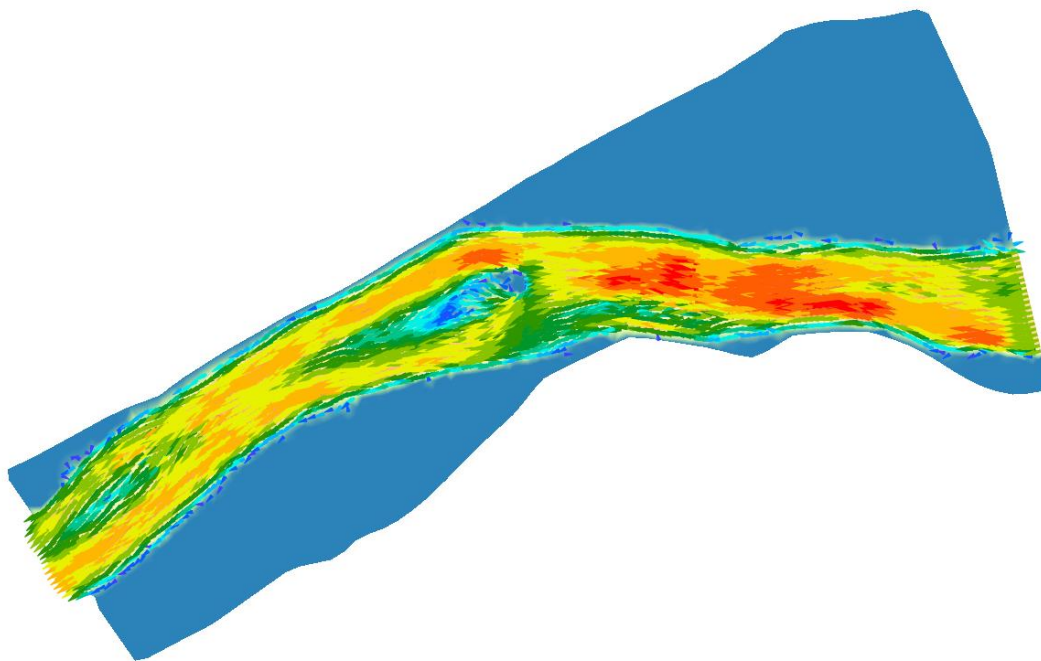


Projet de Fin d'Études (PFE) 2023-2024

Comprendre la formation des barres sédimentaires grâce à la modélisation numérique 2D : vers une meilleure restauration des cours d'eau



**Comprendre la formation des barres
sédimentaires grâce à la modélisation
numérique 2D : vers une meilleure restauration
des cours d'eau**

Directeur de recherche : Pierre Peeters

Auteure : Noémie Hardy

Année 2024

AVERTISSEMENT

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur (les auteurs) de cette recherche a (ont) signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

Formation par la recherche, Projet de Fin d'Etudes en génie de l'Aménagement et de l'Environnement

La formation au génie de l'aménagement et de l'environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement et de l'environnement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Dynamiques et Actions Territoriales et Environnementales de l'UMR 7324 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier mon directeur de recherche, Monsieur Pierre Peeters, pour ses conseils et son aide tout au long de la réalisation de ce rapport. Je tiens à le remercier particulièrement pour son soutien technique sur le logiciel TELEMAC.

J'aimerais également remercier Monsieur Stéphane Rodrigues pour son expertise et sa collaboration précieuse.

TABLE DES MATIERES

1.	Introduction	1
1.1.	Rappel des enjeux de la modélisation	1
1.2.	Contexte	1
2.	Méthodes	2
2.1.	Modélisation sur DELFT3D	2
2.2.	Modélisation du TELEMAC	4
3.	Résultats	5
3.1.	Modélisation sur DELFT3D	5
3.2.	Modélisation sur TELEMAC	7
4.	Discussion.....	9
4.1.	DELFT3D	9
4.2.	TELEMAC	9
5.	Bibliographie	10
6.	Annexes	12

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Rappel de la zone d'étude avec le profil LT18 en rouge	2
Figure 2 : Vitesse de courant à l'amont de la zone d'étude	4
Figure 3 : Bilans sédimentaires lors de 3 phases de la crue de mai 2013, obtenus par modélisation.	5
Figure 4 : Bilans sédimentaires lors de 3 phases de la crue de mai 2013, obtenue grâce à des campagnes de terrain. Source : Wintenberger et al. (2015b).	6
Figure 5 : Vitesses de courant autour du profil LT18, simulées sur TELEMAC. A : Phase ascendante de la crue, B : pic de crue, C : Phase descendante de la crue	7
Figure 6 : Vitesses de courant autour du profil LT18, simulées sur DELFT3D. A : Phase ascendante de la crue, B : pic de crue, C : Phase descendante de la crue	8

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Valeur des coefficients de Strickler en fonction des zones du cours d'eau	3
---	---

1. Introduction

1.1. Rappel des enjeux de la modélisation

La dynamique fluviale d'un cours d'eau est contrôlée par deux variables, le débit solide et le débit liquide. Ces paramètres contrôlent le système, influent sur les variables de réponse comme la granulométrie ou la pente, et déterminent si le cours d'eau est dans un état d'équilibre ou non. L'une des caractéristiques principales d'un cours d'eau est d'assurer le transport de ses sédiments vers l'aval. Si le cours d'eau est surchargé en sédiments et qu'il n'a pas l'énergie nécessaire pour les transporter, et que donc le débit liquide n'est pas suffisant, il y aura du dépôt. Au contraire, si le débit du cours d'eau est trop important par rapport à la quantité de sédiments disponibles, celui-ci cherchera à dissiper son énergie en érodant son lit. Une érosion trop importante d'un cours d'eau peut entraîner son incision, ce qui peut poser plusieurs problèmes, notamment la déstabilisation d'ouvrages présents le long du cours d'eau. Il est donc important de connaître le débit liquide et solide d'un cours d'eau. Et si aujourd'hui, le débit liquide est facilement mesurable grâce à plusieurs techniques comme l'utilisation de débitmètres, la réalisation de jaugeages ou encore l'utilisation d'ADCP, il n'en est pas de même pour le débit solide. Aujourd'hui, le meilleur moyen pour mesurer le transport solide est la modélisation numérique 2D des cours d'eau.

