

Guide d'analyse de la dynamique du bois en rivière



ÉQUIPE DE RÉALISATION

Superviseur :	Maxime Boivin, Ph.D. géographie Hydrogéomorphologue, Université du Québec à Chicoutimi
	Thomas Buffin-Bélanger, Ph.D. géographie Hydrogéomorphologue, Université du Québec à Rimouski
Chargé de projet :	Maxime Maltais, M.Sc. géographie hydrogéomorphologue Université du Québec à Rimouski
Rédaction et analyse	Maxime Maltais, M.Sc. géographie hydrogéomorphologue Maxime Boivin, Ph.D. géographie hydrogéomorphologue Thomas Buffin-Bélanger, Ph.D. géographie hydrogéomorphologue
Collaborateur	Simon Massé, Candidat Ph.D. Sciences de l'environnement, Université du Québec à Rimouski
Cartographie et figures :	Maxime Maltais, M.Sc. géographie hydrogéomorphologue
Révision de fond :	Yves Briand, Biologiste et Co-directeur du Conseil de l'eau du nord de la Gaspésie Pascale Biron, Ph.D géographie Hydrogéomorphologue Université Concordia

Supports financiers :

- Conseil de l'eau du Nord de la Gaspésie
- Fondation de la Faune du Québec
- MITACS
- Université du Québec à Rimouski (UQAR)
- Laboratoire de géomorphologie et dynamique fluviale (UQAR)
- Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)
- Laboratoire d'expertise et de recherche en géographie appliquée (UQAC)

Remerciements : Ce guide a pu voir le jour grâce aux soutiens financiers du Fond Eau du Conseil de l'eau du nord de la Gaspésie et du Programme Mitacs pour le soutien à la recherche. Les contributions de la Fondation de la faune du Québec, de l'Université du Québec à Rimouski et de l'Université du Québec à Chicoutimi sont également à souligner. La professeure Pascale Biron de l'Université Concordia et Yves Briand du Conseil de l'eau du nord de la Gaspésie ont lu une première version de ce guide, leurs commentaires ont grandement contribué à rehausser la pertinence et la qualité du guide et nous les en remercions.

Bien que toutes les précautions aient été prises en vue de la préparation de ce guide et des indices d'aide à la décision, les auteurs ne pourront être tenus responsables pour toute erreur ou omission, ou pour les dommages entraînés par l'utilisation des informations contenues dans ce guide, ou par l'utilisation des indices d'aide à la décision qui peuvent l'accompagner. En aucun cas, les auteurs ne pourront être tenus responsables en cas de perte de profits ou tout autre dommage résultant, directement ou indirectement, de ce document. Le contenu peut être modifié sans avertissement préalable.

Veillez consulter le site Web suivant pour les versions à jour de ce guide et de l'indice :

<http://recherche.uqac.ca/lerga/guide-bois-en-riviere/>

Référence à citer :

Boivin M., Maltais M., et Buffin-Bélanger, T. 2019. Guide d'analyse de la dynamique du bois en rivière. Guide scientifique présenté au Conseil de l'eau du Nord de la Gaspésie et à la Fondation de la Faune du Québec. 97 pages + annexes.

Page de couverture : Un exemple d'accumulation de bois sur un banc d'accumulation de la rivière Saint-Jean, Gaspé, Québec, Canada.

Table des matières

I	Introduction	1
II	Les enjeux de gestion du bois en rivière	3
III	Notions d'hydrogéomorphologie	8
	<i>a. La dynamique fluviale</i>	<i>8</i>
	<i>b. Les styles fluviaux</i>	<i>10</i>
	<i>c. La segmentation fluviale</i>	<i>13</i>
	<i>d. La notion d'équilibre et la trajectoire géomorphologique</i>	<i>15</i>
IV	Le rôle du bois en rivière sur la dynamique et la biodiversité fluviale	21
	<i>a. Ralentissement de l'écoulement et sédimentation</i>	<i>21</i>
	<i>b. Accélération de l'écoulement et érosion</i>	<i>25</i>
	<i>c. Fonction écosystémique du bois en rivière</i>	<i>29</i>
V	L'influence globale du bois en rivière sur le système fluvial	34
	<i>a. La réponse hydrologique</i>	<i>34</i>
	<i>b. La réponse sédimentaire</i>	<i>35</i>
	<i>c. L'évolution du style fluvial ou le cycle du bois en rivière</i>	<i>36</i>
	<i>d. La notion d'échelle</i>	<i>38</i>
VI	Les bilans ligneux à l'échelle du corridor fluvial et du bassin versant	45
	<i>a. Recrutement du bois en rivière</i>	<i>48</i>
	<i>b. Transport</i>	<i>50</i>
	<i>c. Accumulation de bois en rivière</i>	<i>53</i>
VII	Les interventions dans un contexte de gestion	57
VIII	Études de cas	67
	<i>a. Le bilan ligneux, rivière Saint-Jean</i>	<i>67</i>
	<i>b. Distribution des volumes de bois et rôle morphologique du bois en rivière, rivière Mont-Louis</i>	<i>72</i>
	<i>c. Les interventions de démantèlement, rivière Neigette</i>	<i>78</i>
IX	Bibliographie	85
	Annexes	98

Annexe 1 : Questions pour l’outil d’aide à la décision pour la dynamique du bois en rivière	99
Annexe 2 : Outil d’aide à la décision pour la dynamique du bois en rivière.	103
Annexe 3 : Exemple d’une fiche de caractérisation des embâcles de bois en rivière	134
Annexe 4 : Glossaire géomorphologique	135

Manuscrit

Liste des figures

<i>Figure 1. Exemple d'embâcles majeurs sur la rivière Saint-Jean, Gaspé.</i>	<i>2</i>
<i>Figure 2. Fréquence relative des interventions portant sur le bois en milieu fluvial par les répondants au questionnaire.</i>	<i>6</i>
<i>Figure 3. Les composantes de la dynamique fluviale et les échelles d'analyse de ces composantes, inspirée par les travaux de Leeder (1983)³²</i>	<i>9</i>
<i>Figure 4. Classification des styles fluviaux selon Church 1992. (Adaptée de Church, 2006³³).....</i>	<i>11</i>
<i>Figure 5. Processus dominants et caractéristiques de la dynamique du bois en rivière selon le style fluvial.....</i>	<i>12</i>
<i>Figure 6. Schématisation d'un bassin versant sous forme de convoyeur (adaptée de Brierley et Fryirs, 2005³⁸)</i>	<i>14</i>
<i>Figure 7. Segmentation fluviale de la rivière Mont-Louis à partir de la largeur du cours d'eau. À noter que la variabilité temporelle de la largeur varie d'un tronçon à l'autre.....</i>	<i>15</i>
<i>Figure 8. Représentation de l'équilibre des cours d'eau selon Lane (1955)⁴¹</i>	<i>16</i>
<i>Figure 9. Schématisation de la trajectoire hydrogéomorphologique (adaptée de Dufour et Piégay, 2009⁴²)</i>	<i>18</i>
<i>Figure 10. Exemple d'analyse de la trajectoire hydrogéomorphologique de la rivière Mont-Louis</i>	<i>19</i>
<i>Figure 11. A) Rehaussement du niveau d'eau et accumulation de sédiments causés par la présence d'un embâcle de bois (Therrien, 1997¹) et; B) exemple sur la rivière À Pierre, Mont-Saint-Pierre, Gaspésie.....</i>	<i>22</i>
<i>Figure 12. a) Vue en plan d'un embâcle redirigeant l'écoulement, b) accumulation de sédiments en aval de l'embâcle dans une zone de basses vitesses (adaptée de Abbe et Montgomery, 2003⁴⁴)</i>	<i>23</i>
<i>Figure 13. a) redistribution des forces hydrauliques par un tronç clé, les (+) indique une augmentation des vitesses, les (-) indiquent une diminution des vitesses b) formation d'un embâcle stable et d'un banc d'accumulation central en aval, c) formation d'un îlot végétalisé, d) incorporation de l'îlot végétalisé à la plaine alluviale (Abbe et Montgomery, 1996⁵⁷).....</i>	<i>24</i>
<i>Figure 14. a) Surcreusement sous un bois individuel, accumulation en aval b) surcreusement en aval du bois, accumulation en amont c) Bois individuel redirigeant l'écoulement sur la berge opposée causant de l'érosion et accumulation en aval (Dodd et al., 2016⁶¹)</i>	<i>25</i>
<i>Figure 15. a) vue en plan d'un embâcle central, b) coupe longitudinale d'un embâcle central, c) séparation de l'écoulement et élargissement du chenal (adaptée de Abbe et Montgomery, 2003⁴⁴).....</i>	<i>26</i>
<i>Figure 16. Exemple d'embâcles positionnés dans la portion concave d'un méandre protégeant la berge de l'érosion et redirigeant l'écoulement au centre du chenal. Rivière Mont-Louis, Gaspésie</i>	<i>27</i>
<i>Figure 17. A) Influence du bois en rivière sur la réponse hydrologique d'un cours d'eau (adaptée de Kitts, 2010⁹⁷) et; B) Représentation conceptuelle d'un diagramme de crues (rouge: crue sans bois; vert: crue avec bois</i>	<i>34</i>

Figure 18. Exemple de bois produits par la migration latérale d'un cours d'eau. Rivière Saint-Jean, Gaspé.....	36
Figure 19. Cycle de la plaine alluviale (adaptée de Collins et al. ⁴⁷)	37
Figure 20. a) Coupe schématisée d'une plaine alluviale (adaptée de Collins et al. ⁴⁷); b) représentation de la coupe sur la rivière de Mont-Louis.	38
Figure 21. Variation des mécanismes de production et d'exportation du bois en rivière en fonction de la position sur le bassin versant (adaptée de Keller et Swanson, ⁴³ , dans Gurnell, ⁵⁸)	41
Figure 22. Facteurs de contrôle de la mobilité du bois en fonction de la taille du cours d'eau (adaptée de Gurnell et al. ⁵)	42
Figure 23. Schématisation des échelles d'analyses de la dynamique du bois en rivière (adaptée de Wohl et al. ⁷⁶).....	43
Figure 24. Représentation des principales composantes de la dynamique du bois en rivière à l'échelle du bassin versant. Vp : volumes produits, Vt : volumes transportés, Va : volumes accumulés et Ve : Volumes exportés (Boivin et Buffin-Bélanger ²⁹)	45
Figure 25. Exemple d'accumulation majeure limitant le transport de bois à l'extérieur d'un bassin versant, Rivière Saint-Jean, Gaspé.....	46
Figure 26. Exemple de segmentation fluviale en lien avec la dynamique du bois en rivière. Rivière Saint-Jean, Gaspé.	47
Figure 27. Recrutement de bois par migration latérale du cours d'eau (adaptée de Abbe, 2000 ¹¹³ par Boivin et Buffin-Bélanger, 2010 ²⁹).....	49
Figure 28. Transport de bois durant un évènement de débâcle mécanique des glaces (A et B) et durant une crue printanière (C et D) (Boivin ¹³⁰).	52
Figure 29. Représentation des niveaux d'eau atteints lors d'une débâcle glacielle (adaptée de Boivin et al. ²⁷)	53
Figure 30. a) embâcle total obstruant l'entièreté d'un chenal, b) embâcle partiel obstruant le chenal en partie.....	54
Figure 31. Typologie des embâcles de bois en rivière (Abbe et Montgomery ⁴⁴)	54
Figure 32. a) formation d'un embâcle à partir d'un tronc clé, b) formation d'embâcle in situ dans un chenal de moins de 10 mètres, c) formation d'un embâcle de transport sur un banc d'accumulation, d) formation d'un embâcle de transport dans un méandre brusque. Les flèches rouges représentent la direction de l'écoulement.....	55
Figure 33. Exemple d'accumulation de bois sur deux bancs d'accumulation et sur une plaine alluviale. Rivière Saint-Jean, Gaspé.	56
Figure 34. Exemple de résultats obtenu par l'outil d'aide à la décision..	65
Figure 35. a) superposition des tracés de 1975 et 1981, b) identification des surfaces érodées ..	68
Figure 36. a) embâcle composé de bois ancien, b) bois récemment recruté.....	69
Figure 37. a) schématisation de la mesure d'un embâcle, b) représentation de la mesure sur le terrain (adaptée de Thévenet et al., 1998 ⁹ et Boivin, 2016 ¹³⁰).....	70
Figure 38. Distribution des volumes de bois sur la rivière Saint-Jean (adaptée de Boivin 2016 ¹³⁰)72	
Figure 39. Segmentation de la rivière Mont-Louis. a) secteur linéaire, b) secteur divagant, c) secteur à méandres stables, d) secteur estuarien.	74

<i>Figure 40. Nombre et volumes des embâcles de bois selon les styles fluviaux, a) secteur linéaire, b) secteur divagant, c) secteur à méandres stables, d) secteur estuarien.</i>	<i>75</i>
<i>Figure 41. Évolution interannuelle de la morphologie du lit de la rivière Mont-Louis suite à la perte de bois, tronçon divagant, a) incision du chenal en amont, b) formation du chenal de dissection</i>	<i>76</i>
<i>Figure 42. Évolution interannuelle de la morphologie du lit de la rivière Mont-Louis suite à l'addition de bois, tronçon à méandres dynamique, a) engraissement d'un banc d'accumulation, b) augmentation de la superficie d'une fosse.....</i>	<i>77</i>
<i>Figure 43. Localisation de la rivière Neigette</i>	<i>79</i>
<i>Figure 44. Variation interannuelle de la topographie du lit près de l'embâcle 12010</i>	<i>80</i>
<i>Figure 45. Variation interannuelle de la topographie du lit près de l'embâcle 8205</i>	<i>81</i>
<i>Figure 46. Comblement de la fosse suite au démantèlement (Massé, 2014³⁰)</i>	<i>82</i>
<i>Figure 47. Variation interannuelle de la topographie du lit près de l'embâcle 10930</i>	<i>83</i>
<i>Figure 4. Représentation d'un environnement fluvial avec aucun corridor ou un corridor étroit pour la mobilité du cours d'eau et exemple avec un corridor large où la rivière peut se déplacer sans nuire aux infrastructures (modifiée de France Nature Environnement Languedoc-Roussillon, 2016).....</i>	<i>123</i>

Liste des Tableaux

<i>Tableau 1. Éventail d'actions possibles pour une gestion durable des bois en rivière (adapté de Wohl et al.⁷⁶)</i>	59
<i>Tableau 2. Ouvrages de référence sur la gestion du bois en rivière. Contenu ; 1: aménagements, 2: Études de cas, 3: réintroduction de bois, 4: guide technique</i>	60
<i>Tableau 3. Les quatre composantes de l'outil d'aide à la décision sur la dynamique fluviale et du bois en rivière</i>	63
<i>Tableau 4. Exemple de mesures de la densité sur une parcelle de 15 mètres par 15 mètres</i>	68
<i>Tableau 5. Évolution des volumes de bois produits, exportés et stockés à travers le temps (adapté de Boivin, 2016¹³⁰)</i>	72

I Introduction

Le bois en rivière pose de nombreux défis aux personnes responsables d'assurer la gestion des rivières, notamment lorsqu'il est question de trouver un équilibre entre les risques (inondations, érosion, sécurité des personnes et des infrastructures) et les services écosystémiques induits par la présence de bois. Il importe de développer une compréhension holistique des environnements fluviaux exposés à la dynamique du bois en rivière pour orienter l'analyse, la prise de décision et pour cibler les actions les plus efficaces et pérennes possibles.

