



ELSEVIER

Available online at www.sciencedirect.com

SCIENCE @ DIRECT®

C. R. Geoscience 337 (2005) 487–495



<http://france.elsevier.com/direct/CRAS2A/>

Géomatériaux (Sédimentologie)

Impact des crues sur les bilans sédimentaires de chenaux secondaires de la Loire moyenne (France)

Stéphane Rodrigues*, Jean-Gabriel Bréhéret, Florentina Moatar, Jean-Jacques Macaire

Laboratoire de géologie des environnements aquatiques continentaux (GéEAC), UPRES EA 2100, université François-Rabelais, UFR des sciences et techniques, parc de Grandmont, 37200 Tours, France

Reçu le 27 septembre 2004 ; accepté après révision le 20 décembre 2004

Disponible sur Internet le 22 janvier 2005

Présenté par Jean Dercourt

Résumé

Lors des crues, les volumes sédimentés et érodés dans les chenaux secondaires végétalisés de la Loire moyenne sont quantifiés grâce à un suivi topographique réalisé sur le site de Bréhémont (France). On met ainsi en évidence une forte variabilité temporelle du processus de comblement des annexes hydrauliques. Au seuil amont, l'hydrodynamisme conditionne les possibilités d'approvisionnement des chenaux, où s'opposent les zones basses et nues dans lesquelles transitent les sédiments, et les zones hautes et végétalisées où domine l'archivage. Les crues, modérées ou importantes, accentuent la morphologie asymétrique des chenaux, favorisant ainsi l'exhaussement et le rattachement des zones végétalisées aux îles déjà présentes. **Pour citer cet article :** *S. Rodrigues et al., C. R. Geoscience 337 (2005).*

© 2004 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Abstract

Flood impact on sedimentary budgets in secondary channels of the middle reaches of the Loire River (France). Volumes of sediments eroded and deposited during floods were quantified in a vegetated secondary channel of the Loire River at the study site of Bréhémont (France). The topographic survey highlights the temporal variability in filling of secondary channels. Upstream riffle of secondary channels governs sedimentary supply. In these channels, sediments show a by-passing in the lower parts and an accretion in the higher vegetated areas. The asymmetrical morphology is reinforced during both intense and moderate floods. Sedimentary accretion in the vegetated areas leads progressively to channel narrowing. **To cite this article:** *S. Rodrigues et al., C. R. Geoscience 337 (2005).*

© 2004 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Mots-clés : Chenaux ; Loire ; Suivi topographique ; Zones végétalisées ; Transit ; Archivage ; Érosion ; Sédimentation ; France

Keywords : Channels; Loire River; Topographic survey; Vegetated areas; By-passing; Accretion; Erosion; Sedimentation; France

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : stephane.rodrigues@etu.univ-tours.fr (S. Rodrigues).

Abridged English version

1. Introduction

Although channel incision is a natural process, its rapid increase in European rivers is the cause of many environmental problems [1]. The main channel incision of the Loire River is a consequence of dyking, building of oblique groynes to maintain navigation during low flows, and intense sediment extraction between 1945 and 1980 [1]. The mean water channel deepening has led to the evolution from a multiple-channel pattern to a single-channel pattern. The giving up of secondary channels by waters has induced a significant colonization of these areas by vegetation and more particularly the black Poplar, *Populus nigra* (L). The topographic survey carried out on a secondary channel of the site of Bréhémont inundated during floods should allow identifying areas of erosion and deposition and evaluating volumes of sediments removed or deposited during floods.

2. Study site setting

The site of Bréhémont is located in the middle reaches of the Loire River, 30 km downstream the city of Tours, on the left bank of the stream (Fig. 1). At the gauging station of Tours, average discharge is $374 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ and approximately $1500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ for the 1- in 2-year flood. In this area, the Loire River is an anabranching river [4,9]; the braided main channel is fringed by permanent islands and secondary channels only submerged during floods. In-channel woody vegetation is mainly composed of *Salix spp.* and *Populus nigra* (L) [2]. The morphological units distinguished in the secondary channel A, where the topographic survey was realized, are (1) an upstream riffle bordered by two elongated depressions (third-order channels SC1 and SC2) and by a vegetated area (ZV1), (2) two almost circular pools (M1 and M2), (3) a median riffle and (4) a third-order channel SC3 running alongside a higher vegetated zone (ZV2). In 1995, fluvial maintenance operations were performed; only the three bands ML1 to ML3 were kept.

3. Methods

Fifteen topographic cross-sections (Fig. 1) were surveyed using a total station after floods of varying

intensities (Fig. 2). Points measured at slope breaks were also recorded to improve the survey accuracy. Moreover, 31 scour chains were installed to analyse erosion and deposition processes during one event [6].