C'est la technique utilisée dans cette étude. Celle-ci a pour objectif de modéliser le déplacement d'une barre sédimentaire située à Mareau-aux-Prés, à 10 km en aval d'Orléans. Un état de l'art sur les avantages et les inconvénients de la modélisation numérique 2D a déjà été réalisé dans la première partie de ce Projet de Fin d'Etudes.

1.2. Contexte

Ce rapport est la suite directe de ce qui a été présenté dans le rapport précédent. Celui-ci présentait les résultats d'un début de calage d'un modèle hydrosédimentaire 2D d'une barre sédimentaire située à Mareau-aux-Prés (figure 1). Les résultats obtenus lors de cette première étude ont permis de mettre en évidence des imprécisions dans le calage et donc de faire émerger des pistes d'amélioration. En effet, la modélisation ne correspondait pas entièrement à ce qui avait été observé sur le terrain. Le modèle avait tendance à surestimer le déplacement de la barre sédimentaire vers le chenal secondaire. Plusieurs paramètres peuvent expliquer ce décalage entre le modèle et la réalité. Premièrement, il y a la bathymétrie qui n'est pas exactement la même entre l'étude réalisée l'année dernière et celle utilisée par Wintenberger et al. (2015b) lors de la première étude. Deuxièmement, le paramètre de la rugosité peut être défini de manière plus précise afin de correspondre au mieux

à la réalité (Villar et al., 2019). Troisièmement, le D50 pourrait aussi être une explication à la surestimation du modèle. Une seule classe de taille de sédiments a été implantée au modèle alors qu'un granuloclassement est observé sur le site. Ces paramètres ont tous été identifiés comme de possibles pistes d'amélioration pour le calage du modèle numérique. Cependant, c'est le paramètre du transport sédimentaire qui a été étudié dans ce rapport. En effet, la formule du transport sédimentaire a aussi été identifiée comme pouvant avoir un impact sur le résultat du calage. La formule utilisée lors de l'étude précédente est celle d'Engelund-Hansen (1967). Dans cette étude, afin de déterminer si la formule du transport sédimentaire a effectivement un impact sur le résultat du modèle, deux modélisations ont été réalisées afin de les comparer avec la modélisation d'origine et les observations de terrain. Les deux nouvelles formules de transport solide alors utilisées pour cette comparaison sont la formule de Meyer-Peter-Muller (1948) et celle de Wilcock-Crowe (2003).



Figure 1 : Rappel de la zone d'étude avec le profil LT18 en rouge

2. Méthodes

2.1. Modélisation sur DELFT3D

Trois simulations ont donc été lancées sur le logiciel DELFT3D version 2021.03. Les paramètres implantés dans ces simulations - à savoir la bathymétrie, la rugosité (déterminée dans l'étude précédente en fonction des zones du cours d'eau. Les valeurs sont à retrouver dans le tableau 1), la largeur de la couche active (variant de 0m au niveau des seuils à 8,2m pour les zones les plus érodables) et le D50 (1,5mm) - sont identiques.

Tableau 1 : Valeur des coefficients de Strickler en fonction des zones du cours d'eau

Zones du cours d'eau	Coefficient de Strickler
Lit majeur	0,067
Chenaux	0,026
Îles végétalisées	0,038
Îles non végétalisées	0,032

Le seul paramètre variant d'une simulation à une autre est donc la formule du transport solide. Le calage d'origine a été fait en se basant sur la formule d'Engelund-Hansen (1967). Cette formule permet de déterminer le transport solide total en volume de grains (m³/s) par mètre de largeur du lit pour des sédiments non cohésifs (charriage et suspension). Elle a été choisie en premier lieu car elle s'applique à des cours d'eau sablo-graveleux. La formule a été établie pour des tailles de grains uniformes compris entre 0,15mm et 1,6mm (Engelund et Hansen, 1967), ce qui correspond au site de Mareau-aux-Prés. Cependant, la formule d'Engelund-Hansen a tendance à surestimer les taux de transport de sédiments lorsque que la valeur de cisaillement est faible. De plus, la formule a été établie principalement grâce à des données de canaux avec 1900 données de laboratoire et 800 données de fleuve (White et al., 1975).

La première formule de transport solide testée pour la comparer avec celle d'Engelund-Hansen est celle de Meyer-Peter-Muller (1948). Cette formule a été testée car c'est l'une des plus anciennes formules développées tout en étant une des plus utilisées encore aujourd'hui. Elle permet de déterminer la capacité de transport total de sédiments par charriage et sans suspension. Elle est donc utilisée pour des lits à charge sablo-graveleuse à charriage modéré, ce qui est le cas pour Mareau-aux-Prés. Une des limites de cette formule est qu'elle évalue une capacité et non pas le transport des sédiments en lui-même, ce qui donne souvent lieu à une surestimation (Meyer-Peter et Muller, 1948).