Ce guide se propose d'offrir aux gestionnaires des cours d'eau un ouvrage de référence exposant des connaissances scientifiques récentes concernant la dynamique du bois en rivière ainsi qu'une clé d'évaluation des dynamiques fluviales et de leur sensibilité à la présence de bois (Annexe 1 et 2). Il constitue ainsi un outil d'information, de sensibilisation, d'interprétation et d'accompagnement pour mieux cerner les effets du bois dans les cours d'eau du Québec.

Ce guide a pour objectif de soutenir les personnes responsables d'assurer la gestion des cours d'eau ainsi que des écosystèmes aquatiques et riverains dans la prise de décision en considération des effets indésirables possibles, mais aussi des opportunités que le bois en rivière présente. Il s'agit d'un ouvrage complémentaire à utiliser en amont du guide technique sur le démantèlement d'embâcles¹ et dans la continuité du rapport scientifique sur la restauration de l'habitat du poisson en rivière² publiés par la Fondation de la Faune du Québec.

Dans le contexte des politiques et règlements du Québec, le présent guide ne représente en rien un document légal, mais vise plutôt à synthétiser et à vulgariser les connaissances actuelles sur la dynamique du bois en milieu fluvial en (i) proposant une base théorique commune à l'ensemble des acteurs de l'eau; (ii) soulignant les services géomorphologiques et écosystémiques rendus par les embâcles des bois et; (iii) exposant différentes initiatives visant à la fois la préservation du bois en rivière et la sécurité publique. Le peu d'information et d'intérêt, mais surtout le manque d'outils pour cerner la dynamique des embâcles de bois a pour effet de renforcer le « nettoyage » du bois dans les cours d'eau, car les effets indésirables du bois en rivière sont plus facilement perceptibles que les avantages qu'ils procurent. Avec ce guide, les acteurs de l'eau bénéficieront d'un éventail de connaissances et d'actions à envisager lorsqu'une prise de décision s'impose. Il présente la dynamique fluviale et la dynamique du bois

en rivière à différentes échelles de temps et d'espace pour mieux saisir les enjeux liés à la gestion du bois en rivière. Le second chapitre expose un contexte historique de la présence de bois en rivière et discute des résultats d'une enquête réalisée auprès des acteurs de l'eau pour cerner la diversité des enjeux liés à la dynamique du bois en rivière. Le troisième chapitre présente des concepts clés issus de l'hydrogéomorphologie et illustre leur importance pour la compréhension de la dynamique du bois en rivière. Les trois chapitres suivants présentent des composantes clés de la compréhension de la présence du bois en rivière de l'échelle de l'embâcle sur une berge ou un banc d'accumulation jusqu'à l'échelle du bilan ligneux dans un bassin versant. Le septième chapitre discute des actions possibles et de leurs conséquences et présente un outil éclairant la prise de décision en lien avec la présence de bois dans un cours d'eau. Le guide se termine sur un chapitre illustrant et discutant de trois études de cas issues de travaux réalisés dans trois rivières de l'Est-du-Québec. Ces études de cas utilisent et illustrent les concepts théoriques présentés dans les chapitres précédents.



Figure 1. Exemple d'embâcles majeurs sur la rivière Saint-Jean, Gaspé.

II Les enjeux de gestion du bois en rivière

a. Contextes historique et politique

Depuis les années 1970, les effets du bois sur la dynamique des rivières et les écosystèmes fluviaux retiennent l'attention de chercheurs dans l'Ouest américain et canadien, où les cours d'eau ont été moins perturbés dû à la colonisation plus tardive du territoire³. En Amérique du Nord, c'est vers la fin du XIX^e siècle que des efforts visant à retirer le bois des cours d'eau ont été déployés jusque sur la côte ouest-américaine⁴. Les motivations justifiant le démantèlement des embâcles et le retrait du bois varient, mais s'articulent autour des aménagements permettant l'occupation d'un nouveau territoire tel que la construction de barrages ou l'entretien des voies navigables. Ce sont d'ailleurs les écrits qui témoignent de ces travaux qui, à la fin du XX^e siècle, soulèvent des interrogations auprès de la communauté scientifique. Les premières recherches sur le bois en milieu fluvial ont porté sur le rôle écosystémique des embâcles dans les cours d'eau en considérant la forte relation entre la présence de bois et l'abondance et la diversité de poissons. Les géomorphologues ont permis d'établir un lien entre bois en rivière et habitat faunique en décrivant la manière dont les processus et les formes fluviales sont modifiés par la présence de bois et comment cette dynamique permet de créer de nouveaux habitats. Ces recherches ont surtout été articulées autour des effets du bois sur la structure de l'écoulement, de la dynamique sédimentaire et de l'influence morphologique des embâcles⁵.

L'analyse de la dynamique du bois en rivière est aujourd'hui largement répandue en Europe^{6,7,8,9,10}, au Japon^{11,12,13,14,15}, en Australie¹⁶ ainsi que dans le Nord canadien¹⁷. Les connaissances acquises ont percolé vers les sphères de gestion des cours d'eau de manière si efficace que des aménagements réalisés à partir de bois sont aujourd'hui effectués afin d'optimiser les effets de protection des berges, d'écêtement des crues et pour la création d'habitats. La réintroduction de bois dans les rivières fait notamment partie des outils fréquemment utilisés pour la restauration des systèmes fluviaux^{18,19,20,21}. De nombreux services écosystémiques sont offerts par le bois en rivière et des travaux récents de la communauté scientifique du Québec tendent à les mettre en lumière. Au cours de la dernière décennie, des travaux d'analyses et de gestion des embâcles (Figure 1) ont été réalisés par certaines firmes environnementales^{22,23,24} et des recherches universitaires ont émergés dans l'est de la province^{25,26,27,28,29,30}. Ces travaux

permettent d'une part de fournir de l'information originale et spécifique aux rivières du Québec et d'autre part, de les positionner à travers la littérature existante, car celle-ci regorge d'informations décrivant en détail les impacts possibles du bois et des embâcles sur les cours d'eau. Or, ces conséquences sont variées, parfois opposées, et il est nécessaire de saisir la manière dont se manifestent les interactions entre cours d'eau et bois en rivière sur son territoire.

Au Québec, plusieurs politiques et règlements impliquent une composante de la dynamique du bois en rivière. Par exemple, la « Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables » (PPRLPI) suggère la mise en place d'une bande riveraine de 10 à 15 mètres de large en bordure des cours d'eau en vue de favoriser le maintien des écosystèmes aquatiques et riverains ainsi que pour lutter contre l'érosion excessive et les inondation³¹. Dans les rivières à forte mobilité, la migration latérale a pour effet d'arracher une portion de la berge sur laquelle évolue une végétation arborescente et d'introduire dans le système, une quantité plus ou moins grande de bois. Dans le contexte où la bande riveraine est mise de l'avant comme outil de gestion et d'aménagement, il est inévitable, naturel et favorable de trouver des arbres morts dans les cours d'eau. Toutefois, la perception négative dont héritent les embâcles de bois ainsi que la Loi sur les compétences municipales incitent les municipalités à retirer le bois des cours d'eau (L.R.Q., C-47.1). L'article 105 stipule que « toute municipalité régionale de comté (MRC) doit réaliser les travaux requis pour rétablir l'écoulement normal des eaux d'un cours d'eau lorsqu'elle est informée de la présence d'une obstruction qui menace la sécurité des personnes ou des biens ». La présence des bandes riveraines rehausse la nécessité de se pencher sur la présence du bois en rivière et de trouver des lignes directrices harmonieuses.

b. Préoccupations des acteurs de l'eau

Les enjeux liés à la présence de bois en rivière sont nombreux et couvrent plusieurs composantes de la gestion des cours d'eau : de la qualité de l'eau à la diversité des habitats aquatiques en passant par les menaces aux infrastructures et les pertes de terrain par l'érosion des berges. Pour mettre en lumière la diversité des préoccupations des acteurs de l'eau de la province en lien avec la dynamique du bois en rivière, un questionnaire a été distribué à une trentaine d'organisations à l'automne 2017 dont le mandat touche la gestion de l'eau au Québec. Il comportait une dizaine de questions portant sur les enjeux rencontrés et les outils disponibles pour aider à la gestion du bois en rivière. Près de soixante-dix intervenants -

provenant de MRC (57%), d'OBV (33%), de ZEC (3%) et d'OBNL assurant la gestion du saumon (7%) - se sont ainsi prononcés sur la manière dont la dynamique du bois en rivière se manifeste dans le cadre de leurs fonctions. Cette enquête par questionnaire n'est pas scientifique et vise à exposer la diversité des enjeux et représentations en lien avec la dynamique du bois en rivière. L'accent sera ici mis sur quatre constats spécifiques découlant de l'enquête.

L'enquête révèle d'abord la **représentation négative** de la présence d'embâcles de bois en rivière par une majorité des intervenants (57%). Seulement 9% des 69 répondants ont manifesté avoir une perception positive du bois en rivière et la quasi-totalité de ceux-ci mentionnent son rôle sur l'habitat du poisson. Les autres répondants ont une représentation neutre de la présence des bois (34%). Ces résultats contrastent avec la reconnaissance grandissante des services écosystémiques et géomorphologiques que fournit le bois au bon fonctionnement d'un cours d'eau à l'échelle internationale. Cette perception négative semble cependant être le reflet des principales interventions réalisées par les répondants en lien avec la gestion du bois en rivière. Elle a d'ailleurs amené la communauté scientifique à se positionner sur l'utilisation des mots débris ligneux (*large woody debris*), car le terme « débris » comporte une connotation négative. La communauté scientifique favorise plutôt l'utilisation des mots embâcles de bois en rivière ou encore bois en rivière.

L'enquête révèle ensuite l'intensité relative des interventions réalisées en lien avec la présence du bois en rivière par les répondants alors que 80 % des personnes ont eu à se positionner directement lors de situation de gestion d'embâcles sur un cours d'eau (Figure 2). Il ressort clairement que les interventions les plus fréquentes sont liées à des situations d'érosion des berges et du libre écoulement de l'eau et relativement peu d'interventions sont liées avec la qualité des habitats et la faune. Conséquemment, les **actions entreprises sont généralement orientées vers le retrait du bois plutôt que vers leur maintien**. Considérant les multiples rôles tenus par le bois en rivière, les travaux entrepris ont parfois des répercussions contraires aux intentions des décideurs. Par exemple, le démantèlement d'un embâcle ayant pour objectif la libre circulation du poisson risque en fait de diminuer la qualité de l'habitat en retirant un abri ou une source de nourriture utilisée par la faune aquatique.

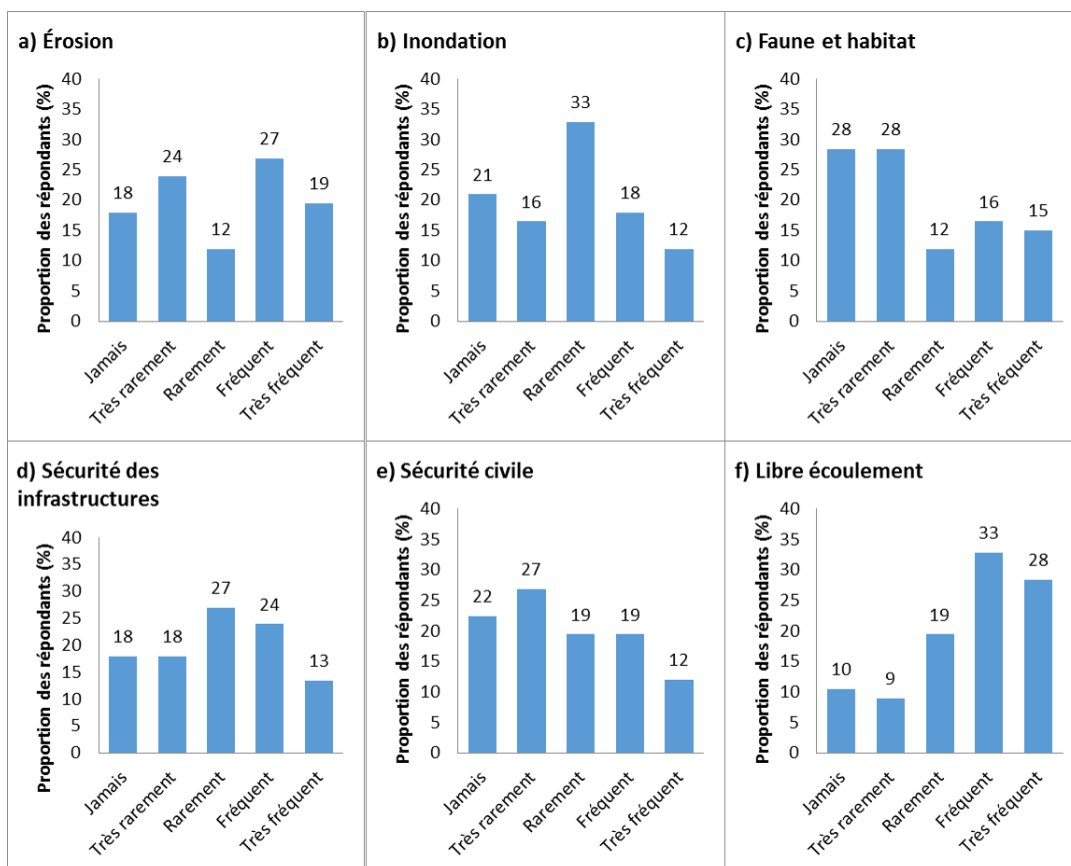


Figure 2. Fréquence relative des interventions portant sur le bois en milieu fluvial par les répondants au questionnaire.