For each cross-section, eroded and deposited volumes (VES and VDS, respectively) were determined between two surveys (Fig. 3) according to the following calculations. The VES and VDS were defined on a 1 m wide strip and correspond to the product of the eroded or deposited cross-sectional area [7] by 1 m. The eroded and deposited cross-sectional areas were estimated. The VES corresponds to the volume of sediment located between the two surveys where the recent topographic surface is beneath the old surface. VDS corresponds to the volume of sediment where the recent topographic surface is above the old surface.

Digital elevation models (DEM) were computed for each survey using linear interpolation. Volumes calculated by grid subtraction are (1) the total differential volume (VDT), calculated on the base of the surface flooded between two surveys, (2) the iso-surface volume (VIS), estimated for each comparison on the systematically flooded surface (excluding banks and vegetated areas).

4. Topographic evolution during floods

4.1. Longitudinal evolution of eroded and deposited volumes estimated by cross-sections

Cross-sections analysis shows high values of VES and VDS in the upstream part of channel A. These values are lower between cross-sections ST3 and ST7 (Fig. 4). In the downstream part of the channel VES is more important than VDS. The ratio between $|VDS + VES|$ and the section width indicates that the secondary channel A could be divided into three reaches where sedimentary activity can be linked with the presence of vegetation: the upstream reach (0–135 m), where sedimentary processes are strong, the middle reach (135–400 m) and the downstream reach (400–550 m), where sedimentary processes are less important.

4.2. Erosion and deposition areas: definition and volume estimation

The analysis of DEMs between surveys L1 and L2 shows that 5770 m^3 of sediments were deposited

in the secondary channel A, mainly in the vegetated area ZV2 (Fig. 5). Erosion of the upstream bank of the Pallu Island has induced migration of the third-order channel SC1 while strong incision of SC3 has occurred. Between surveys L2 and L4, channel A was eroded although sedimentation took place in the vegetated area. Floods have led to sediment deposition from 1994 to 2001, whereas erosion was dominant between 2001 and 2003 (Fig. 6). In the upstream reach, lateral erosion of the Pallu Island contrasts with the stability of the vegetated area ZV1. Sediment deposition downstream of this area is the result of important flow resistance by the trees.

Scour chains confirmed these results and emphasised the role of vegetation on sediment retention.

5. Increasing channel asymmetrical morphology

Small quantities of sediments deposited in the vegetated areas are not easily removable, because vegetation enhances stabilization and reduces flow velocity [8,11]. However, by-passing of sediments takes place in the third-order channel SC3. Both moderate and intense floods maintain the asymmetrical morphology of the channel A. On the one hand, vegetated parts are not submerged during small floods; on the other hand, intense floods allow deposition in the vegetated areas and erosion in SC3.

The accretion of the vegetated area ZV2 exerts a feedback on water and sediment transport. This evolution will lead to the coalescence of this area with the nearest island.

6. Conclusions

Although being a first approach, this study allowed us to estimate volumes of sediments eroded and deposited in secondary channels of the Loire River during floods. The study shows (1) the temporal variability of filling of these channels; (2) that both moderate and large floods reinforce the asymmetrical morphology of the secondary channels; (3) that sedimentation in the vegetated areas contrasts with sediment by-passing and erosion in the third-order channels. Flood intensity, duration, and frequency are parameters that influence this phenomenon.

1. Introduction

L'incision des chenaux fluviaux, bien qu'elle fasse partie du fonctionnement naturel des cours d'eau, s'est accélérée brutalement depuis la seconde moitié du XX^e siècle dans les rivières européennes [10]. Le chenal principal de la Loire moyenne (France) en est un exemple, ce qui représente la conséquence de l'endiguement, de la présence d'ouvrages de navigation et de l'extraction massive de granulats entre 1945 et 1980 [1]. De nombreux dysfonctionnements en résultent, dont l'abandon croissant des chenaux secondaires par les eaux, leur colonisation par la végétation ligneuse pionnière (*Populus nigra* L.) et leur colmatage sédimentaire. Quelles sont les quantités de sédiments déposés ou évacués à la faveur des crues de différentes amplitudes ? Existe-t-il des zones préférentielles de stockage ou déstockage ? Une variabilité du processus de colmatage est-elle discernable à l'échelle pluriannuelle ? Quel est l'impact du développement végétal sur le comblement des chenaux et, par réaction, l'influence de ce colmatage sur la végétalisation ? Nous tentons de répondre à ces questions grâce à un suivi topographique, en analysant la disposition et l'importance des zones d'accumulation et d'érosion au sein d'un chenal secondaire. Ce dernier, dont la configuration morphologique est représentative de celle des annexes hydrauliques de la Loire moyenne, se situe sur la commune de Bréhémont (Indre-et-Loire).