La deuxième formule de transport solide testée est celle de Wilcock-Crowe (2003). Cette formule, contrairement aux deux précédentes, est une formule basée sur la surface du lit du cours d'eau et non sur le substrat. Le transport solide d'un lit de granulométrie mixte dépend de la population de grains directement disponibles à la surface du lit. Les formules se basant sur le substrat (Engelund-Hansen et Meyer-Peter-Muller) dépendent en réalité du tri de surface des sédiments qui détermine les grains disponibles pour le transport. Et comme le tri de surface des sédiments dépend de facteurs non inclus dans la formule, comme les mécanismes de tri vertical, ces formules de transport solide peuvent être incomplètes. La formule de Wilcock-Crowe, faite pour des cours d'eau à charge sablo-graveleuse, prédit donc des taux de transport instantanés et est capable de prédire des conditions transitoires de dépôt et d'érosion (Wilcock et Crowe, 2003).

Une fois les trois simulations réalisées, les résultats ont été mis en forme sur le logiciel ArcGis Pro 3.0.3. Pour connaître la formule de transport solide convenant le mieux à la modélisation de la dynamique hydrosédimentaire à Mareau-aux-Prés, des cartes de bilans sédimentaires ont été réalisées et les résultats ont été comparés aux mesures de terrain faites par Wintenberger et al. (2015b).

2.2. Modélisation du TELEMAC

En parallèle de la comparaison des résultats fournis par les différentes formules de transport solide sur DELF3D, des simulations ont été lancées sur le logiciel TELEMAC version V8P4. Il a été décidé d'utiliser ce logiciel de modélisation car, à terme, lorsque le calage aura été validé, il sera possible d'incorporer au modèle un module végétation. Ce module permettrait de mieux comprendre le rôle de la végétation dans le transport des sédiments à Mareau-aux-Prés.

Dans un premier temps, seule la courantologie a été modélisée. Comme les données de Wintenberger et al. (2015b) n'incluent pas les vitesses de courant, les résultats obtenus sur TELEMAC sont pour l'instant comparés avec ceux obtenus sur DELFT3D pour se faire une première idée des résultats. Les paramètres implantés dans TELEMAC, la bathymétrie, les coefficients de frottement et les conditions limites, sont identiques à ceux implantés dans DELFT3D. Cependant, les valeurs de bathymétrie ont été légèrement modifiées sur 60 m environ à l'amont du maillage sur la rive gauche. En effet, à cet endroit, la confluence avec le Loiret présent juste à l'amont du maillage rend les valeurs de vitesse instables (figure 2).

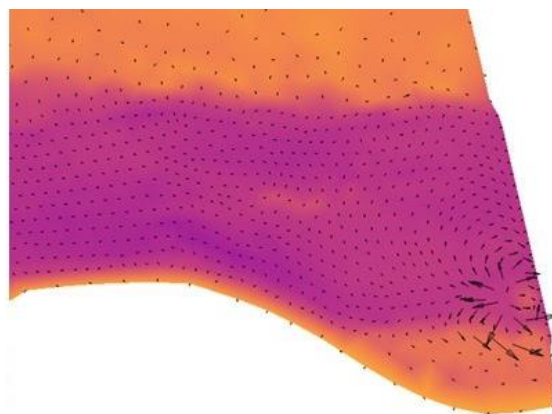


Figure 2 : Vitesse de courant à l'amont de la zone d'étude

La bathymétrie variait trop à cet endroit, d'où le changement. Enfin, les variables de vitesse de courant, de hauteur d'eau et côtes du fond ont été obtenues en sortie. Le fichier texte permettant de lancer cette simulation est à retrouver dans l'annexe 1.

3. Résultats

3.1. Modélisation sur DELFT3D

Pour comparer les résultats modélisés et les observations de terrain, des cartes de l'évolution de l'élévation du lit de la Loire ont été réalisées à partir des modélisations (figure 3). L'accent a été mis sur la barre sédimentaire étudiée par Wintenberger et al. (2015b) car des cartes similaires avaient été produites (figure 4).