L'enquête révèle également la **grande incertitude** exposée par les répondants en ce qui a trait à la gestion du bois en milieu fluvial. Cette incertitude relève notamment des multiples rôles que jouent les embâcles et les bois individuels au sein des cours d'eau. En effet, si le bois dans certains contextes peut exacerber les processus d'érosion, dans d'autres, il favorise la protection et le maintien de la berge en agissant à titre de barrière contre l'écoulement de l'eau. Il peut aussi augmenter les risques d'inondations localement en obstruant le chenal, tout en réduisant à plus grande échelle l'ampleur d'une crue en ralentissant la vitesse d'écoulement de l'eau. Parce que les effets du bois en rivière se manifestent de manière parfois opposée, il est normal qu'aux premiers abords, son rôle soit difficile à cerner.

Dans la foulée de l'enquête, le **besoin de lignes directrices**, d'un guide d'intervention ou encore d'un outil d'analyse permettant d'éclairer la prise de décision en lien avec le retrait ou non d'un embâcle de bois apparaît crucial. Le tiers des répondants soulignent en effet l'intérêt d'avoir un

document actualisé permettant de mieux cerner la dynamique du bois en rivière et, surtout, permettant de distinguer les situations où le bois en rivière peut être la source de dommages aux infrastructures. Plusieurs répondants expriment la difficulté de concilier à la fois la conservation de la diversité des habitats en lien avec le bois en rivière avec le risque potentiel que pose la présence du bois pour les infrastructures et la sécurité des personnes. Dans les situations où le risque est élevé, les actions à prendre sont claires vis-à-vis du retrait du bois. Il demeure cependant difficile de déterminer le niveau de risque et c'est dans ce sens que le besoin d'un guide ou d'un outil d'analyse est soulevé par les répondants.

Quotidiennement, les gestionnaires, aménagistes et autres acteurs de l'eau mettent en œuvre, au meilleur de leurs expériences, des actions visant à assurer le bon fonctionnement des systèmes fluviaux. L'enquête menée auprès des acteurs de l'eau souligne une compréhension contrastée quant aux rôles que peut tenir le bois en milieu fluvial. Dans le contexte québécois, les recherches sur le sujet commencent tout juste à émerger et les connaissances, tant celles portant sur les risques associés aux embâcles que celles portant sur leurs fonctions écosystémiques, percolent lentement vers les sphères de gestion. Dans ce sens, ce guide veut contribuer au partage de connaissances en lien avec la dynamique du bois en rivière pour contribuer aux réflexions sur la gestion des embâcles et du bois en milieu fluvial.

III Notions d'hydrogéomorphologie

L'hydrogéomorphologie s'intéresse à l'évolution des formes et des processus qui caractérisent les cours d'eau. Elle repose sur la reconnaissance que les cours d'eau sont des entités dynamiques dans le sens où leurs morphologies oscillent selon l'activation ou non de processus hydrosédimentaires dans un tronçon et un bassin versant. Cet état d'équilibre est relatif aux échelles de temps et peut être stable ou dynamique selon l'échelle considérée. L'intensité et la présence des processus varient dans l'espace selon les caractéristiques géométriques, granulométriques et biogéomorphologiques d'un tronçon fluvial et dans le temps selon l'évolution des débits liquides et des apports en sédiments, tous deux pouvant être influencés par l'utilisation du sol dans le bassin versant. Pour poser des bases théoriques communes, ce chapitre expose des fondements théoriques et des approches conceptuelles émanant de l'hydrogéomorphologie et examine sommairement l'intérêt de ces concepts pour l'analyse et la gestion du bois en rivière.

a. La dynamique fluviale

La dynamique fluviale peut se définir par la gamme des interactions possibles entre trois composantes fondamentales: la structure de l'écoulement, le transport sédimentaire et la morphologie du cours d'eau (Figure 3). Cette définition décrit le transport des sédiments en rivière à l'échelle du lit du cours d'eau et permet d'exposer l'équilibre et la sensibilité du cours d'eau à une gamme d'échelles spatiale et temporelle³². Par exemple, la structure de l'écoulement représente les variables hydraulique et hydrologique du cours d'eau et peut être décrite par les fluctuations de vitesses à l'échelle des secondes (la turbulence) ou encore par le régime hydrologique à l'échelle annuelle. La reconnaissance de ces trois composantes permet d'aborder la dynamique fluviale sous l'angle des interactions possibles entre ces composantes. Par exemple, la structure de l'écoulement influence le transport sédimentaire, car des vitesses plus rapides et plus fluctuantes sont plus susceptibles de mobiliser des sédiments qu'un écoulement lent. C'est pourquoi les sédiments, surtout grossiers, sont transportés en période de crues. Inversement, la présence d'un grand volume de sédiments ou encore de sédiments de grande taille augmente la rugosité au sein du chenal et ralentit la vitesse à laquelle l'eau s'écoule.

Par ailleurs, le transport sédimentaire influence le développement de formes du lit. Lorsque l'écoulement perd de sa compétence ou de sa puissance, les sédiments transportés se déposent et des formes d'accumulation apparaissent. À leur tour, ces bancs altèrent le transport des sédiments en augmentant la rugosité du lit. Les formes d'accumulations ralentissent l'écoulement de l'eau et forcent l'accumulation d'une quantité grandissante de sédiments tout en déviant l'écoulement et provoquant des foyers d'érosion. Ces interactions sont nombreuses et il n'est pas possible ici de toutes les énumérer. L'idée essentielle est de concevoir la dynamique fluviale à partir de ces trois composantes et d'utiliser cette trinité comme cadre d'analyse pour mieux cerner la dynamique des cours d'eau.

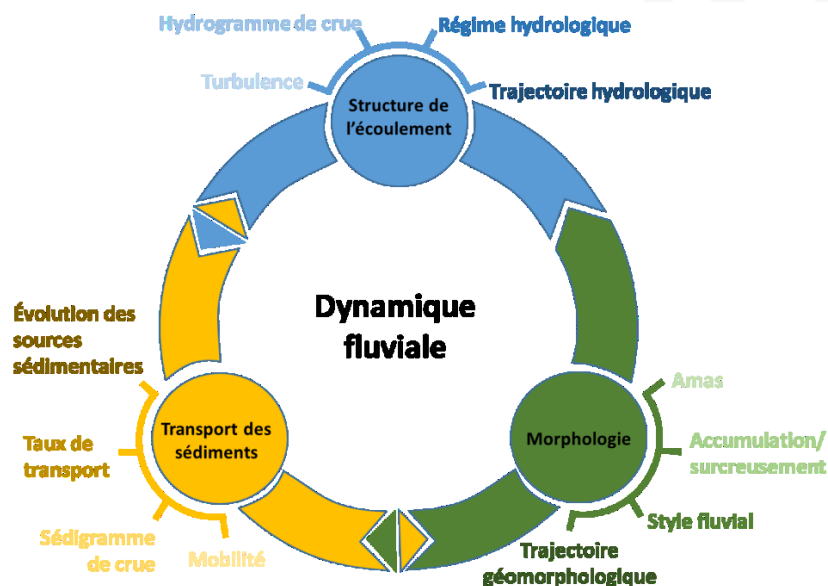


Figure 3. Les composantes de la dynamique fluviale et les échelles d'analyse de ces composantes, inspirée par les travaux de Leeder (1983)³²

Cette conceptualisation simplifiée comporte les composantes fondamentales à considérer lors de l'analyse des processus qui façonnent l'évolution des cours d'eau. L'intérêt de cette conceptualisation réside dans l'identification des interactions possibles que peut entretenir le bois avec chacune des composantes. Il est donc attendu que le morphodynamisme des cours d'eau caractérisés par de grands volumes de bois se distingue de ceux qui ne le sont pas. À la lecture des prochaines sections, il importe de garder en mémoire chacune de ces trois composantes, car c'est en relation avec celles-ci que le rôle du bois au sein des cours d'eau sera détaillé.

b. Les styles fluviaux

Le style fluvial fait référence à la morphologie du cours d'eau qui résulte de l'assemblage des processus qui le façonnent^{33, 34, 35}. L'identification d'un style fluvial permet donc, entre autres, d'inférer à partir de la morphologie les processus morphodynamiques dominants dans un tronçon de cours d'eau. Un grand nombre de classifications ont été développées pour répondre à des besoins couvrant la typologie, l'explication de l'évolution du paysage et l'aménagement des cours d'eau³⁶.

La classification de Church³⁷ est un exemple type de classification comportant plusieurs styles fluviaux (Figure 4). Cette classification positionne les variables qui influencent la dynamique fluviale et les styles fluviaux qui leur sont associés. Il présente plusieurs variables environnementales soit la topographie, la lithologie, le débit liquide et solide, la taille des sédiments, la pente et la stabilité du chenal. Comme l'identification du style fluvial mène à la reconnaissance des principaux processus façonnant le cours d'eau, elle permet aussi d'anticiper les ajustements possibles du cours d'eau si une perturbation survient, par exemple une grande crue, la formation d'un embâcle, la construction d'une infrastructure ou encore l'aménagement des berges et de la plaine alluviale.

L'intérêt de l'identification du style fluvial pour la dynamique du bois en rivière repose dans la capacité de faire des liens entre les processus dominants et la présence du bois. La Figure 5 expose sommairement les principales caractéristiques de la dynamique du bois en rivière en lien avec les principaux styles fluviaux. Par exemple, un cours d'eau linéaire présente une production en bois caractérisée par la mortalité naturelle des arbres tandis qu'un style fluvial à méandres dynamiques présente une production en bois directement influencée par le taux d'érosion des berges. Ainsi, la dynamique du bois en rivière est directement influencée par le style fluvial et le bois en rivière n'aura pas le même impact selon le système fluvial. En effet, les processus qui gouvernent le recrutement du bois influencent directement la quantité de bois introduits au cours d'eau. Certains cours d'eau ou tronçons ont la capacité d'évacuer le bois, alors que d'autres les accumulent. En retour, les accumulations de bois peuvent dévier l'écoulement, altérer le transport des sédiments et initier le développement de formes fluviales autrement absentes dans le cours d'eau.

Il importe de rappeler que la classification vise à simplifier la réalité. Bien que le style fluvial soit le reflet de l'assemblage complexe des formes et des processus présents au sein d'un cours d'eau, la dynamique fluviale se manifeste plutôt sous forme d'un continuum à l'échelle d'un bassin versant.