2. Site d'étude

Le site se localise en rive gauche de la Loire, à 30 km à l'aval de Tours, près de Bréhémont (00°21'23"E ; 47°17'45"N). Le débit moyen interannuel à la station de Tours est de 374 m³ s⁻¹, le débit des crues biennales d'environ 1500 m³ s⁻¹ et celui des décennales de 2300 m³ s⁻¹ (données Banque hydrologique, DIREN Centre). Dans le secteur de Bréhémont, la largeur du lit endigué est d'environ 700 m, celle du chenal principal varie entre 175 et 300 m, et la pente est de l'ordre de 0,3‰. Le style fluvial en anabranches de la Loire [4,9] est caractérisé par un chenal principal en tresses reporté en rive droite et par trois chenaux secondaires (A, B et C) séparés par des îles végétalisées pérennes, situées en rive gauche (Fig. 1a).

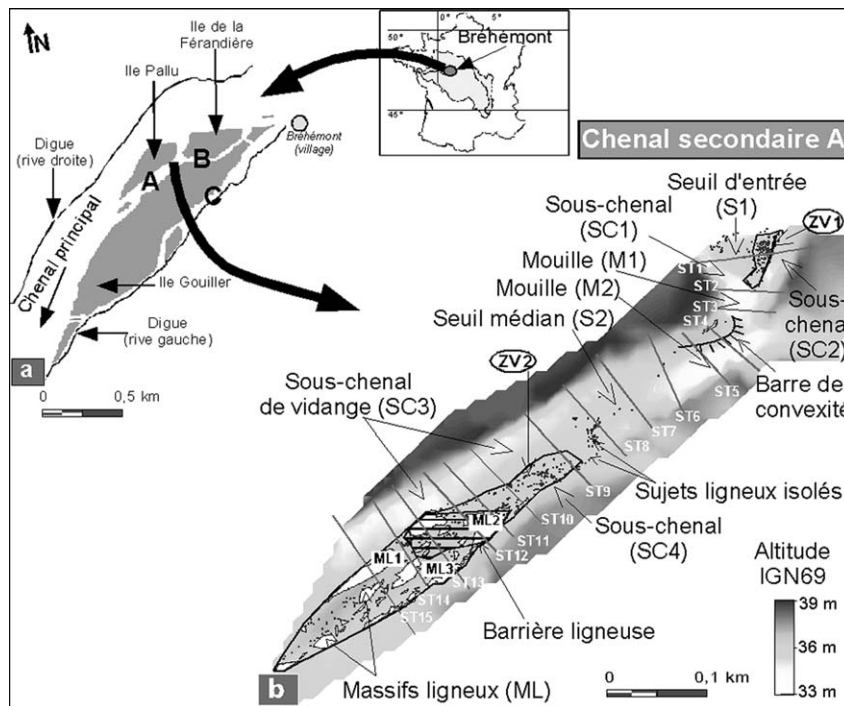


Fig. 1. Le site d'étude : (a) localisation dans le bassin versant de la Loire et disposition des îles, du chenal principal et des chenaux secondaires A, B et C ; (b) configuration morphologique du chenal secondaire A et localisation des sections topographiques (ST1 à 15).

Fig. 1. Study site: (a) location in the Loire River catchment area and configuration of islands, main channel and secondary channels A, B and C; (b) morphological configuration of secondary channel A and location of cross-sections (ST1 to 15).

Les îles sont occupées par des boisements denses et leurs berges montrent souvent la transition entre des forêts de bois tendres (*Populus nigra* L, *Salix* spp) et celles de bois durs (*Ulmus* spp, *Fraxinus* spp, *Quercus robur* L.); le fond des chenaux secondaires est colonisé par des saulaies-peupleraies à *Populus nigra* L [2].

Les chenaux secondaires A, B et C sont exondés une grande partie de l'année ; leur inondation survient lors des crues, bien que l'eau de la nappe alluviale affleure toute l'année dans des « mouilles » (fosses localisées). Le chenal secondaire A est long d'environ 650 m, pour une largeur maximale de 120 m. Il est constitué de différentes unités morphologiques (Fig. 1b). Le seuil d'entrée (S1) est bordé de sous-chenaux (SC1 et SC2) inondés lors des faibles crues et comporte une zone colonisée par des peupliers d'une hauteur inférieure à 15 m (ZV1). Deux mouilles (M1 et M2) se localisent à l'aval du seuil, dans une zone

où la largeur de la section d'écoulement diminue. M2 est une mouille de confluence, flanquée en rive droite d'une barre de convexité. À partir du seuil topographique médian (S2), le chenal acquiert une morphologie asymétrique : un sous-chenal de vidange (SC3), localisé en rive droite longe une zone plus haute et végétalisée (ZV2). Cette colonisation est éparse à l'amont et dense à l'aval ; la séparation entre ces aires végétales est soulignée par une « barrière ligneuse », qui regroupe plusieurs massifs. En rive gauche, un sous-chenal en cours de comblement (SC4) est présent. En 1995, le chenal secondaire A a subi des travaux, au cours desquels la végétation ligneuse a été détruite, à l'exception des massifs ligneux ML1, 2 et 3. Lors des crues, la connexion amont-aval du chenal est conditionnée par le seuil médian (S2), dont la submersion débute à partir de $650 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ à Langeais. Dans ce travail, sont considérées comme modérées les crues dont le débit maximum est inférieur à $1100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ et

comme importantes celles dont le débit à Langeais excède cette valeur.