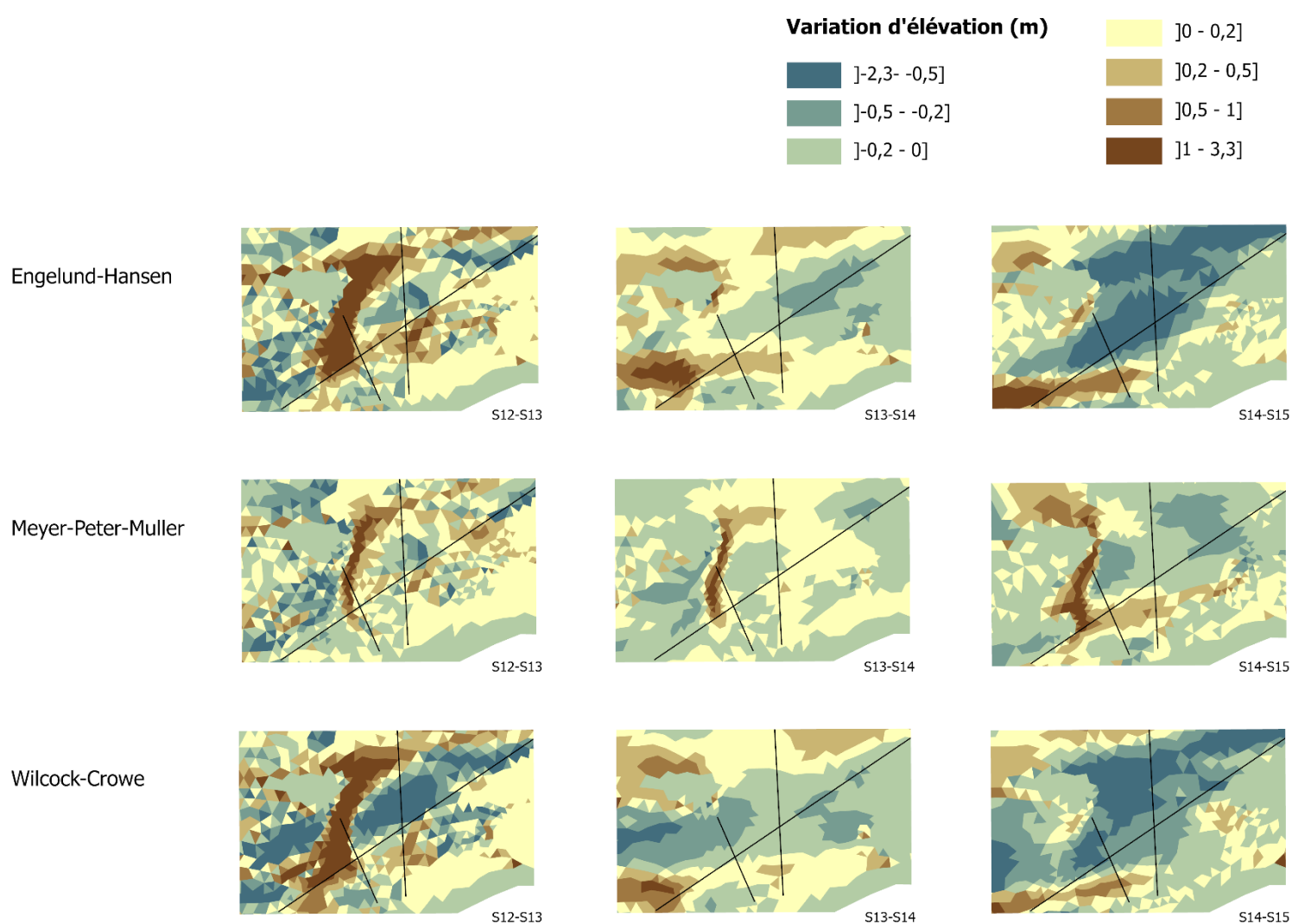


Figure 3 : Bilans sédimentaires lors de 3 phases de la crue de mai 2013, obtenus par modélisation.

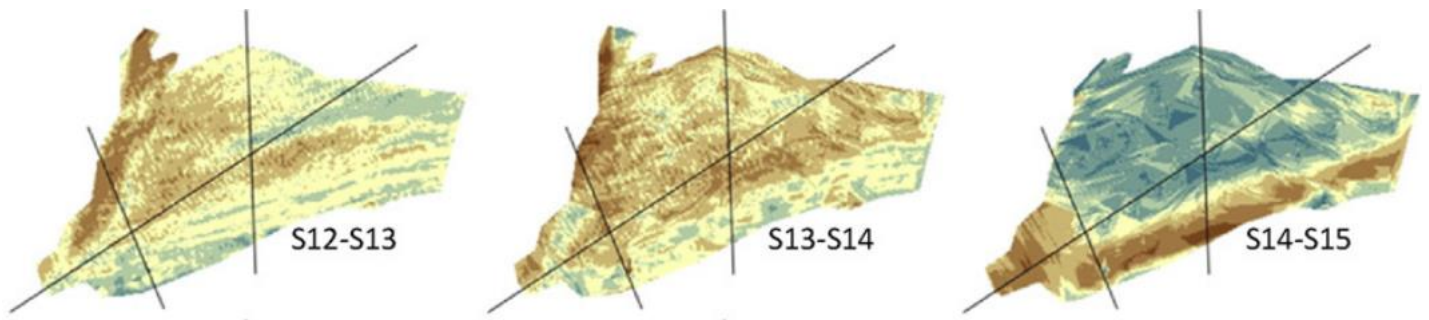


Figure 4 : Bilans sédimentaires lors de 3 phases de la crue de mai 2013, obtenue grâce à des campagnes de terrain. Source : Wintenberger et al. (2015b).

Comme pour la première étude réalisée l'année précédente, la comparaison des trois formules de transport solide s'est basée sur les quatre campagnes de terrain (S12 à S15) lors de la crue de mai 2013. Le premier bilan sédimentaire (S12-S13) intervient lors de la phase ascendante de la crue, le deuxième bilan sédimentaire (S13-S14) intervient lors du pic de crue et le troisième (S14-S15) intervient lors de la phase descendante de la crue. Les profils ajoutés sur les cartes permettent de mieux se repérer dans l'espace. La légende vaut pour les 2 figures.

Sur le terrain, les valeurs de dépôt peuvent varier de 0 à 2,5m d'altitude. Pour ce qui est de l'érosion, celle-ci varie de 0 à -1.3m d'altitude mais excède rarement les -0,5m d'altitude. Lors de la phase ascendante de la crue, les sédiments sont amenés par le cours d'eau et un dépôt plus ou moins important peut être observé, notamment sur l'arrière de la barre sédimentaire (à gauche sur la figure). Un dépôt plus léger est observé sur le dessus de la barre. Pour ce qui est du pic de crue, le dépôt se généralise sur le dessus de la barre et un dépôt important est toujours présent à l'arrière de celle-ci. Enfin, pour ce qui est de la phase descendante de la crue, un fort dépôt est observé sur le bord gauche de la barre alors que le reste de celle-ci s'est largement érodé. Cette érosion du dessus de la barre couplée avec le dépôt observé sur le bord gauche, et donc au niveau du chenal secondaire, confirme les résultats obtenus dans l'étude de l'année passée, à savoir que la barre se déplace vers ce chenal secondaire.