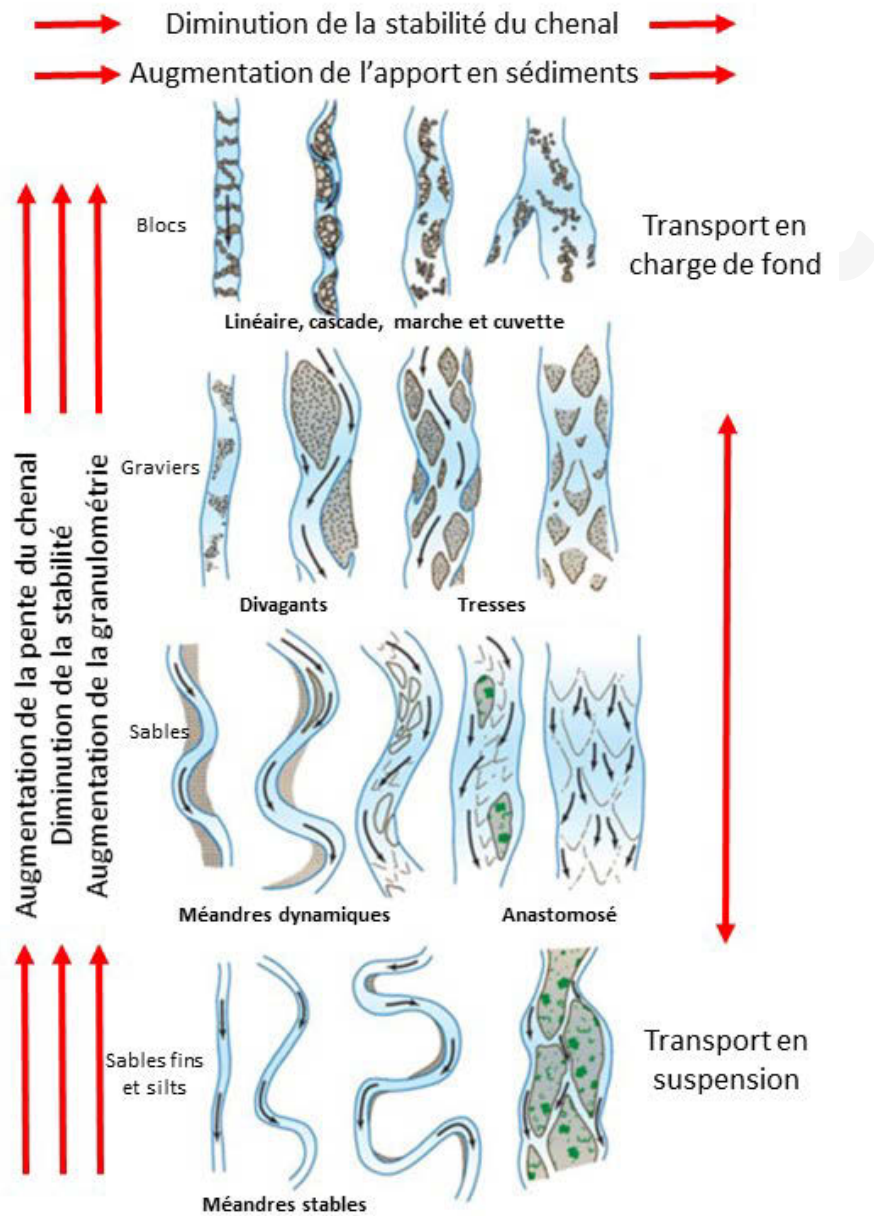


Figure 4. Classification des styles fluviaux selon Church 1992. (Adaptée de Church, 2006³³)

Linéaire Seuil-mouille	Méandres stables	Méandres dynamiques
<p>Succession de seuil et de mouille Érosion dans les mouilles et accumulation dans les seuils</p>	<p>Débordements sur plaine inondable (limons)</p>	<p>Migration latérale avec banc de convexité Recoupement de méandres Débordement sur plaine inondable Forte connectivité avec relief négatif</p>
		
<p>Recrutement par mortalité naturelle Zone de transport de bois Accumulation de bois possible sur les seuils</p>	<p>Recrutement par mortalité naturelle Accumulation dans les apex de méandres Débordement si obstruction importante Bois mort a peu d'influence sur la mobilité du chenal Accumulation de bois possible dans les méandres</p>	<p>Recrutement par migration latérale Zone de production de bois Accumulation de bois possible sur les apex méandre et bancs convexité Le bois mort peut avoir une forte influence sur la mobilité du cours d'eau</p>
Divagant	En tresses	Anastomosé
<p>Migration latérale avec bancs centraux et de convexité Chenaux secondaires et possibilité de changement brusque de chenal principal lors des inondations</p>	<p>Migration latérale avec bancs centraux Chenaux multiples Changements périodiques du chenal le plus actif</p>	<p>Débordements sur plaine alluviale (limons) Avulsion</p>
		
<p>Zone de production et d'accumulation Recrutement par migration latérale et avulsion Accumulation à l'apex des méandres, sur les bancs de convexité et les bancs centraux Le bois mort peut avoir une grande influence sur la mobilité du cours d'eau (migration et avulsion) Il peut initier la formation d'îlots végétalisés et de lambeau de plaine protégés de l'écoulement Il peut aussi engendrer des avulsions et le développement de chenaux secondaires</p>	<p>Zone accumulation Accumulation sur les bancs ou dans les chenaux peu profonds Le bois mort peut avoir une grande influence sur la mobilité du cours d'eau (migration et avulsion) Peut initier la formation d'îlots végétalisés dans un environnement autrement trop dynamique pour permettre le développement de végétation</p>	<p>Zone d'accumulation Faible capacité de transport Accumulation principalement dans les chenaux étroits Recrutement possible par avulsion Le bois peut avoir un grand effet sur la mobilité du chenal en initiant des avulsions</p>

Figure 5. Processus dominants et caractéristiques de la dynamique du bois en rivière selon le style fluvial.

c. La segmentation fluviale

On peut concevoir les cours d'eau comme des convoyeurs charriant sporadiquement des sédiments et pouvant être segmenté en trois zones qui conditionnent la dynamique sédimentaire du système fluvial (Figure 6). Dans la portion amont, on retrouve les sources de sédiments, les cours d'eau sont plus étroits et plus pentus. Ils sont aussi puissants et ont la compétence de déplacer de très gros blocs malgré qu'ils soient généralement stables latéralement. Les sédiments proviennent du lit du cours d'eau, des berges meubles, ou directement des versants. La zone centrale correspond à une zone de transfert où sont transportées ou accumulées temporairement les sédiments dans des bancs d'accumulation ou sur la plaine alluviale. La plaine alluviale est fréquemment remaniée par la migration latérale du chenal principal. L'exutoire du bassin versant constitue la zone d'accumulation. Dans cette zone, le cours d'eau perd de sa compétence à la rencontre d'un plan d'eau et les sédiments s'accumulent pour former un delta qui prend de l'expansion dans le plan d'eau. Cette représentation nourrit les réflexions portant sur la constitution de bilans sédimentaires à l'échelle du bassin versant pour quantifier la production, le transfert et l'accumulation de sédiments. **L'intérêt de cette segmentation fluviale simplifiée pour la dynamique du bois en rivière repose dans la reconnaissance des trois zones menant l'analyse de bilan ligneux dans un cours d'eau : les zones de recrutement, de transfert et d'accumulation du bois. Le chapitre VI exposera un exemple d'analyse par bilan ligneux à différentes échelles spatiales et temporelles.**

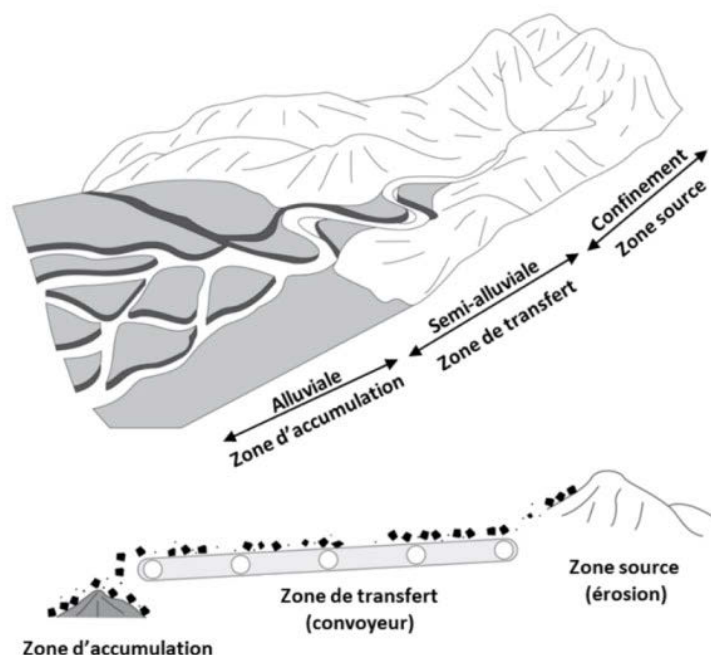


Figure 6. Schématisation d'un bassin versant sous forme de convoyeur (adaptée de Brierley et Fryirs, 2005³⁸)

Par ailleurs, s'il est vrai que de l'amont vers l'aval, les configurations géométriques de la vallée permettent de diviser le système fluvial en trois grandes zones, il est aussi vrai que plusieurs styles fluviaux peuvent se succéder à l'intérieur même de ces zones. Il est alors pertinent, pour raffiner l'échelle d'analyse, de procéder à la segmentation du cours d'eau en tronçons morphodynamiques homogènes. **Au niveau de la gestion et de l'analyse du bois en rivière, la segmentation permet d'identifier rapidement les différents styles fluviaux afin de comprendre les liens entre la dynamique du bois et l'hydrogéomorphologie (Figure 5). Cela permet aussi d'identifier les secteurs où les embâcles peuvent s'accumuler et d'identifier les zones d'apport en bois, par l'érosion latérale par exemple.** La segmentation d'un cours d'eau en tronçons homogènes peut être longue et plus complexe que ne l'exigent les besoins réels des décideurs, c'est pourquoi on peut distinguer deux méthodologies, l'une qualitative, plus rapide, et l'autre quantitative, nécessitant une plus grande quantité d'informations.

L'approche qualitative vise à identifier des limites apparentes de façon à créer une segmentation fluviale selon la configuration générale d'un tronçon. Les photographies aériennes

et les imageries LIDAR sont les outils de base pour procéder à une telle segmentation. Les photographies aériennes, par exemple, offrent une vue planimétrique du cours d'eau à partir de laquelle les variations de largeur, de sinuosité, de tressage (multiples chenaux) et de superficie des bancs peuvent être observées. Ces observations mènent à l'identification des principaux styles fluviaux permettant d'adresser rapidement et simplement la question du dynamisme et de mettre en évidence qu'un même cours d'eau n'adopte pas le même comportement sur toute sa longueur.

L'approche quantitative vise à extraire des données géométriques à partir du tracé du cours d'eau afin d'en identifier la variabilité longitudinale avec plus d'exactitude. Le tracé du cours d'eau est numérisé à partir des photos aériennes multidates et mène à l'extraction de plusieurs variables (largeur, sinuosité, superficie des bancs, superficie érodée) qui sont alors spatialisées de l'amont vers l'aval, ce qui permet d'observer des changements importants le long du cours d'eau. La Figure 7, par exemple, présente des mesures de largeurs de l'amont vers l'aval prises sur plusieurs photographies aériennes de la rivière Mont-Louis. On observe clairement sur cette figure deux segments où les changements de largeurs sont peu fréquents dans le temps alors que dans deux autres segments les changements sont plus significatifs. Ces changements peuvent constituer des limites de la segmentation fluviale. Le profil longitudinal du cours d'eau s'avère également être un outil de segmentation très pertinent³⁹. Le profil longitudinal peut être obtenu à partir des cartes topographiques ou, idéalement, à partir de relevés LIDAR⁴⁰.

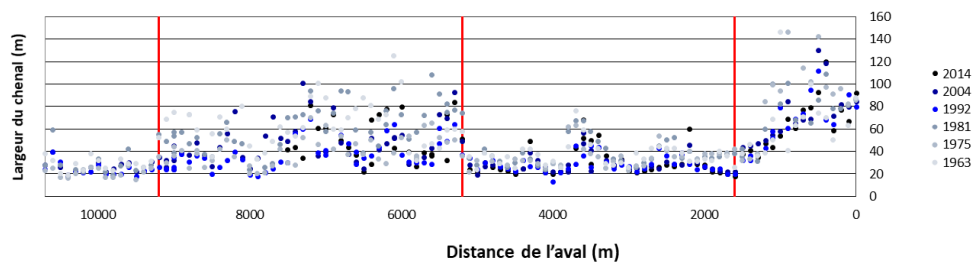


Figure 7. Segmentation fluviale de la rivière Mont-Louis à partir de la largeur du cours d'eau. À noter que la variabilité temporelle de la largeur varie d'un tronçon à l'autre.

d. La notion d'équilibre et la trajectoire géomorphologique

En géomorphologie fluviale, la notion d'équilibre est fondamentale. Les cours d'eau sont des objets dynamiques qui évoluent dans l'espace et dans le temps suivant des processus dominants

(par exemple, la migration latérale, l'incision ou l'exhaussement du lit) dont les moteurs (débits liquide et solide, niveau de base) et les résistances (ripisylves, granulométrie) sont aussi variables dans le temps. L'état actuel d'un cours d'eau (son style fluvial par exemple) ne représente pas nécessairement celui d'il y a 100 ans ni celui qu'il possédera dans 100 ans et, si c'est le cas, il est fort possible que son état ait fluctué durant cette période. Ainsi, les cours d'eau ne doivent pas être perçus comme des objets dans un état statique, mais plutôt comme des objets dont les caractéristiques fluctuent dans le temps. On peut ainsi distinguer l'équilibre stable pour des cours d'eau dont l'état oscille autour d'un état moyen et l'équilibre dynamique pour des cours d'eau dont l'état oscille autour d'un changement vers un autre état. Dans les deux cas, la notion d'équilibre est conditionnée par les apports liquides et les apports solides et elle peut être illustrée par la balance de Lane⁴¹.