3. Méthodologie

Le suivi de l'évolution topographique du chenal A a été réalisé à l'aide d'un théodolite électronique, selon quinze sections transversales fixes (Fig. 1b) et selon des semis de points tenant compte des ruptures de pentes. Ces levés, réalisés après les périodes de submersion du chenal, ont été comparés entre eux et avec un levé réalisé en 1994 (L1, Fig. 2).

Les levés ont été effectués après des crues de durée importante (L2, L4), pour lesquelles les débits maximum ont atteint 2980 et $2690 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ou à la suite de crues modérées (débit maximum de $940 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), pour lesquelles les zones végétalisées n'ont pas été inondées (L3). Afin d'appréhender les cycles érosion-dépôt au cours d'une même crue, entre L3 et L4, 31 chaînes d'érosion ont été implantées au sein du chenal (ces dispositifs permettent de mesurer, en un point, l'épaisseur de sédiments érodés, ainsi que celle du dépôt subséquent [6]).

La détermination des volumes érodés par section (VES) ou déposés (VDS) entre deux surfaces topographiques établies par des levés successifs a été réalisée en deux étapes. Dans un premier temps, le calcul des différences d'altitude entre deux levés, selon des incréments de $0,1 \text{ m}$ (Fig. 3), a été réalisé à l'aide d'un programme informatique qui a permis de calculer les surfaces verticales négatives et positives comprises entre deux levés [7]. L'approximation des volumes de sédiments érodés et déposés est calculée pour une bande large de 1 m . Ainsi, le volume est négatif (volume érodé par section, VES), lorsque la surface topographique récente est plus basse que la surface topographique ancienne, et il est positif (volume déposé par section, VDS) dans le cas contraire.

Les semis de points et sections ont fait l'objet d'une interpolation linéaire, qui consiste à relier les points par des triangles (triangulation de Delaunay) [5]. Les grilles obtenues ont été soustraites, afin d'obtenir les volumes érodés et déposés. Les fonds des « mouilles » (véritables pièges à sédiments), où la collecte de données était difficile du fait de la présence d'eau, ont été exclus de ces calculs. Les volumes estimés à partir de ces grilles sont (1) le volume relatif à la surface inon-

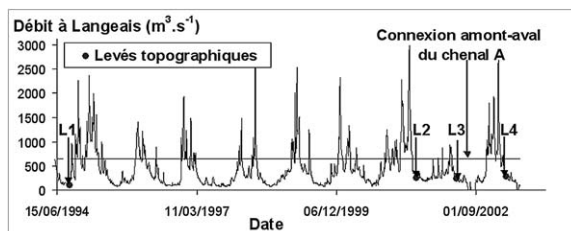


Fig. 2. Chronique des débits à la station de Langeais (4,5 km à l'amont du site) entre 1994 et 2003.

Fig. 2. Hydrograph at the gauging station of Langeais (4.5 km upstream the study site) between 1994 and 2003.

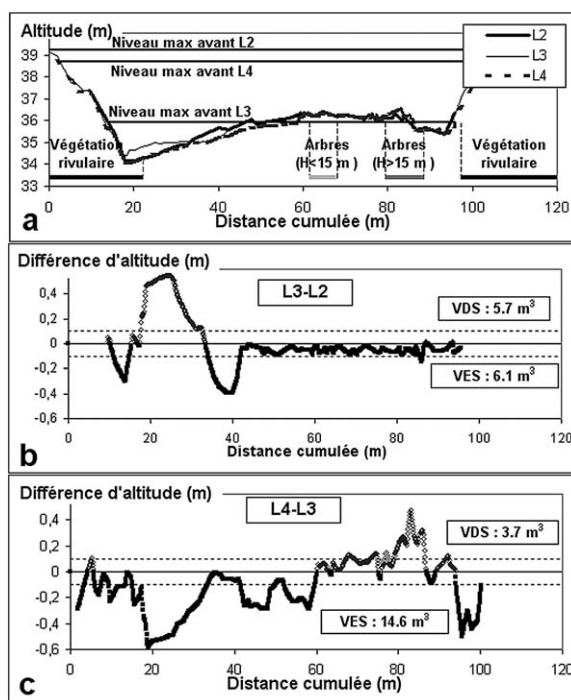


Fig. 3. Exemple de section topographique (ST10) : (a) levés L2, L3 et L4, (b) différentiel topographique entre L3 et L2, (c) différentiel topographique entre L4 et L3.