Pour ce qui est de la comparaison avec les modélisations, on peut observer que les trois formules de transport solide modélisent bien le dépôt observé lors de la phase ascendante. Pour ce qui est du pic de crue, la seule formule qui montre l'important dépôt toujours observé à l'arrière de la barre est celle de Meyer-Peter-Muller. Pour les deux autres formules, ce dépôt a disparu. Cependant, les trois formules montrent une légère érosion sur le dessus de la barre qui n'avait pas encore été observée sur le terrain. Enfin, pour ce qui est de la phase descendante de la crue, la formule qui s'en sort le mieux pour la modélisation du dépôt est encore celle de Meyer-Peter-Muller, montrant bien le dépôt à l'arrière et sur le bord gauche de la barre. Les deux autres formules montrent un dépôt plus important sur le bord gauche. Les trois formules

arrivent à modéliser l'érosion sur le dessus de la barre. Cependant, les formules de Engelund-Hansen et Wilcock-Crowe modélisent cette érosion, encore une fois, avec une trop forte intensité.

3.2. Modélisation sur TELEMAC

Pour ce qui est de la modélisation sur le logiciel TELEMAC, les résultats de vitesse de courant ont été mis en forme sur QGIS 2.22.3 (figure 5). Ces vitesses de courant sont comparées avec celles obtenues sur DELFT3D (figure 6).

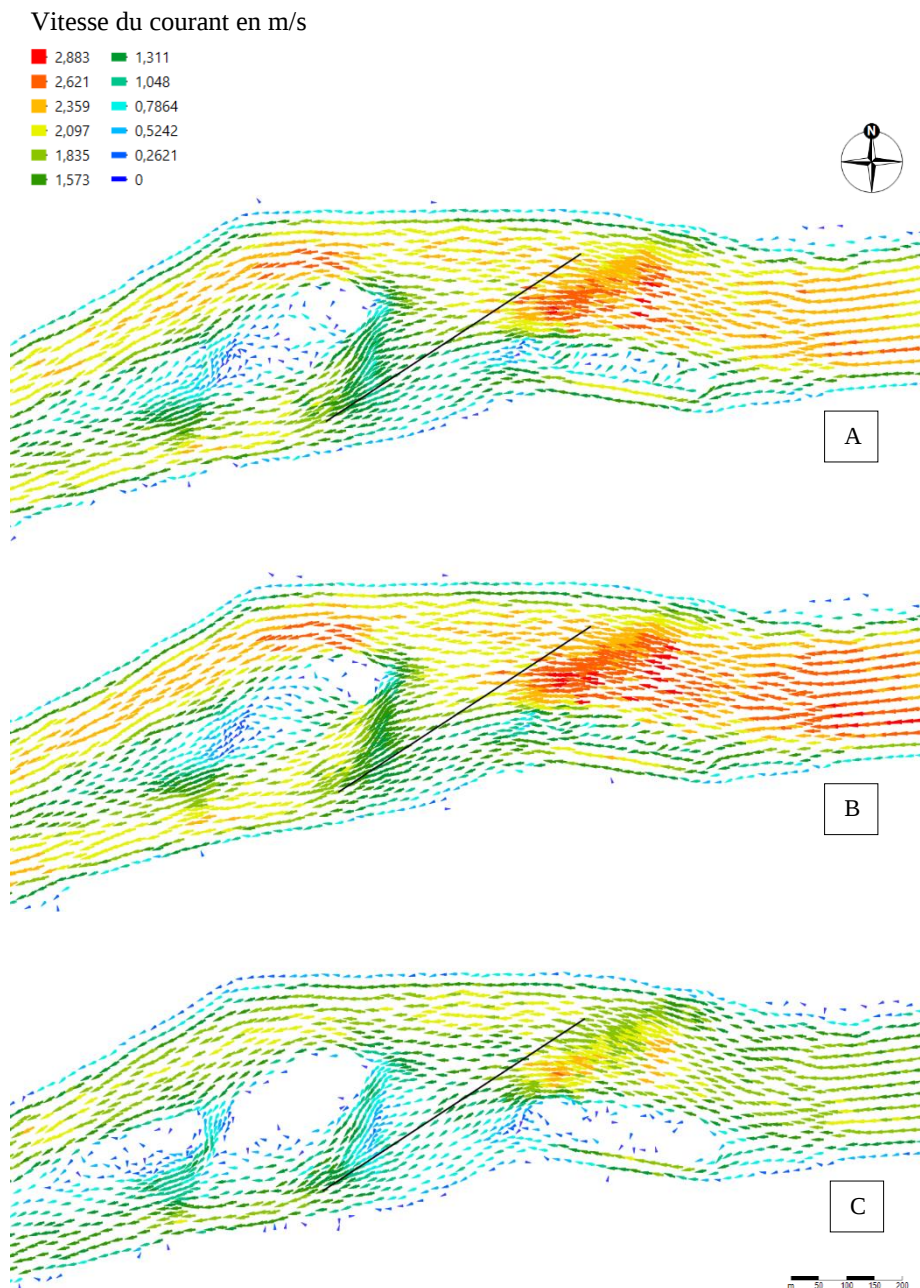


Figure 5 : Vitesses de courant autour du profil LT18, simulées sur TELEMAC. A : Phase ascendante de la crue (04/05/2013), B : pic de crue (07/05/2013), C : Phase descendante de la crue (11/05/2013)

Les 3 cartes de la figure 5 représentent les 3 phases de la crue de mai 2013. De manière générale, plus le pic de crue (B) est proche, plus les vitesses de courant augmentent et elles diminuent pendant la décrue (C). Les résultats semblent donc à première vue cohérent. On observe, par ailleurs, des vitesses plus élevées au niveau du seuil (de l'ordre de 2,7 m/s pendant le pic de crue), et des vitesses très faibles voire nulles au niveau de l'îlot et du bras secondaire (de l'ordre de 0,2 m/s).