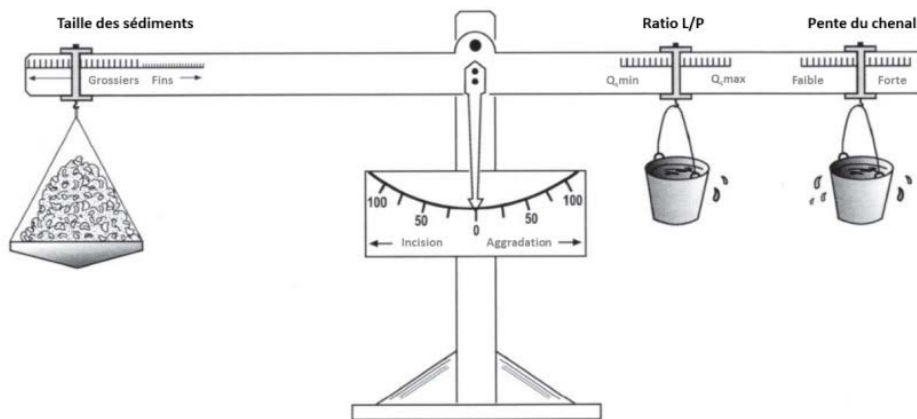


Figure 8. Représentation de l'équilibre des cours d'eau selon Lane (1955)⁴¹

Si les apports de l'un ou l'autre des éléments varient, le cours d'eau se retrouve dans un état de déséquilibre. Lorsque les débits liquides augmentent, la balance oscille sur la droite et la flèche s'oriente vers l'accroissement des processus d'incision, c'est-à-dire l'érosion verticale du chenal. Inversement, lorsque la disponibilité des sédiments augmente, la balance oscille vers l'aggradation, c'est-à-dire le rehaussement généralisé du lit du cours d'eau. Cet équilibre repose aussi sur sa capacité à transporter les sédiments qui lui sont disponibles. La variation du ratio entre la largeur et la profondeur (ratio L/P) du cours d'eau, celle de la pente et celle de la taille des sédiments influencent aussi l'équilibre du cours d'eau. L'augmentation des deux premiers

conduits à l'incision tandis que l'augmentation de la taille des sédiments mène à l'aggradation et *vice versa*. L'équilibre d'un cours d'eau est donc une notion dynamique et muable, influencée par l'interaction de chacun de ces paramètres. **La notion d'équilibre est primordiale dans l'analyse de la dynamique du bois, car un changement dans l'état du système, par exemple une augmentation des volumes de sédiment, peut engendrer une augmentation du nombre de bancs d'accumulation, ce qui augmente le nombre de sites potentiels pour l'accumulation de bois dans le chenal. Autre exemple, l'incision d'un chenal peut engendrer une déstabilisation des berges, augmentant les taux d'érosion et augmentant le volume de bois recruté dans le système fluvial. Il est donc important de prendre en compte la notion d'équilibre d'une rivière dans la gestion et l'analyse de la dynamique du bois en rivière afin de favoriser des interventions pérennes ou encore pour déterminer si un embâcle doit être retiré ou laissé en place.**

Enfin, la question d'équilibre ne peut être abordée sans considération pour la notion d'échelle de temps. Sur un horizon de temps réduit, de 10 ans par exemple, un cours d'eau peut montrer des signes d'instabilité prononcés et paraître très dynamique, alors que de nombreux processus s'activent, mais sur une période plus longue, de 100 ans, il demeure dans un état d'alternance de façon constante. Inversement, un cours d'eau peut paraître stable à court terme, mais en réalité manifester des signes de changements importants à travers le temps. C'est là que prend l'importance du concept de trajectoire hydrogéomorphologique.

La trajectoire hydrogéomorphologique est un concept permettant de dégager objectivement des tendances ou des ruptures dans l'évolution d'un cours d'eau sur une période de temps donnée. Elle permet de comprendre la manière dont les cours d'eau évoluent dans le temps, de proposer un diagnostic hydrogéomorphologique lorsque des facteurs de contrôles y sont associés et d'exposer la sensibilité des cours d'eau à des perturbations. En conduisant une série de mesures géométriques sur des photographies aériennes datant de différentes époques, il est possible de déterminer quels ajustements morphologiques sont en cours et de projeter ces ajustements dans le futur. Les indicateurs choisis sont les témoins du dynamisme fluvial et leur stabilité à long terme manifeste un certain équilibre au sein du cours d'eau alors que les variations mettent en lumière des ajustements suite à une ou plusieurs perturbations (Figure 9). L'identification de ces perturbations permet de proposer des hypothèses quant à l'évolution future du cours d'eau selon son historique et son fonctionnement actuel.

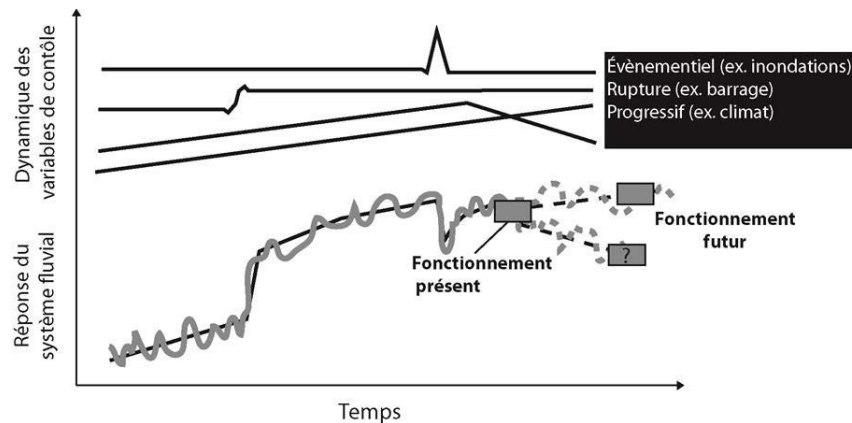


Figure 9. Schématisation de la trajectoire hydrogéomorphologique (adaptée de Dufour et Piégay, 2009⁴²)

Dans le cas d'évènements perturbateurs ponctuels, le cours d'eau met en place une série d'ajustements afin de pouvoir répondre aux variations des débits solides et liquides. Avec le temps, l'ampleur de ces ajustements peut s'atténuer graduellement jusqu'à ce que le cours d'eau retourne à son état antérieur. Dans le cas de perturbations progressives, les ajustements peuvent se faire sur une plus longue période et être plus subtils. Les perturbations peuvent être d'origines humaines ou naturelles, mais elles peuvent altérer tous les apports en eau ou en sédiments. Il peut par exemple s'agir d'une augmentation modérée, mais soutenue des débits sur un cours d'eau ou encore, d'une rupture de barrage par exemple. L'occupation du sol est d'ailleurs l'une des variables de contrôles à considérer. L'augmentation des débits peut être due à l'augmentation de la fréquence ou de l'intensité des précipitations, mais aussi à l'augmentation des surfaces aménagées imperméables ou à des coupes forestières qui augmentent le ruissellement de surface et accélèrent la réponse hydrologique d'un bassin versant.

Les bois en rivière sont à la fois une force de changement et de stabilité. Leurs introductions aussi bien que leurs retraits influencent la trajectoire hydrogéomorphologique des cours d'eau due à leur grande influence sur les processus fluviaux. L'apparition d'un nouvel embâcle implique donc un ajustement du cours d'eau, mais cet ajustement, plutôt que d'être perçu de façon négative, doit être compris comme un moyen que se donne le cours d'eau de s'adapter à la présence de bois afin de fonctionner efficacement. Si, par exemple, un embâcle de bois force la formation d'un chenal secondaire parce qu'une proportion trop grande du chenal

principal est obstruée, une avulsion peut se produire. Cet évènement permet toutefois, au cours des crues subséquentes, de diviser l'écoulement fluvial dans deux chenaux distincts, d'augmenter la rugosité totale du lit et de réduire la largeur des chenaux. Ainsi, l'écoulement perd en puissance, le cours d'eau devient moins érosif et les niveaux d'eau sont abaissés, diminuant ainsi les risques d'inondations.

En fonction des objectifs, d'autres indicateurs que ceux présentés peuvent être utilisés afin de déterminer la trajectoire hydrogéomorphologique du cours d'eau. Pour la dynamique du bois en rivière, l'identification des sources de bois est fondamentale et elle permet de connaître non seulement la provenance du bois et ses mécanismes de production, mais aussi de déterminer si les apports en bois ont fluctué à travers les années. Pour ce faire, on peut s'intéresser à l'évolution des superficies forestières érodées sur une période de temps donnée, ou plus simplement, au linéaire de berge marquée par la présence de bande riveraine ou en milieu forestier, ainsi qu'à la densité de la végétation riveraine. À titre d'exemple, la Figure 10 présente les indicateurs utilisés pour analyser la trajectoire hydrogéomorphologique de la rivière Mont-Louis.

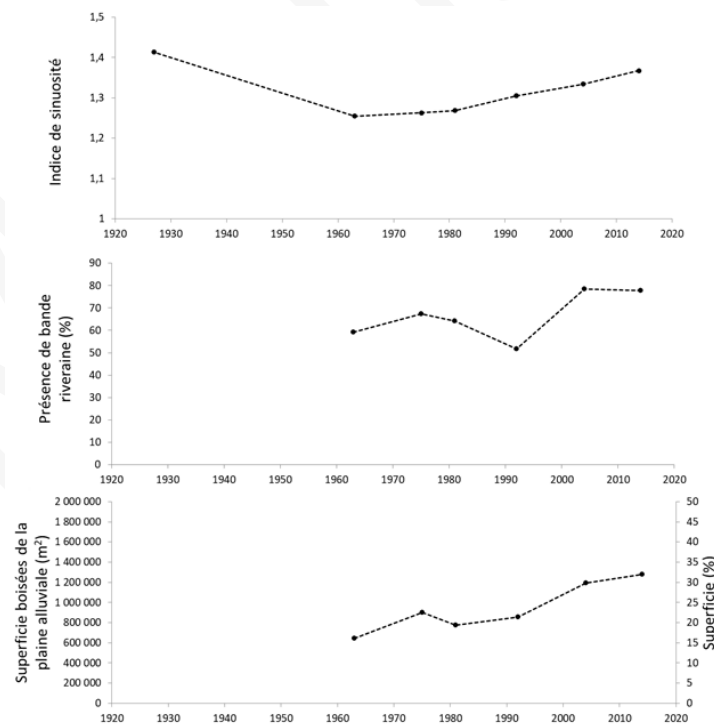


Figure 10. Exemple d'analyse de la trajectoire hydrogéomorphologique de la rivière Mont-Louis

Éléments à retenir : III. Notions d'hydrogéomorphologie

- L'hydrogéomorphologie s'intéresse à l'évolution des formes et des processus qui caractérisent les cours d'eau;
- La dynamique fluviale peut se définir par l'éventail d'interactions existant entre trois composantes fondamentales : la structure de l'écoulement, le transport sédimentaire et les formes fluviales;
- Le bois en rivière interagit sur cette dynamique en influençant la structure de l'écoulement et le transport des sédiments;
- Les styles fluviaux sont une expression morphologique des processus dominant la dynamique des cours d'eau;
- La segmentation fluviale permet d'identifier les variables qui influencent la dynamique fluviale et les styles fluviaux qui leur sont associés;
- Les cours d'eau ne doivent pas être perçus comme des objets dans un état statique, mais plutôt comme des objets dans un état d'équilibre, stable ou dynamique, conditionnés par les fluctuations des débits liquides et solides;
- La trajectoire hydrogéomorphologique rend compte des tendances ou des ruptures dans l'évolution morphologique d'un cours d'eau sur une période de temps donnée, ce qui permet de poser un diagnostic sur les variables influençant cette évolution et de proposer des hypothèses quant à l'évolution future du cours d'eau;
- Les bois en rivière sont à la fois des éléments de changement et de stabilité.

IV Le rôle du bois en rivière sur la dynamique et la biodiversité fluviale

À l'échelle d'un tronçon de cours d'eau, le bois en rivière influence la structure de l'écoulement ce qui contribue à modifier la dynamique sédimentaire, parfois en exacerbant l'érosion, parfois en forçant le dépôt des sédiments. L'influence qu'exerce le bois en rivière sur l'écoulement et le transport des sédiments se traduit par une modification de la morphologie du cours d'eau et, dans certains cas, peut même provoquer un changement complet du style fluvial^{43, 44}.

L'ampleur des répercussions sur la dynamique fluviale relève principalement de la proportion du chenal obstrué, mais aussi de plusieurs autres variables comme la position, l'orientation, la dimension, la porosité et la stabilité de l'embâcle de bois^{5, 45, 46}. Les embâcles les plus volumineux et les plus stables sont généralement ceux qui maintiennent leur influence à long terme, alors que les plus petits, parce qu'ils sont susceptibles d'être délogés, ont des répercussions moins durables sur la dynamique du cours d'eau^{47, 48, 49, 50}.

Il est naturel, normal et attendu que les embâcles de bois complexifient la dynamique fluviale et contribuent à l'évolution de la morphologie des cours d'eau. Dans des contextes où l'exposition des personnes ou des infrastructures est élevée, la présence d'embâcles peut constituer un risque important et impose des défis au niveau de la gestion. Ce chapitre vise à exposer un éventail non exhaustif de connaissances sur les interactions entre le bois en rivière et la dynamique fluviale à l'échelle d'un tronçon afin d'orienter les réflexions sur la gestion du bois dans les cours d'eau.

a. Ralentissement de l'écoulement et sédimentation

En se situant au sein d'un cours d'eau, les embâcles de bois agissent à titre de barrière physique et obstruent totalement ou partiellement l'écoulement de l'eau. Ces obstructions affectent localement la puissance spécifique du cours d'eau en modifiant la manière dont sont distribuées les forces hydrauliques au sein du chenal¹⁰. Les accumulations de bois représentent une rugosité additionnelle pouvant causer le ralentissement de l'écoulement et l'élévation du niveau de l'eau en amont de l'obstruction lorsqu'un embâcle ou un bois individuel se situe au sein du chenal^{51, 52} (Figure 11).

Dans les cours d'eau non confinés, l'obstruction causée par le bois en rivière doit être supérieure à 10% de la largeur du chenal pour que l'effet de refoulement soit observable⁵².

D'autres variables, comme la densité de l'embâcle et sa position relativement à la ligne d'écoulement, doivent aussi être considérées dans l'évaluation de l'effet de refoulement.