Fig. 3. Example of the cross-section ST10: (a) surveys L2, L3 and L4, (b) elevation variation between L3 and L2, (c) elevation variation between L4 and L3.

dée entre deux levés consécutifs ou volume différentiel total (VDT), (2) le volume calculé sur la surface systématiquement inondée lors de la connexion amont-aval, qui exclut les berges et la zone végétalisée ZV2; c'est un volume calculé sur une iso-surface (VIS).

4. Évolution topographique au cours des crues

4.1. Évolution longitudinale des volumes érodés et déposés par section

Les crues modérées survenues entre les levés L2 et L3 se sont soldées par des VES importants à l'amont, qui diminuent ensuite fortement et redeviennent importants à partir de ST8 (Fig. 4a). Les VDS sont faibles sur l'ensemble du chenal. Entre L4 et L3, l'érosion notée sur ST1 traduit le recul de la berge de l'île Pallu (Fig. 5). Les VES, faibles de ST3 à 7, deviennent substantiels à partir de ST8. Les forts VDS visibles sur ST3 traduisent la mise en place d'une barre de confluence [11]. Le bilan (L4–L2) montre que les VES diminuent de ST1 à 3 et qu'ils sont importants entre ST8 et 13. Entre ST5 et 15, les VDS sont constants.

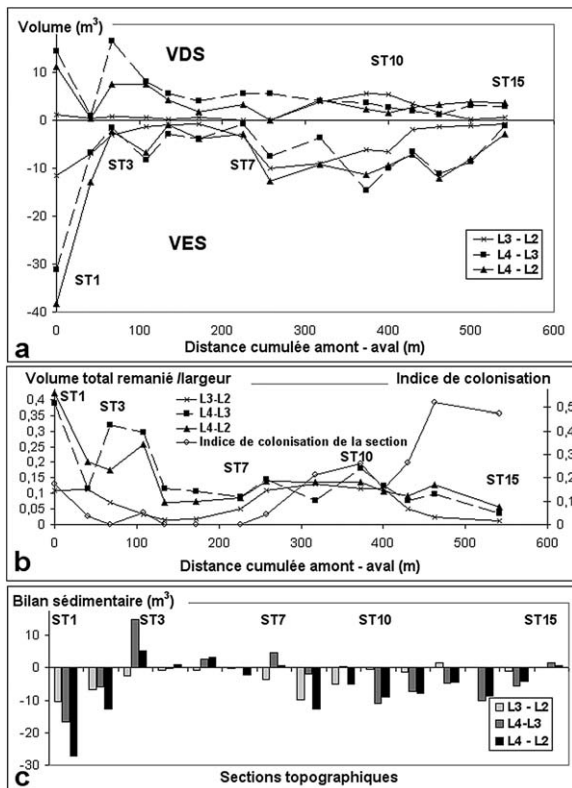


Fig. 4. Évolution longitudinale des volumes (a, b) et des bilans sédimentaires par section transversale (c).

Fig. 4. Longitudinal evolution of volumes (a, b) and sedimentary budgets on each cross-section (c).

Le volume total remanié par section $|VDS + VES|$, a été rapporté à la largeur de la section et mis en relation avec un indice de colonisation végétale, qui correspond au rapport entre le linéaire végétalisé de la section et sa largeur (Fig. 4b). Le linéaire végétalisé a été obtenu par projection orthogonale des sujets présents sur une bande de 2 m, localisée de part et d'autre de la section. ST14 a été écartée, car les levés n'ont pu être réalisés jusqu'à la berge de rive gauche (végétation trop dense). Le chenal secondaire A peut être divisé en (1) une zone amont (de 0 à 135 m), où la dynamique sédimentaire importante est traduite par de fortes valeurs du rapport entre le volume total remanié et la largeur de la section, (2) une zone centrale (135 à 400 m), divisée en deux sous-parties : de ST5 à ST7 (dynamique sédimentaire faible) et de ST7 à ST11 (volumes remaniés plus importants), (3) une zone aval (400 et 550 m), où les volumes remaniés baissent à nouveau. Ces trois zones correspondent à des implantations végétales différentes. Dans la zone amont, les végétaux sont présents dans ZV1 mais peu implantés entre ST2 et ST4. Dans la partie centrale, la végétation apparaît à partir de ST8 et est composée de peupliers dont la hauteur est inférieure à 15 m. À partir de ST11, les sections deviennent fortement asymétriques et la présence végétale est maximale (arbres dont la hauteur excède 15 m, arbustes et herbacées).