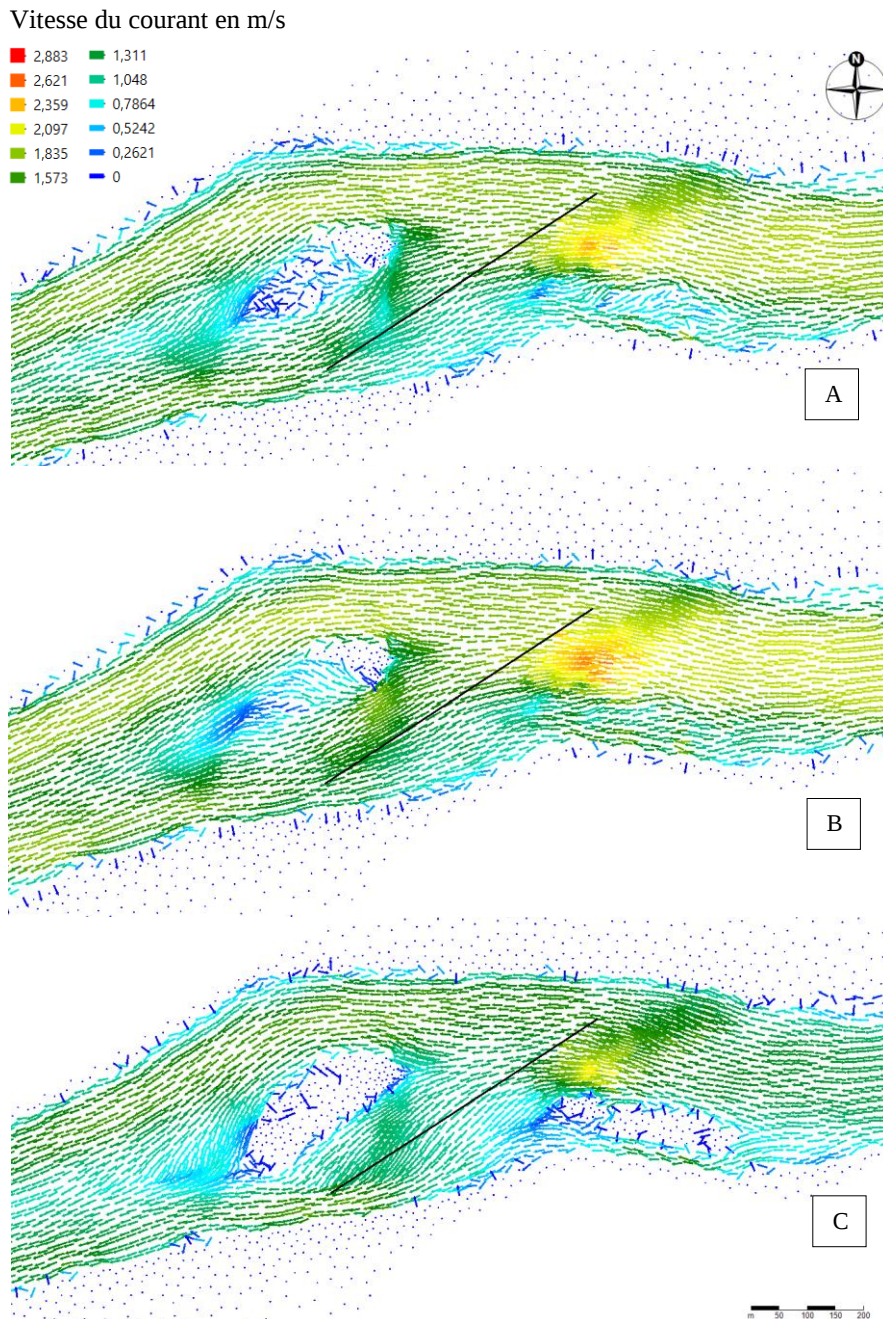


Figure 6 : Vitesses de courant autour du profil LT18, simulées sur DELFT3D. A : Phase ascendante de la crue (04/05/2013), B : pic de crue (07/05/2013), C : Phase descendante de la crue (11/05/2013)

Lorsque l'on compare ces résultats avec ceux de DELFT3D (figure 6), on remarque que, globalement, les vitesses sont les mêmes. Elles sont plus importantes au niveau du seuil et sont très faibles voire nulles au niveau de l'îlot et du bras secondaire. Cependant, une augmentation générale des valeurs sur TELEMAC est tout de même à relever.