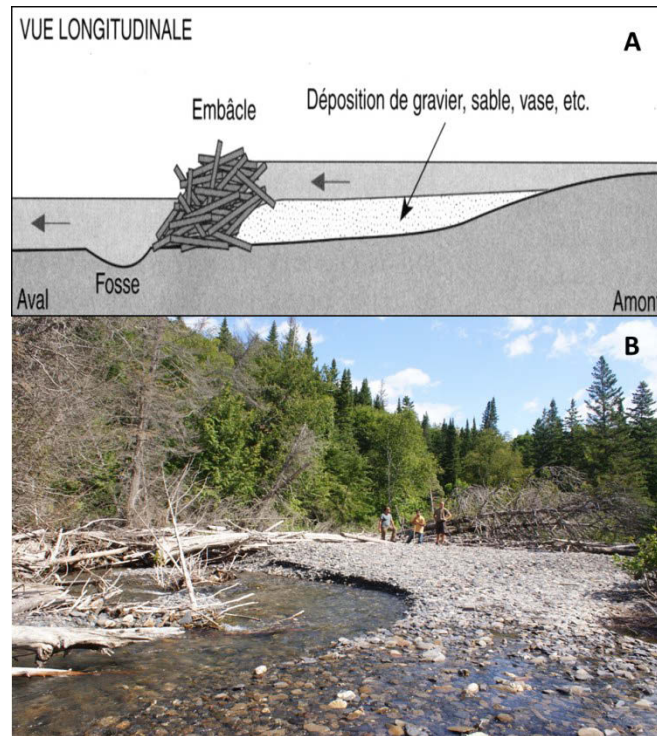


Figure 11. A) Rehaussement du niveau d'eau et accumulation de sédiments causés par la présence d'un embâcle de bois (Therrien, 1997¹) et; B) exemple sur la rivière À Pierre, Mont-Saint-Pierre, Gaspésie

Dans les zones de refoulement, des accumulations de sédiments plus fins que ceux qui composent le lit de la rivière se mettent en place^{49, 50, 53}. À proximité d'embâcles de bois au sein d'une rivière à lit graveleux, Skalak et Pizzuto⁵⁴ ont observé des zones d'accumulation où le calibre des sédiments varie entre le sable et l'argile. La présence de bois en rivière engendre ainsi une grande variabilité du faciès granulométrique au sein des cours d'eau. Lorsque les sédiments se déposent de façon généralisée sur un tronçon de cours d'eau, il est alors possible de parler d'aggradation ou d'exhaussement du lit. Ce phénomène a pour effet de rehausser le lit du cours d'eau et de faciliter les débordements au-dessus du niveau plein bord lors des crues¹.

47, 44, 55, 56

Lorsque les vitesses d'écoulement à l'aval d'une obstruction sont réduites, la sédimentation peut aussi y être suffisamment importante pour engendrer la formation d'un banc d'accumulation (Figure 12). La succession des crues apporte des sédiments dans ces zones de

basses vitesses, jusqu'à ce que graduellement, les bancs s'élèvent au-dessus du niveau plein bord^{5, 44, 57, 58}.

De façon similaire, les embâcles situés au centre du chenal modifient la distribution des forces hydrauliques et les patrons de sédimentation. Lorsqu'un tronç clé est capable de s'ancrer solidement au lit, l'écoulement en amont est redirigé vers les berges et les vitesses en aval sont réduites, ce qui favorise l'accumulation de sédiments. La formation d'un banc d'accumulation central est le résultat de l'accumulation de sédiments en périphérie de l'embâcle, et il a pour effet de diminuer localement la profondeur d'eau^{5, 57}. Avec la succession des crues, il est possible qu'une quantité croissante de sédiments s'accumule jusqu'à ce que le banc atteigne l'élévation de la plaine alluviale, qu'il soit graduellement colonisé par la végétation et annexé à la plaine^{57, 59} (Figure 13). Il est aussi possible que les embâcles se forment à l'apex d'un banc central préalablement formé. Dans ce cas, les processus de sédimentation en aval sont exacerbés par la présence de l'obstruction.

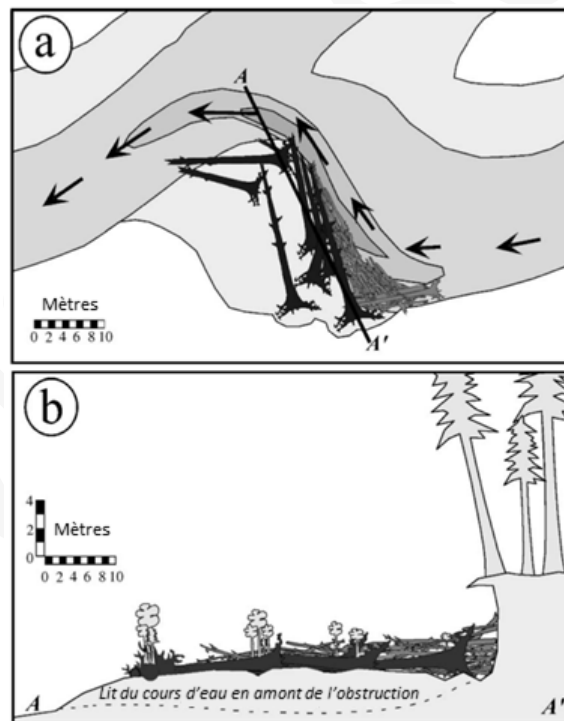


Figure 12. a) Vue en plan d'un embâcle redirigeant l'écoulement, b) accumulation de sédiments en aval de l'embâcle dans une zone de basses vitesses (adaptée de Abbe et Montgomery, 2003⁴⁴)

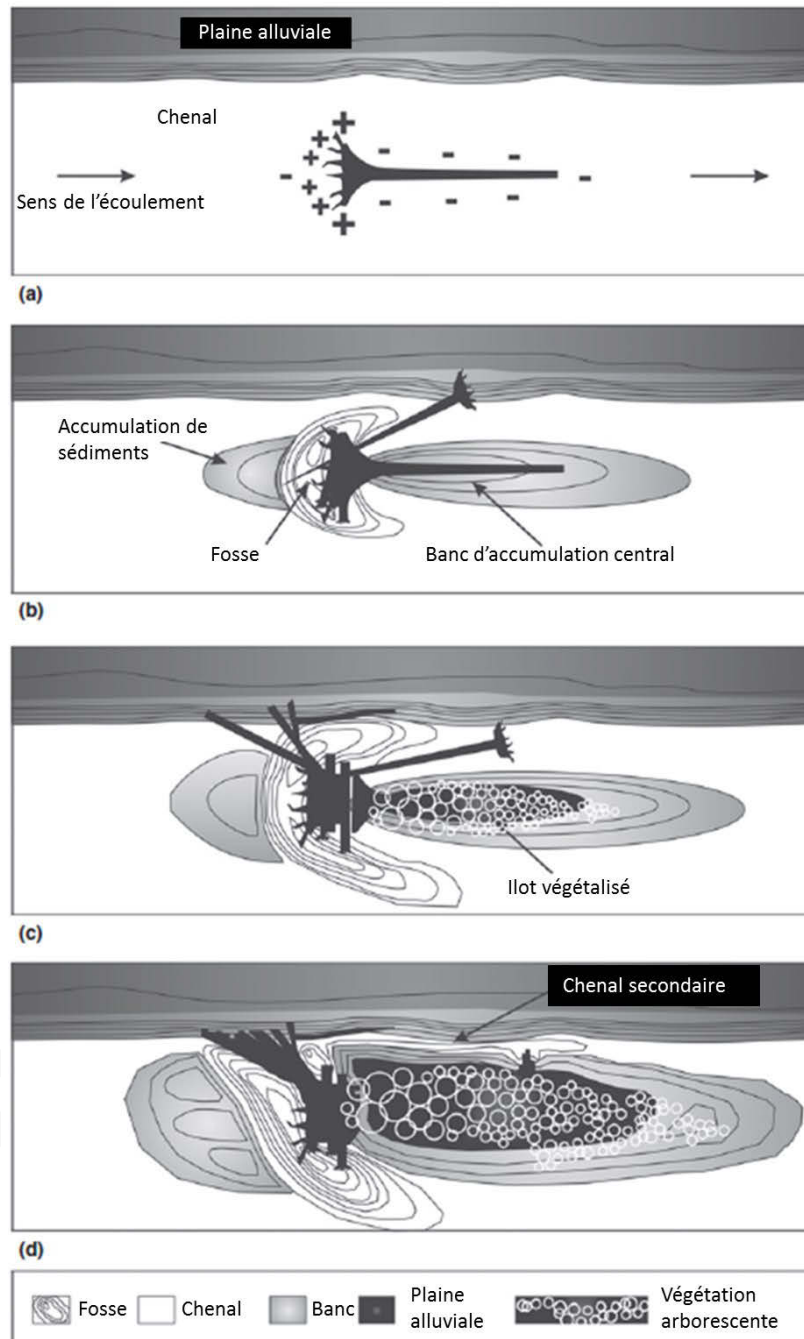


Figure 13. a) redistribution des forces hydrauliques par un tronc clé, les (+) indique une augmentation des vitesses, les (-) indiquent une diminution des vitesses b) formation d'un embâcle stable et d'un banc d'accumulation central en aval, c) formation d'un ilot végétalisé, d) incorporation de l'ilot végétalisé à la plaine alluviale (Abbe et Montgomery, 1996⁵⁷)

b. Accélération de l'écoulement et érosion

En réduisant la section d'écoulement, les embâcles de bois contribuent à rehausser les vitesses de l'écoulement pour maintenir un débit équivalent. Ces zones comportant des vitesses plus élevées sont associées à des niveaux de compétence et de capacité de transport plus élevés, ce qui provoque le transport des sédiments et la formation de fosses à proximité des embâcles^{55, 60}. Différents cas de figure peuvent être observés dont trois plus fréquents (Figure 14). Lorsque l'écoulement est concentré entre le lit et une accumulation de bois, une fosse se crée sous l'embâcle et une zone de sédimentation se situe en aval (Figure 14a). Lorsque l'écoulement de l'eau accélère au-dessus de l'embâcle, l'accumulation de sédiments se fait en amont et une fosse se crée en aval (Figure 14b). Enfin, si le bois redirige l'écoulement vers une berge opposée, celle-ci est plus à risque de s'éroder alors que la portion aval, où les vitesses sont plus faibles, tend à accumuler les sédiments (Figure 14c).

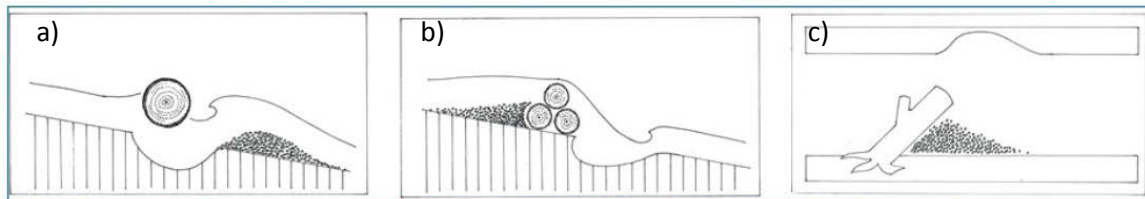


Figure 14. a) Surcreusement sous un bois individuel, accumulation en aval b) surcreusement en aval du bois, accumulation en amont c) Bois individuel redirigeant l'écoulement sur la berge opposée causant de l'érosion et accumulation en aval (Dodd et al., 2016⁶¹)

Pour cette raison, les tronçons de rivières caractérisés par la présence d'embâcles de bois comptent un nombre de fosses généralement plus élevé que ceux qui ne comptent que peu ou pas d'embâcles. Il est globalement véhiculé que la distance moyenne entre les fosses correspond à cinq à sept fois la largeur plein bord du cours d'eau^{5, 62}. Dans des cours d'eau où des embâcles de bois se forment, l'espacement entre les fosses est significativement différent, de deux à quatre fois la largeur plein bord selon Wyrick et Pasternack⁶³, de trois à quatre fois selon Montgomery et al.⁶⁴ et de 0,8 fois en moyenne selon Webb et Eskrine¹⁶.

Lorsque les embâcles redirigent l'écoulement vers une berge plutôt que vers le lit, ils exacerbent localement l'érosion, provoquant un élargissement du chenal^{44, 56}. Différents types d'embâcles peuvent dévier l'écoulement vers les berges. Typiquement, ils sont orientés entre 40° et 90° par

rapport au sens de l'écoulement de l'eau⁴⁴. Toutefois, c'est aussi le cas des embâcles situés à l'apex de bancs d'accumulation centraux. En obstruant une partie de la section transversale, ils repoussent l'écoulement de part et d'autre du chenal, ce qui a pour effet d'éroder la berge et de favoriser la migration du cours d'eau (Figure 15). Dans ce type de circonstances, l'élargissement peut atteindre plus de 50 % de la largeur initiale du chenal⁵⁸.

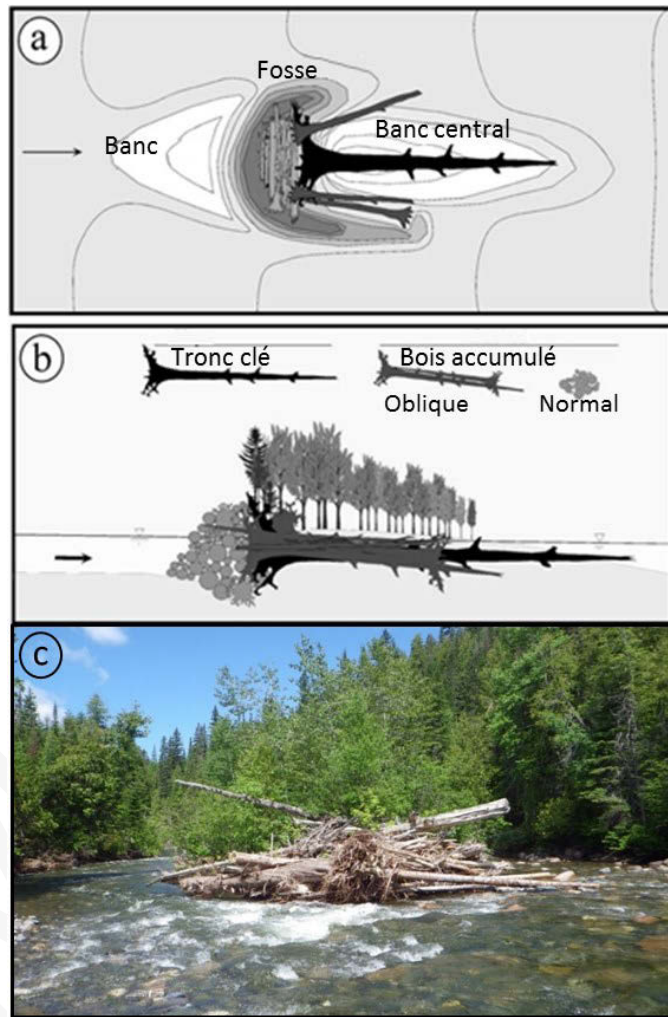


Figure 15. a) vue en plan d'un embâcle central, b) coupe longitudinale d'un embâcle central, c) séparation de l'écoulement et élargissement du chenal (adaptée de Abbe et Montgomery, 2003⁴⁴)

Si l'obstruction cause un refoulement suffisamment important, le niveau d'eau peut excéder celui des berges, ce qui cause des débordements sur la plaine alluviale. Dans les cours d'eau plus dynamiques, cela peut initier le recouplement de méandres ou le développement de chenaux d'avulsion^{5, 16, 44}.