Nos observations de terrain et l'analyse diachronique des sections ST1 et 2 montrent que le bilan sédimentaire négatif dans la zone amont (Fig. 4c) reflète l'érosion frontale importante de la berge de l'île Pallu, mais pas du plancher alluvial. La zone comprise entre ST8 et ST15 montre une forte érosion du sous-chenal de vidange (SC3). Entre ST4 et ST7, les bilans équilibrés indiquent une tendance à l'érosion lors des crues modérées et au dépôt lors des crues importantes.

4.2. Définition et quantification des zones d'érosion et de dépôt

Entre les levés L1 et L2, le chenal est affecté par la sédimentation d'environ 5770 m³ d'alluvions, dont l'essentiel s'est déposé dans la zone végétalisée ZV2 et sur les berges (Figs. 5 et 6). Des dépôts importants apparaissent aussi sur la barre de convexité et sur le seuil S1, alors que le sous-chenal SC3 s'incise. L'exhaussement du lit dans ZV2 n'est pas attribuable aux travaux d'entretien de 1995, qui ont eu pour but de

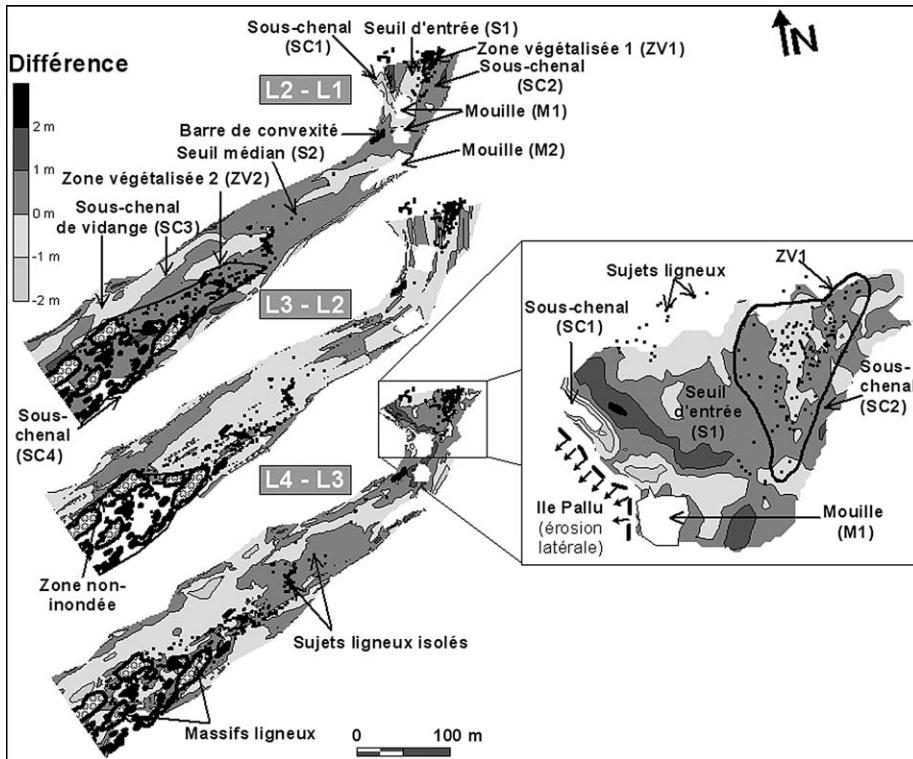


Fig. 5. Cartes topographiques différentielles du chenal secondaire A.

Fig. 5. Differential topographic maps of secondary channel A.

favoriser les écoulements. Entre L2 et L3, le chenal a surtout fait l'objet d'érosion (-2031 m^3). Le dépôt et l'érosion perceptibles dans le sous-chenal de vidange (SC3) traduisent la retouche des sédiments déposés dans cette unité lors de crues précédentes. Entre L3 et L4 s'est opérée une érosion d'environ -1778 m^3 (Fig. 6). Entre 1994 et 2001, les crues ont favorisé le dépôt de sédiments, alors qu'elles se sont traduites par un bilan sédimentaire négatif entre 2001 et 2003 (Fig. 6). À l'échelle décennale (entre L1 et L4), le bilan sédimentaire est faiblement excédentaire (1959 m^3). Ceci montre que les observations réalisées sur une seule crue ne permettent pas d'appréhender le fonctionnement du système et souligne l'importance du recul temporel.