4. Discussion

4.1. DELFT3D

Wintenberger et al. (2015b) ont observé pendant la phase ascendante et le pic de la crue de mai 2013 un dépôt global de sédiments, et lors de la phase descendante, de l'érosion sur le dessus de la barre ainsi que du dépôt sur le bord gauche, du côté du chenal secondaire. Les modélisations réalisées simulent plus ou moins bien ces observations. Si certains éléments sont bien retranscrits comme le fort dépôt à l'arrière de la barre lors de la phase S12-S13, d'autres ne sont pas du tout modélisés comme le dépôt durant le pic de crue qui se transforme en érosion avec la formule de Wilcock-Crowe. Dans l'ensemble, la modélisation qui simule le mieux le déplacement de la barre sédimentaire est celle utilisant la formule de Meyer-Peter-Muller alors qu'au vu des formules utilisées, celle de Wilcock-Crowe semblait être plus adéquate pour le site d'étude.

En partant de cette observation et toujours dans l'optique d'améliorer le modèle, il faudrait modifier les paramètres identifiés dans l'étude de l'année précédente comme pouvant jouer un rôle sur les imprécisions du calage – à savoir la bathymétrie, la rugosité, la largeur de la couche active et la taille des sédiments – en utilisant la formule de Meyer-Peter-Muller.

4.2. TELEMAC

Les vitesses de courant modélisées sur TELEMAC sont cohérentes avec les simulations lancées sur DELFT3D lors de l'étude précédente. Une légère surévaluation est tout de même à noter. Cela peut s'expliquer par le fait que les paramètres liés aux sédiments ne soient pas encore inclus dans le fichier des paramètres TELEMAC.

Cependant, la modélisation des vitesses de courant n'est qu'une étape pour ensuite modéliser le paramètre essentiel de l'étude, le transport sédimentaire. Il est donc pour l'instant difficile d'en tirer des conclusions. Pour modéliser la dynamique hydrosédimentaire, il faudra utiliser le module du système de modélisation TELEMAC pour le transport des sédiments et l'évolution du lit, à savoir le module SISYPHE. Les paramètres liés au transport solide utilisés sur DELFT3D pourront être incorporés dans

SISYPHE. Ces paramètres sont la formule de transport solide, le D50 des sédiments, ainsi que la couche active. Le fichier de paramètres SISYPHE est à retrouver en annexe 2. Le fichier Fortran avec le paramètre de la couche active reste encore à modifier.

Comme pour le modèle réalisé sur DELFT3D, il sera possible de modifier celui de TELEMAC s'il n'est pas pleinement satisfaisant en jouant sur les variables mentionnées dans l'étude précédente.

A terme, l'objectif est donc d'intégrer au modèle TELEMAC l'effet de la végétation sur la dynamique hydrosédimentaire. Le rôle de cette végétation est depuis quelques années un sujet de recherche au sein de la communauté scientifique. En effet, López et Garcia (1998) ont par exemple étudié le transport des sédiments en suspension dans un cours d'eau avec de la végétation. Ils ont alors observé une diminution de la capacité de transport des sédiments en suspension lorsque le lit du cours d'eau était couvert de végétation. Cette diminution de la capacité de transport peut être due à la diminution des vitesses de courant, réduites par la végétation. De plus, certains se sont penchés sur l'effet d'une végétation flexible sur le transport des sédiments (Järvelä, 2005), d'autres au contraire sur l'effet d'une végétation plus rigide (Fredrik et al., 2007). Il existe aujourd'hui plusieurs approches de la végétation sur TELEMAC, certaines considérant de la végétation rigide non submergée, d'autres approches se basant sur de la végétation flexible non submergée. Cependant, il est nécessaire aujourd'hui de développer de nouvelles approches. En particulier, une approche qui considérerait à la fois de la végétation submergée et non submergée, puisque ces deux possibilités existent en réalité. Enfin, les nouveaux modèles de végétation nécessitent des données d'entrée supplémentaires, comme les paramètres de flexibilité ou la hauteur des plantes (Folke et al., 2020).

5. Bibliographie

- Engelund, F., & Hansen, E. (1967). A monograph on sediment transport in alluvial streams. *Technical University of Denmark Østervoldgade 10, Copenhagen K.*
<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A81101b08-04b5-4082-9121-861949c336c9>
- Folke, F., Kopmann Rebekka, Dalledonne Guilherme, & Attieh Mohamad. (2020). *Comparison of different vegetation models using TELEMAC-2D.*
<https://doi.org/10.5281/ZENODO.3611486>

- Fredrik, H., Augustijn, D., & Hulscher, S. (2007). Analytical solution of the depth-averaged flow velocity in case of submerged rigid cylindrical vegetation. *Water Resources Research - WATER RESOUR RES*, 43. <https://doi.org/10.1029/2006WR005625>
- Järvelä, J. (2005). Effect of submerged flexible vegetation on flow structure and resistance. *Journal of Hydrology*, 307(1), 233-241. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.10.013>
- López, F., & García, M. (1998). open-channel flow through simulated vegetation : Suspended sediment transport modeling. *Water Resources Research*, 34(9), 2341-2352. <https://doi.org/10.1029/98WR01922>
- Meyer-Peter, E., & Müller, R. (1948). Formulas for Bed-Load transport. *IAHSR 2nd Meeting, Stockholm, Appendix* 2. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A4fda9b61-be28-4703-ab06-43cdc2a21bd7>
- White, W., Meyer Peter, E., Rottner, J., Ackers, P., Milli, H., Muller, R., Bishop, A., Hansen, E., Crabbe, A., Einstein, H., Bangold, R., & Toffaleti, F. (1975). Sediment transport theories. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 59(2), 265-292. <https://doi.org/10.1680/iicep.1975.3740>
- Wilcock, P. R., & Crowe, J. C. (2003). Surface-based Transport Model for Mixed-Size Sediment. *Journal of Hydraulic Engineering*, 129(2), 120-128. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2003\)129:2\(120\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2003)129:2(120))
- Wintenberger, C. L., Rodrigues, S., Claude, N., Jugé, P., Bréhéret, J.-G., & Villar, M. (2015). Dynamics of nonmigrating mid-channel bar and superimposed dunes in a sandy-gravelly river (Loire River, France). *Geomorphology*, 248, 185-204. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.07.032>