Inversement, en se positionnant parallèlement à la berge, le bois en rivière représente un obstacle pour l'écoulement de l'eau et il contribue à limiter l'érosion. Dans un premier temps le bois agit comme une barrière physique qui empêche une partie de l'eau de s'écouler le long des marges du chenal, et la portion de l'eau qui s'écoule à travers l'embâcle est suffisamment ralentie pour limiter la capacité à transporter les sédiments qui composent la berge^{44, 47, 55}. Dans un second temps, les embâcles altèrent la manière dont sont réparties les forces hydrauliques sur la section transversale. Dans les chenaux non obstrués, les vitesses maximales se situent en bordure de la berge concave et à l'aval d'un méandre. C'est à cet endroit que le cisaillement atteint sa valeur maximale et que les taux d'érosion sont les plus importants. En présence d'embâcles de bois en rivière, les vitesses maximales, plutôt que d'être situées le long de la berge, se concentrent le long de l'obstruction vers le centre du chenal, ce qui réduit le cisaillement et les forces érosives sur la berge⁶⁵ (Figure 16).



Figure 16. Exemple d'embâcles positionnés dans la portion concave d'un méandre protégeant la berge de l'érosion et redirigeant l'écoulement au centre du chenal. Rivière Mont-Louis, Gaspésie

Ainsi, les embâcles interfèrent avec l'écoulement de l'eau et le transit des sédiments. Toutefois, il est faux de les entrevoir comme des entités étanches qui freinent ou dévient en totalité l'eau et les sédiments. Ils agissent plutôt comme des obstructions poreuses qui laissent s'infiltrer une proportion plus ou moins grande de l'écoulement, de sédiments ou de nutriments⁶⁵. Selon Manners et al.⁴⁵, les embâcles les plus denses, ceux où l'espace entre le bois est réduit par la présence de plus petits morceaux de bois, de branchage, de feuilles et de matières organiques,

obstruent plus efficacement le chenal et altèrent la distribution des vitesses. Inversement, l'augmentation de la porosité laisse s'écouler une proportion plus grande d'eau et de sédiments au travers de l'embâcle. La spatialisation des zones de dépôt et d'érosion dépend alors grandement de la configuration des structures de bois, alors que l'écoulement se concentre dans les portions moins obstruées et des fosses peuvent s'y développer. Ainsi, localement, les patrons d'érosion et de sédimentation associés à la présence de bois en rivière relèvent principalement du degré de porosité, lui-même associé à l'âge de la structure. En effet, les plus récents ont accumulé une moins grande quantité de matériel dans les interstices – et sont donc plus poreux – alors que les plus vieux tendent à être plus colmatés.

On constate donc que les accumulations de bois ont la particularité de favoriser à la fois la sédimentation et le captage de sédiments, mêmes les plus fins, de protéger les berges et d'exacerber les processus d'érosion déjà actifs dans le cours d'eau. Le plus souvent, les embâcles jouent tous ces rôles à la fois, c'est-à-dire qu'ils peuvent par exemple dévier l'écoulement vers une berge opposée où un foyer d'érosion apparaît, protéger une portion de la berge adjacente et provoquer l'accumulation de sédiments dans la zone de recirculation en aval de l'embâcle. S'il est possible de retrouver des processus si contrastés dans un espace relativement petit, c'est que les embâcles complexifient la structure de l'écoulement en forçant la présence de zones avec de faibles vitesses juxtaposées à des zones de très fortes vitesses.

À cet effet, Shields et Smith⁶⁶ ont montré que la vitesse d'écoulement de l'eau en aval d'un embâcle était à peu près nulle alors que les vitesses de l'eau déviée dépassaient 2 m/s. Suite au démantèlement, les vitesses maximales atteintes étaient de 1,6 m/s sur l'ensemble de la section transversale. En l'absence d'obstruction, il est très rare de retrouver des zones où les vitesses d'écoulement sont si contrastées dans un environnement restreint. C'est cette diversité hydraulique qui permet le développement de formes fluviales variées ainsi que la création d'habitats diversifiés au sein du chenal.

Enfin, les embâcles de bois influencent grandement la dynamique sédimentaire en agissant comme trappe à sédiments. Toutefois, ils sont des entités dynamiques, qui par décomposition ou fragmentation du bois peuvent se démanteler naturellement^{5,67}. Lors d'un tel événement, les sédiments retenus par l'embâcle sont remis en circulation. De ce fait, le démantèlement d'un embâcle, qu'il soit naturel ou anthropique, s'accompagne souvent d'un apport massif de sédiment vers l'aval dans le cours d'eau⁵⁵. Beschta⁶⁸ a illustré que la présence d'un embâcle peut

forcer l'accumulation de sédiments sur 250 m en amont. Suite au démantèlement de cet embâcle, plus de 5000 m³ de sédiments ont été libérés, changeant drastiquement la dynamique du cours d'eau et engendrant une incision de plus de 2 m par endroits. De même, Smith et al.⁶⁹ ont mesuré un taux de transport en charge de fond quatre fois supérieur suite au retrait de bois dans un tronçon fluvial.

c. **Fonction écosystémique du bois en rivière**

L'influence du bois et des embâcles sur la morphologie et la dynamique des cours d'eau contribue à modeler un cadre physique et des conditions environnementales pour les organismes vivants que le cours d'eau supporte. La création d'une diversité d'habitats par la présence de bois en rivière représente un avantage écosystémique considérable, car il facilite la croissance d'algues, de macroinvertébrés et de poissons, mais aussi celle de la végétation riveraine. Ces services écosystémiques semblent cependant encore mal connus et par conséquent très peu valorisés. Nous explorerons ici certains de ces services écosystémiques.

Les zones de faibles courants engendrées par le bois en rivière permettent à des sédiments fins de se déposer sur les bancs d'accumulation ou sur la plaine alluviale. Lorsque ces surfaces d'accumulation dépassent le niveau plein bord, elles sont colonisées par la végétation. Les espèces végétales qui composent la ripisylve poussent d'ailleurs mieux lorsqu'elles se trouvent sur ce type de dépôts⁷⁰. De plus, le bois en rivière représente une source de matière organique utile à la croissance des arbres qui poussent près du bois en rivière ou directement dessus⁴⁷. Ainsi, le bois facilite la croissance de la ripisylve qui elle-même sert de refuge à la faune terrestre, mais aussi aquatique⁷¹. En effet, les arbres en marge du cours d'eau créent un espace frais et ombragé qui est bénéfique à de nombreuses espèces de poissons.

Par ailleurs, les zones de faible courant créées par les embâcles de bois sont des environnements propices au développement de biofilms et d'algues. Leur développement est facilité par la complexité des structures de bois et l'hétérogénéité des textures en surfaces, qui favorisent la création de microhabitats diversifiés soutenant de nombreuses espèces végétales et animales^{72, 73}. À cette échelle, les plus infimes changements de conditions environnementales peuvent avoir des répercussions majeures sur l'habitat, car de multiples niveaux de la chaîne trophique en dépendent⁷⁴. Une grande diversité d'algues signifie ainsi une grande diversité chez les organismes qui les consomment, par exemple, les macroinvertébrés benthiques⁷⁵. Il est vrai

que le bois lui-même représente une source de matière organique qui peut soutenir à long terme les organismes benthiques. Ils se décomposent toutefois plus lentement et leur apport énergétique à court terme est limité. Par contre, leur présence permet de capter des feuilles mortes provenant des berges et le développement d'algues, qui elles, représentent une source de nutrition abondante et facilement assimilable par les organismes benthiques^{76,77}.

D'autre part, le bois en rivière permet aussi de modifier la forme et la composition granulométrique du lit des cours d'eau, ce qui engendre la formation d'habitat dont les substrats sont très variés. En altérant le transport des sédiments, le bois en rivière permet la formation de zones où s'accumulent du gravier et d'autres du sable et même des limons. Les zones d'accumulation de graviers fournissent un environnement favorable à l'éclosion des œufs de salmonidés, alors que les zones de dépôt de sédiments fins en périphérie des embâcles sont généralement riches en matière organique et protégées du courant, ce qui favorise la colonisation par les macroinvertébrés et les salmonidés juvéniles^{66, 75, 78}. D'ailleurs, les microhabitats créés par le bois permettent d'accueillir une diversité d'espèces de macroinvertébrés significativement plus grande que dans les milieux sans bois⁷⁹. Certaines espèces se retrouvent en fait de façon exclusive dans les habitats engendrés par le bois en rivière, soulignant que ce sont des environnements uniques et essentiels au maintien de la diversité biologique^{80, 81}. Les individus qui vivent dans ces environnements tendent aussi à être plus gros et plus nombreux que ceux retrouvés dans les chenaux sans bois⁶⁶. La disponibilité des nutriments et l'effet de refuge contre les perturbations contribuent également à assurer la diversité des espèces^{75, 79}. En effet, les crevasses et les rainures présentes à la surface des arbres sont des zones où se concentrent une grande quantité de matière organique et représentent un abri en cas de crues ou encore de prédation⁷².

Si les macroinvertébrés bénéficient de la présence de bois dans les milieux fluviaux, c'est aussi le cas des poissons. Certes, des études sont nécessaires afin de déterminer la façon dont chacune des espèces bénéficie de la présence de bois en rivière, mais les connaissances actuelles permettent d'affirmer que les salmonidés (famille des *Salmonidae*) ainsi que le brochet (*Esox lucius*), le doré (*Sander vitreus*) et les carpes (famille des *Cyprinidae*) affichent une réponse biologique très positive dans des habitats formés de bois^{20, 82}. De la même façon que pour les organismes benthiques, ces environnements représentent pour eux une source abondante de

nourriture ainsi qu'un refuge de qualité (thermique, hydraulique et prédation). La forte concentration de macroinvertébrés associée au bois en rivière, eux-mêmes présents à cause de la prolifération d'algues, représente une grande quantité de nourriture pour le poisson⁷⁹. De plus, la diversité des formes, la taille des sédiments et les vitesses d'écoulement induite par la présence de bois en rivière permet de créer des habitats complexes qui peuvent servir de source d'alimentation et de repos. Les vitesses d'écoulement y sont ralenties et elles agissent comme refuge hydraulique, c'est-à-dire que les poissons peuvent s'abriter des courants plus rapides et rester au repos^{6, 75, 83}. Wright et Flecker⁸⁴ ont comparé le nombre d'espèces de poissons et le nombre d'individus retrouvés dans des fosses avec et sans bois en rivière. Ensuite, ils ont introduit du bois dans les fosses qui en étaient dépourvues afin d'analyser l'évolution de l'habitat. Dans un premier temps, ils ont constaté que le nombre d'espèces et d'individus est nettement plus élevé dans les fosses avec bois que dans les fosses sans bois. Ils ont retrouvé un nombre élevé d'espèces rares, soulignant la qualité exceptionnelle de ces habitats. Suite à l'ajout de bois dans les fosses désignées, ils ont vu la diversité d'espèces et d'individus s'accroître pour atteindre des caractéristiques similaires aux fosses naturellement formées par le bois.

Par ailleurs, les fosses formées par le bois en rivière sont généralement plus profondes que celles formées sans bois⁵⁷. En cas d'étiage sévère, celles-ci s'avèrent être un des rares refuges pouvant soutenir la présence de certains poissons matures, tels que la truite fardée (*Oncorhynchus clarkii*) et le saumon coho (*Oncorhynchus kisutch*)⁸⁵. Lorsque les fosses sont couvertes par une masse de bois qui ralentit une portion de l'écoulement, celles-ci sont aussi utilisées lors des périodes de grandes crues et durant la saison hivernale par les poissons⁷⁶. En plus d'un refuge hydraulique, les fosses associées au bois en rivière sont des refuges thermiques importants pour le poisson. En milieu aquatique, de nombreuses espèces de salmonidés profitent des températures d'eau plus froide. La portion de la section transversale occupée par le bois procure une source d'ombre où les poissons peuvent s'abriter du rayonnement solaire, surtout durant les périodes de températures extrêmes^{15, 86}. Les tronçons de cours d'eau qui comprennent le plus de bois affichent généralement une température inférieure à ceux qui n'en comptent pas ou peu⁸⁷. Ainsi, le bois en rivière contribue à maintenir l'eau à une température favorable au développement des poissons. De plus, les structures de bois en rivière augmentent l'isolation visuelle des individus, ce qui diminue la prédation, la compétition pour la ressource

alimentaire ainsi que les comportements agressifs^{79, 88}. Ceci se traduit par un plus grand nombre d'individus vivant au sein d'un même environnement, une plus grande variété d'espèce et d'âge, et des poissons d'une taille supérieure⁸⁹.

