ponts de Cé ?

Hypothèse : Il existe une gamme d'élargissement du chenal favorable à la formation de barres. Cette gamme est comprise entre 1,2 et 1,3.

Méthodologie

Données

Logiciels

Mosaïques aériennes SIEL 1995, 1998 et 2019

Cartes de végétation DREAL (2019 Loire aval, 2015 Loire moyenne)

Bande active Loire moyenne 2020

ArcGIS Pro

Excel

XLstat

1. Choix des secteurs d'études

1.1. Test de rétroaction de la formation des îles sur la largeur du chenal

1995

2019

La formation d'une île ne semble pas rétroagir sur la largeur du chenal
Limites : seulement 13 sites étudiés, secteurs avec protection de berges, impacts d'ouvrages (formation de barres sédimentaires en aval des piles de ponts), effet rétroactif inachevé en 2019, précision de la mesure à partir de photographies

1.2. Détermination des secteurs d'études

Au vu des limites conséquentes du test de rétroaction, les secteurs d'étude se limiteront aux zones à chenal unique

Secteur à chenaux multiples

Secteur à chenal unique

2. Détermination de la variation de largeur

2.1. Détermination des écarts inter-transects

- Détermination de la longueur d'onde de variation de largeur (seuil d'élargissement = 1,3) : $\lambda = 5,4$ km

Variation de largeur du chenal tous les 100 m en fonction de la distance à Nevers

- Détermination des écarts inter-transects inférieurs à la moitié de la longueur d'onde déterminée précédemment

Espacement inter-transects maximum : 2700 m (λ/2)
Espacements inter-transects choisis : 100, 150, 200, 250, 500, 750 et 1000m

2.2. Détermination de la variation de largeur et recoupement des barres

Transects espacés de 50m localisés dans un secteur d'études (chenal unique) et découpés par la bande active

Transects

Bande active

- Découpage des transects par la bande active

- Digitalisation des barres sédimentaires
Limite : méthode de digitalisation par orthophotos dépend du débit lors de la prise de vue (qui peut varier selon les secteurs)

- Détermination de l'intersection des transects avec les barres sédimentaires

- Calcul des variations de largeur dans chaque secteur d'études
variation de largeur = largeur transect aval / largeur transect amont

Transects

Barres sédimentaires

3. Analyses statistiques des résultats

Statistiques descriptives

Test de Shapiro-Wilk

Test de corrélation bisérielle

Test t de Student

Test de Mann et Whitney

Fin des analyses

Analyse du coefficient de corrélation r

Légende :

Étape toujours réalisée

Étape réalisée selon condition

Analyse effectuée sur un échantillon

Analyse effectuée entre deux échantillons

Résultats

Statistiques descriptives des variations de largeur en présence et absence de barres

Valeurs des indicateurs statistiques

		Espacement inter-transects (m)						
		100	150	200	250	500	750	1000
Médiane	Présence de barres	1,008	1,011	1,013	1,026	1,042	1,054	1,067
	Absence de barres	1,003	0,999	1,003	0,990	0,976	0,949	0,974
Moyenne	Présence de barres	1,009	1,014	1,015	1,027	1,052	1,087	1,099
	Absence de barres	1,006	1,006	1,015	1,003	0,996	1,002	0,976

Les variations de largeurs moyennes et médianes sont plus importantes en présence de barres plutôt qu'en absence.

Histogramme du pourcentage de transects intersectant une barre sédimentaire en fonction de la variation de largeur (espacement des transects = 750 m)

Histogramme du pourcentage de transects intersectant une barre sédimentaire en fonction de la variation de largeur (espacement des transects = 1000 m)

Les moyennes des variations de largeurs sont significativement différentes en présence et absence de barres pour des espacements inter-transects de 250, 750 et 1000m. Il y a une corrélation entre la variation de largeur et la présence de barres pour les espacements de 750 et 1000 m. La plus forte corrélation est observée pour l'espacement de 1000 m (r = 0,299).

Carte des pentes du lit de la Loire obtenue à partir de données LiDAR topo-bathymétrique

Bande active

Discussion

La présence de barres sédimentaires dans le chenal est corrélée aux valeurs de variation de largeur uniquement pour des écarts inter-transects de 750m minimum. Le degré de relation observé est moyennement élevé mais permet tout de même de déterminer une classe de variation de largeur favorable à la mise en place de barres sédimentaires. Parmi les classes qui présentent au moins 5 transects, c'est la classe [1,2;1,3] qui comporte le plus fort pourcentage de transects intersectant au moins une barre sédimentaire.

L'hypothèse formulée au départ : "Il existe une gamme d'élargissement du chenal favorable à la formation de barres. Cette gamme est comprise entre 1,2 et 1,3." est donc validée.

Certains points méthodologiques restent cependant à améliorer dans le but de rendre cette méthode plus fiable et reproductible :

- Améliorer la significativité du test de rétroaction des îles sur la largeur du chenal afin d'inclure éventuellement les secteurs à chenaux multiples dans l'analyse
- Améliorer et automatiser la méthode de digitalisation des barres sédimentaires en utilisant par exemple la technologie LiDAR pour identifier le front de migration des barres sédimentaires
- Différencier les barres centrales des barres latérales pour une meilleure prédiction de la formation des bifurcations alluviales
- Étendre l'ensemble de l'analyse en aval des Ponts de Cé

Bibliographie

Repetto, R., Tubino, M., & Paola, C. (2002). Planimetric instability of channels with variable width. Journal Of Fluid Mechanics, 457, 79-109. <https://doi.org/10.1017/s0022112001007595>

Wu, F. (2005). Forced bars induced by variations of channel width : Implications for incipient bifurcation. Journal Of Geophysical Research, 110(F2). <https://doi.org/10.1029/2004Jf000160>

Le Guern, J (2021). Morphodynamique d'un lit fluvial sablo-graveleux : méthodes acoustiques de quantification de la charge de fond et analyse des interactions des formes du lit dans les chenaux ligériens

université de TOURS

POLYTECH TOURS

citeres UMR 7324