Dans le secteur amont, le recul de la berge de l'île Pallu induit la migration vers l'ouest du sous-chenal SC1, avec comblement de l'ancien thalweg (Fig. 5). Les autres aires de dépôt sont la barre de convexité, le seuil médian S2 et la zone ZV2. Entre les massifs de

la barrière ligneuse, la tendance est à l'érosion. Bien que les bilans sédimentaires calculés par L3–L2 et par L4–L3 soient du même ordre, les volumes érodés et déposés relatifs à la surface inondée entre deux levés sont plus faibles entre L3 et L2. Ceci s'explique par l'inondation seulement partielle du chenal lors des crues modérées qui ont précédé le levé L3. Sur le seuil d'entrée (S1), les bilans sédimentaires dépendent de la prise en compte, ou non, de l'érosion de l'île Pallu. Entre L3 et L1, l'érosion estimée à -1850 m^3 n'est plus que de -450 m^3 lorsque le recul de la berge n'est pas pris en compte. Entre L4 et L3, le dépôt constaté est chiffré à 550 m^3 avec les berges et de 690 m^3 sans ces dernières. La zone ZV1, qui a favorisé le dépôt de sédiments à l'aval, est caractérisée par des modifications mineures.

Les chaînes d'érosion installées entre les levés L4 et L3 montrent (1) qu'une forte dynamique sédimentaire s'exerce dans le secteur du seuil S1, mais pas dans ZV1, (2) que le remaniement des sédiments est

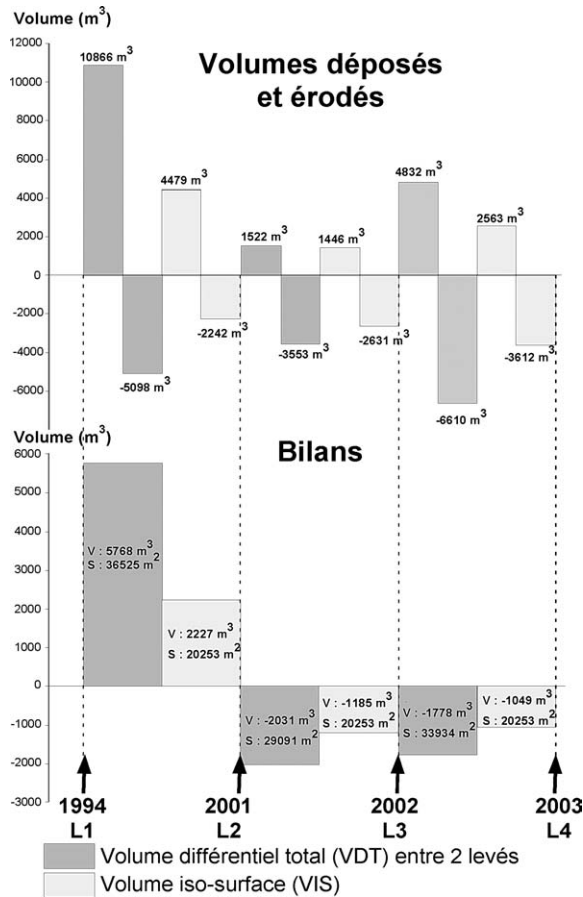


Fig. 6. Volumes sédimentaires érodés ou déposés entre les levés topographiques. V : volume, S : surface de calcul.

Fig. 6. Eroded or deposited sedimentary volumes between surveys. V : volume, S : calculation surface.

faible au sein des zones végétalisées, plutôt soumises au dépôt de quantités réduites de sédiments, (3) que les épaisseurs de sédiments érodés et déposés sur le seuil médian S2 et dans la barre de convexité sont du même ordre, (4) que l'érosion domine dans SC3.

5. Vers une accentuation de l'asymétrie du chenal

Les VES suivent la même tendance entre crues modérées et importantes, alors que les VDS sont différents selon le type d'événement. Pour les crues modérées survenues avant L3, les faibles valeurs de VDS entre ST1 et 7 deviennent importantes entre ST9 et ST12 (Fig. 4a). Lors des crues importantes (après L4),

les VDS d'environ 12 m³ à l'amont traduisent le dépôt massif de sédiments en provenance du chenal principal. Les volumes remaniés rapportés à la largeur sont, pour l'ensemble des crues considérées, importants à l'amont et entre ST8 et ST11 (Fig. 4b). Dans ces zones, le bilan sédimentaire est déficitaire : l'érosion survient dans le sous-chenal de vidange (SC3), alors que les dépôts (plus faibles) surviennent dans les zones végétalisées. Les sédiments déposés dans ces aires constituent un gain sédimentaire lent, inéluclable, et difficilement remobilisable, du fait de leur fixation par la végétation [8] et de la réduction des vitesses d'écoulement qu'elle induit [11]. Au contraire, les volumes plus importants remaniés dans SC3 reflètent le transit. Ainsi, malgré un bilan sédimentaire faiblement positif à l'échelle décennale (entre L1 et L4), la géométrie des formes du chenal évolue.