6. Annexes

Annexe 1 :

```
/ FICHER TELEMAC

COUPLING WITH : 'SISYPHE'
COUPLING PERIOD FOR SISYPHE : 60

BOUNDARY CONDITIONS FILE : Conditions_limites.cli
GEOMETRY FILE : Geometry_Loire_Bathy_Friction.slf
RESULTS FILE : t2d_resultats_biomareau_telemac_hydrosedimento.slf
LIQUID BOUNDARIES FILE : fichier_conditions_limites_corrige_v2.qsl
SISYPHE STEERING FILE : sis_biomareau_fichier_parametre.cas
/FORTRAN FILE : 'user_fortran'

/FRICITION DATA : YES
/FRICITION DATA FILE : frictioncoefficient_manning_corrige.xyz
/MAXIMIM NUMBER OF FRICTION DOMAINS : 100
/-----
TITLE : 'Biomareau - telemac2D - test'
TIME STEP : 1
NUMBER OF TIME STEPS : 1036500
GRAPHIC PRINTOUT PERIOD : 86400 /sortie graphique tous les jours
LISTING PRINTOUT PERIOD : 300 /sortie de données toutes les 5 min
MASS-BALANCE : YES
/-----
VARIABLES FOR GRAPHIC PRINTOUTS : 'U,V,H,B,S' /U=vitesse suivant l'axe des x (m/s), V=vitesse suivant l'axe des y (m/s), B=cote du fond (m)
LAW OF BOTTOM FRICTION : 4 /manning utilisé ici
FRICTION COEFFICIENT : 0.04
/PREScribed ELEVATIONS : 0.0 ; 85.0
/PREScribed FLOWRATES : 1000.0 ; 0.0
INITIAL CONDITIONS : 'CONSTANT ELEVATION'
INITIAL ELEVATION : 85.437096
/-----
MAXIMUM NUMBER OF ITERATIONS FOR SOLVER : 10000
```

Annexe 1 : Fichier de paramètre pour le modèle TELEMAC

Annexe 2 :

```
/ FICHER SISYPHE

BOUNDARY CONDITIONS FILE : Conditions_limites.cli
GEOMETRY FILE : Geometry_Loire_Bathy_Friction.slf
RESULTS FILE : sis_resultats_biomareau_telemac_hydrosedimento.slf

/ DUREE DU CALCUL
/ -----
/ le pas de temps sisyphes = pas de temps telemac * periode de couplage
/ la duree du calcul et le pas de temps des sorties graphiques sont
/ gouvernes par le fichier cas de telemac
TIME STEP : 1
COMPUTATION CONTINUED : NO

/ ENTREE-SORTIE
/ -----
TITLE : 'COUPLAGE SISYPHE - TELEMAC 2D'
VARIABLES FOR GRAPHIC PRINTOUTS : 'U,V,H,S,B,M,N,P,E'

MASS-BALANCE : YES

/ TRANSPORT SOLIDE
/ -----
/
BED-LOAD TRANSPORT FORMULA : 1
SEDIMENT DIAMETERS : 1.5

/CONSTANT ACTIVE LAYER THICKNESS : NON
```

Annexe 2 : Fichier de paramètre SISYPHE pour le modèle TELEMAC



Directeur.rice de recherche : Pierre Peeters

Noémie Hardy

Noémie Hardy
PFE/DAE5
DAE/IMA
2023-2024

Comprendre la formation des barres sédimentaires grâce à la modélisation numérique 2D : vers une meilleure restauration des cours d'eau

Résumé :

Ce rapport est la suite directe d'une étude réalisée en 2023, traitant de la modélisation numérique 2D de la dynamique hydrosédimentaire d'une barre sédimentaire forcée. L'objectif principal de cette étude préliminaire était le calage d'un modèle numérique sur DELFT3D. Il en est ressorti un calage imparfait et des points d'amélioration du modèle ont été identifiés. Le but de ce présent rapport est donc l'amélioration du calage du modèle. Pour cela, trois simulations ont été lancées avec trois formules de transport solide différentes afin de déterminer laquelle donnerait de meilleurs résultats. Le calage d'origine a été fait en se basant sur la formule d'Engelung-Hansen, et deux autres modélisations ont été réalisées avec les formules de Meyer-Peter-Muller et Wilcock-Crowe. Les trois modèles ne sont pas parfaitement représentatifs de la réalité mais celui qui s'en rapproche le plus est celui utilisant la formule de Meyer-Peter-Muller. En parallèle de cette analyse, un modèle a été lancé sur le logiciel de modélisation TELEMAC afin de savoir si un logiciel différent ne pourrait pas donner de meilleurs résultats. Mais l'utilisation de TELEMAC est surtout motivée par la possibilité d'incorporer un module végétation au modèle. Cela permettrait de mieux comprendre le rôle de la végétation sur le transport sédimentaire à Mareau-aux-Prés. Cette seconde partie d'étude sur TELEMAC n'en est pour l'instant qu'à ses débuts. Pour le moment, seule la dynamique hydraulique a pu être modélisée.

Mots Clés : Modélisation, DELFT3D, TELEMAC, Engelung-Hansen, Meyer-Peter-Muller, Wilcock-Crowe, végétation