Les crues modérées favorisent la retouche des sédiments stockés sur les seuils 1 et 2 et le remaniement des sédiments du sous-chenal de vidange (SC3). En revanche, les zones végétalisées, non inondées, ne sont affectées par aucun remaniement sédimentaire. Les crues modérées entretiennent donc la morphologie asymétrique du chenal secondaire. Les crues importantes favorisent le remaniement des réserves de sédiments constituées par les seuils et la barre de convexité. Dans la zone aval, elles se traduisent par un dépôt dans les zones végétalisées (ZV2) et par la chasse dans SC3. Elles contribuent donc également au développement d'une morphologie asymétrique du chenal.

Dans la zone centrale, la végétation qui fixe les sédiments en rive gauche semble influencer les remaniements dans SC3 par déflexion des courants vers ce sous-chenal. Dans la zone aval, la fixation des sédiments par l'importante surface végétalisée explique les faibles valeurs du rapport volume remanié total sur largeur (Fig. 4b). En rétroaction, le stockage sédimentaire dans cette zone favorise son exhaussement vis-à-vis du sous-chenal de vidange SC3 et module les flux liquides et particulaires par une déflexion de plus en plus marquée des écoulements et par une réduction de leur vitesse (Rodrigues et al., en préparation). Cette évolution, qui rappelle les phases de rétrécissement des chenaux décrits dans d'autres contextes alluviaux [3], devrait aboutir au rattachement de la zone végétalisée ZV2 à la berge de rive gauche ou à la naissance d'une île.

6. Conclusions

Cette étude constitue une avancée vers l'identification et la quantification des volumes sédimentaires érodés et déposés au sein des chenaux secondaires de la Loire lors des crues. Elle montre (1) la variabilité du processus de comblement de ces annexes hydrauliques selon l'échelle de temps considérée (annuelle et pluriannuelle); (2) que les crues, modérées ou importantes, renforcent la morphologie asymétrique du chenal, phénomène modulé par les paramètres intensité, durée et fréquence des épisodes de crues; (3) que la végétation implantée sur les zones surélevées favorise le dépôt et l'archivage sédimentaire, alors que les sous-chenaux, qui sont sujets à des remaniements systématiques survenant lors des crues, constituent des «gouttières» d'évacuation préférentielle des flux liquides et solides.

Remerciements

Sont remerciés pour leur soutien logistique et financier : la DIREN Centre, la région Centre et l'ADESVV de Chinon. Nos sincères remerciements vont à P. Jugé (ADESVV) pour son aide sur le terrain. S. Salvador-Blanes (université de Tours) et deux correcteurs anonymes sont remerciés pour leurs remarques constructives.

Références

- [1] P. Belleudy, Restoring flow capacity in the Loire river bed, *Hydrol. Proc.* 14 (2000) 2331–2344.
- [2] T. Cornier, La végétation alluviale de la Loire entre le Charolais et l'Anjou : essai de modélisation de l'hydrosystème, thèse 3^e cycle, université de Tours, 2002.
- [3] J.M. Friedman, W.R. Osterkamp, W.M. Lewis, The role of vegetation and bed-level fluctuations in the process of channel narrowing, *Geomorphology* 14 (1996) 341–351.
- [4] E. Gautier, H. Piégay, P. Bertaina, A methodological approach of fluvial dynamics oriented towards hydrosystem management: case study of the Loire and Allier rivers, *Geodin. Acta* 1 (2000) 29–43.
- [5] Golden software, *Surfer 7 user's guide*, Golden, 1999.
- [6] J.B. Laronne, D.N. Outhet, P.A. Carling, T.J. McCabe, Scour chain employment in gravel bed rivers, *Catena* 22 (1994) 299–306.
- [7] M.A. Madej, V. Ozaki, Channel response to sediment wave propagation and movement, Redwood Creek, California, USA, *Earth Surf. Proc. Landforms* 21 (1996) 911–927.
- [8] R. McKenney, R.B. Jacobson, R.C. Wertheimer, Woody vegetation and channel morphogenesis in low gradient, gravel-bed streams in the Ozark Plateaus, Missouri and Arkansas, *Geomorphology* 13 (1995) 175–198.
- [9] G.C. Nanson, A.D. Knighton, Anabranching rivers: their cause, character and classification, *Earth Surf. Proc. Landforms* 21 (1996) 217–239.
- [10] G. Petts, H. Moller, A.L. Roux, *Historical Change of Large Alluvial Rivers, Western Europe*, John Wiley and Sons, Chichester, UK, 1989.
- [11] S. Rodrigues, Dynamique sédimentaire et végétation : évolution de chenaux fluviaux en Loire moyenne (France), thèse 3^{ème} cycle, Université de Tours, 2004.