En somme, le bois en rivière crée des habitats complexes et de qualité. Ils facilitent la colonisation d'algues riches en matières organiques à partir desquels les invertébrés benthiques peuvent se nourrir, et à leur tour, alimenter différentes espèces de poissons. Certaines se nourrissent directement sur les embâcles, alors que d'autres préfèrent capter des organismes transportés par le courant. Dans tous les cas, les embâcles de bois permettent de maintenir une proximité entre les zones de repos et les zones d'alimentation. Cette proximité permet au poisson de minimiser la dépense énergétique associée à la prédation en lui permettant de s'abriter dans un environnement couvert où les vitesses d'écoulement sont faibles, et de diminuer les distances de déplacement lors de sa quête de nourriture^{15, 88, 90}. Ils offrent aussi un éventail de conditions hydrauliques permettant à des espèces variées de trouver les conditions qui leur sont favorables à différents stades de leur développement^{76, 88}. Les plus petits poissons peuvent se réfugier dans les plus petits interstices du bois pour se protéger des prédateurs et tout de même trouver des sources d'alimentation, alors que les plus gros occupent les espaces plus vastes, tels que les fosses^{79, 91}.

Enfin, le bois récemment recruté n'a pas suffisamment de temps pour que les algues et les invertébrés s'y installent. Toutefois, les embâcles de bois peuvent être utilisés comme refuges temporaires contre les prédateurs ou les vitesses d'écoulement élevées. Le bois en rivière ancien, en revanche, met en place des conditions environnementales qui influencent l'assemblage faunique retrouvé dans les cours d'eau⁹¹. La présence de bois en rivière est d'ailleurs la variable ayant le plus d'influence sur l'habitat du poisson et sur les caractéristiques des peuplements aquatiques⁹¹. **Ainsi, dans une démarche visant le maintien d'un habitat de qualité et diversifié ou pour la restauration des cours d'eau, le bois en rivière devrait, autant que possible, être maintenu au sein des cours d'eau**^{2, 76, 92}. La perception généralement négative des bois en rivière⁹³ et le message véhiculé voulant que les embâcles de bois soient des obstacles à la migration des poissons⁹⁴ ont engendré un nettoyage fréquent (et parfois systématique) des accumulations de bois dans les rivières de toutes tailles. Avec les connaissances scientifiques actuelles, il est reconnu que les bois (embâcles et morceaux

individuels) en rivière sont naturels et essentiels à la création d'habitats hétérogènes et complexes. Cela se traduit par une augmentation de la géodiversité des formes en rivière et par une augmentation de la biodiversité, tant pour les rivières de petites, moyennes ou grandes tailles. À l'inverse, le retrait d'embâcles et de bois en rivière risque d'engendrer une diminution de la qualité de l'habitat en rivière. Le fait de démanteler un embâcle ou non devrait donc être uniquement basé sur des questions de sécurités civiles immédiates, sans quoi, le maintien ou l'ajout de bois dans les cours d'eau devrait être préconisé. Pour de l'information détaillée sur les méthodes de restauration de l'habitat du poisson en rivière et l'utilisation du bois en rivière, consultez les travaux de Biron² pour une recension des écrits scientifiques et le *Large Wood National Manual*⁹⁵ pour la réalisation de travaux d'aménagement et de conservation des bois en rivière en lien avec l'habitat du poisson.

Éléments à retenir : IV. Le rôle du bois en rivière sur la dynamique et la biodiversité fluviale

- Le bois exerce une influence sur le dynamisme des cours d'eau en complexifiant la structure de l'écoulement, la dynamique sédimentaire et la morphologie;
- Le niveau d'influence du bois relève principalement de la proportion du chenal obstrué, de la position, de la dimension, de la stabilité et de la complexité des embâcles;
- Il est naturel, normal et attendu que les embâcles de bois complexifient le fonctionnement des rivières en modifiant les caractéristiques morphologiques et géométriques du chenal;
- Les embâcles agissent comme des obstructions poreuses qui laissent s'infiltrer une proportion plus ou moins grande de l'écoulement, de sédiments ou de nutriments;
- Le bois en rivière n'est généralement pas une barrière infranchissable pour les espèces aquatiques et favorise la biodiversité en rivière;
- La présence de bois en milieu fluvial représente un avantage écosystémique considérable;
- Les tronçons de rivières caractérisés par la présence d'embâcles de bois comptent un nombre de fosses généralement plus élevé et plus profondes que dans les secteurs qui ne comptent que peu ou pas d'embâcles;
- Le bois en milieu fluvial permet de créer des habitats complexes et de qualité;
- Dans une démarche visant le maintien d'un habitat aquatique de qualité et diversifié ou la restauration des cours d'eau, le bois en rivière devrait, autant que possible, être maintenu au sein des cours d'eau;
- Le fait de démanteler un embâcle ou non devrait uniquement se baser sur des questions de sécurités civiles immédiates, sans quoi, le maintien ou l'ajout de bois dans les cours d'eau devrait être préconisé.

V L'influence globale du bois en rivière sur le système fluvial

La présence de bois en rivière se répercute de façon directe dans la section transversale d'un cours d'eau. Les effets discutés dans le chapitre précédent sont généralement localisés à proximité du bois et des embâcles. Or, dans les cours d'eau caractérisés par de grands volumes de bois ou un grand nombre d'embâcles, ces effets se manifestent de façon répétée et hiérarchisée le long du corridor fluvial, si bien que des tronçons entiers sont soumis à leur influence de manière plus ou moins importante, ce qui engendre des réponses du système fluvial directement influencées par la présence de bois en rivière. Nous exposerons ici trois de ces réponses à l'échelle du corridor fluvial.

a. La réponse hydrologique

La présence de bois en grande quantité dans un corridor fluvial et ses tributaires peut influencer l'hydrogramme de crue (Figure 17). Le bois en rivière représente un élément de rugosité supplémentaire au sein du chenal⁴. L'écoulement est ralenti et le temps nécessaire pour acheminer l'eau vers l'exutoire est plus grand. Ainsi, le bois en rivière peut allonger la période de crue. De plus, parce que la concentration de l'écoulement vers l'exutoire est diminuée et que l'eau demeure stockée plus longtemps dans des portions du corridor fluvial où se trouvent des quantités significatives de bois, le pic de crue peut être réduit significativement⁹⁶.

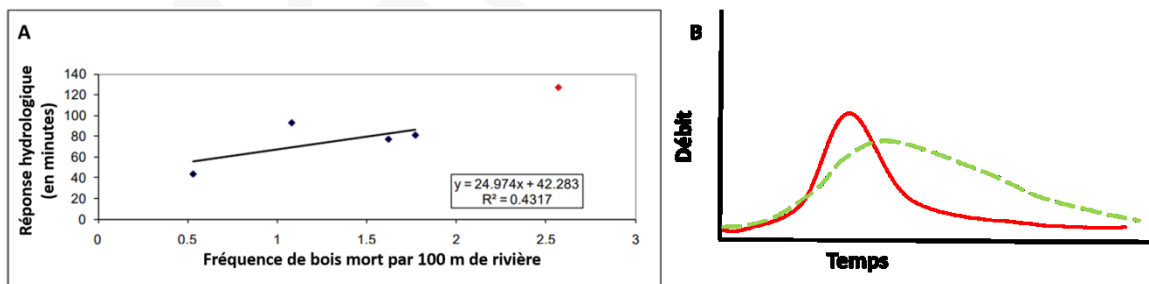


Figure 17. A) Influence du bois en rivière sur la réponse hydrologique d'un cours d'eau (adaptée de Kitts, 2010⁹⁷) et; B) Représentation conceptuelle d'un diagramme de crues (rouge: crue sans bois; vert: crue avec bois)

Si le bois ralentit l'écoulement de manière à provoquer un débordement au-dessus du niveau plein bord, il y a inondation. Ce phénomène est certes indésirable en milieu urbanisé, mais s'il survient en milieu naturel ou peu aménagé, les répercussions négatives sont minimales, voire nulles, alors que les bénéfices sont grands. Par exemple, le volume d'eau accumulé dans une plaine alluviale non aménagée représente un volume d'eau en moins dans une portion urbanisée en aval. Le bois en rivière peut donc provoquer un effet d'éponge, en retenant de grands volumes d'eau sur la plaine, limitant les inondations en aval⁵⁶. De plus, la présence de bois en rivière tend globalement à stabiliser les cours d'eau⁵. En provoquant un élargissement du chenal ou la formation de chenaux secondaires, le bois force la dissipation de l'énergie du cours d'eau. Ces effets se manifestent à l'échelle des embâcles eux-mêmes, mais aussi à l'échelle du tronçon, lorsque de multiples accumulations sont présentes. Ces configurations permettent aussi d'atténuer l'effet des crues et les tronçons caractérisés par de grands volumes de bois manifestent moins de changement face à des crues de récurrence d'environ 5 ans⁵³.

b. La réponse sédimentaire

La relation qui unit le bois et la dynamique sédimentaire se manifeste de façon bidirectionnelle⁵⁷. Les bancs d'accumulation et les zones peu profondes favorisent le stockage du bois au sein du chenal. Inversement, la présence de bois en rivière ralentit l'écoulement de l'eau et permet aux sédiments de se déposer. Ainsi, dans les tronçons dynamiques, où la migration latérale du chenal est rapide et que les bancs d'accumulation sont imposants, le bois accumulé interagit avec la dynamique sédimentaire et permet de stabiliser les bancs d'accumulations. Dans certains cas, ils permettent à ceux-ci de se végétaliser, ce qui confère une stabilité accrue du chenal⁵⁵.

De plus, la présence de bois dans certains secteurs est inévitable, et même favorable. En effet, les zones d'accumulations préférentielles accumulent un grand volume de bois dû aux configurations morphologiques du chenal. Les secteurs de faible profondeur d'eau, les bancs d'accumulation, les zones de méandres et les rétrécissements du cours d'eau tendent à accumuler le bois plus facilement⁹⁸. Il est pertinent d'identifier ces secteurs et de les conserver afin d'anticiper les ajustements qu'un cours d'eau peut mettre en place lors d'une variation dans les volumes de bois. Piégay et Gurnell¹⁰ soulignent que ces tronçons permettent de capter le bois en transit et de les retenir, ce qui réduit le volume de bois en rivière susceptibles d'être

acheminés vers les infrastructures plus en aval et de les endommager. Selon eux, le bois devrait être retiré du cours d'eau seulement en cas d'urgence, lorsque les infrastructures sont directement menacées.

c. L'évolution du style fluvial ou le cycle du bois en rivière

En milieu naturel, il est pratiquement incontournable de retrouver une végétation arborescente développée sur la plaine alluviale, au sommet des berges. En milieu urbanisé ou en milieu agricole, la présence de végétation riveraine est plutôt due à des stratégies d'aménagement ou à l'imposition d'une bande riveraine. Quel que soit le milieu, les caractéristiques de ripisylve jouent un rôle fondamental sur la dynamique du bois en rivière, car elles conditionnent l'essence, la taille et la quantité d'arbres recrutés par le cours d'eau. En décrivant les liens qui unissent la ripisylve et la rivière, Collins et al.⁴⁷ proposent d'aborder la dynamique du bois en rivière sous la forme d'un cycle de la plaine alluviale (Figure 19). Ce cycle concerne les cours d'eau s'écoulant dans des plaines alluviales composées de sédiments peu cohésifs et où la migration latérale du cours d'eau est un processus normal et fréquent. Dans cet environnement, la migration latérale du cours d'eau recrute des arbres présents sur la plaine alluviale (Figure 18). Ces arbres sont alors transportés et évacués ou encore accumulés au sein du cours d'eau.

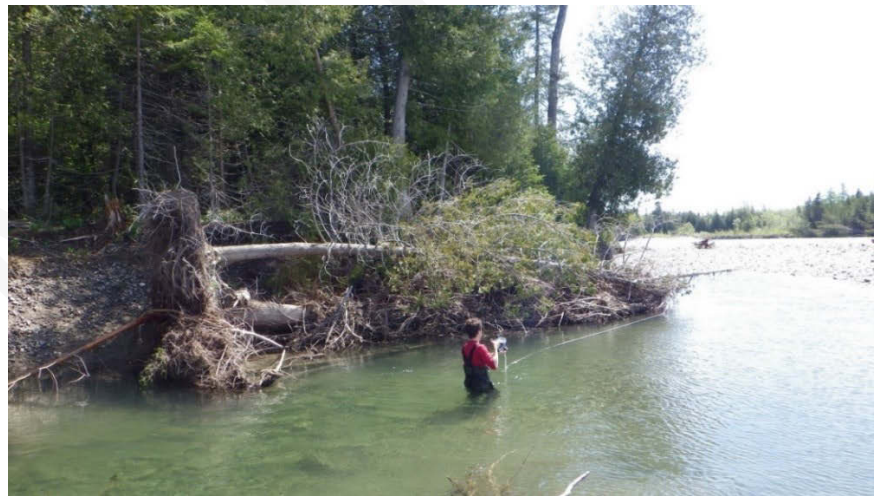


Figure 18. Exemple de bois produits par la migration latérale d'un cours d'eau. Rivière Saint-Jean, Gaspé

Lorsqu'il y a accumulation de bois, deux scénarios opposés sont possibles. En fonction de leur taille, de leur position et de leur orientation, les arbres peuvent rediriger l'écoulement vers la berge, exacerbant l'érosion ou se loger contre elle et la protéger. Dans le premier scénario, le

bois force l'érosion d'une berge et les arbres qui y sont perchés sont recrutés par le cours d'eau et représentent une source directe de bois en rivière. La migration du chenal et le renouvellement de la plaine limitent alors l'âge des peuplements forestiers, qui doivent se renouveler constamment sur la plaine alluviale. Dans le second scénario, le bois est accumulé dans le chenal de façon suffisamment durable pour protéger une berge de l'érosion ou forcer le développement d'un îlot (Figure 20) ou d'un banc d'accumulation central (Figure 16). Il se crée des lambeaux de plaines alluviales soustraits aux forces hydrauliques où la végétation est libre de se développer jusqu'à maturité. Dans les deux scénarios, les arbres les plus imposants en taille et en diamètre recrutés par le cours d'eau agissent comme troncs clés autour desquels s'accumulent d'autres bois en transit, ce qui permet d'initier la formation d'un embâcle de bois en rivière.

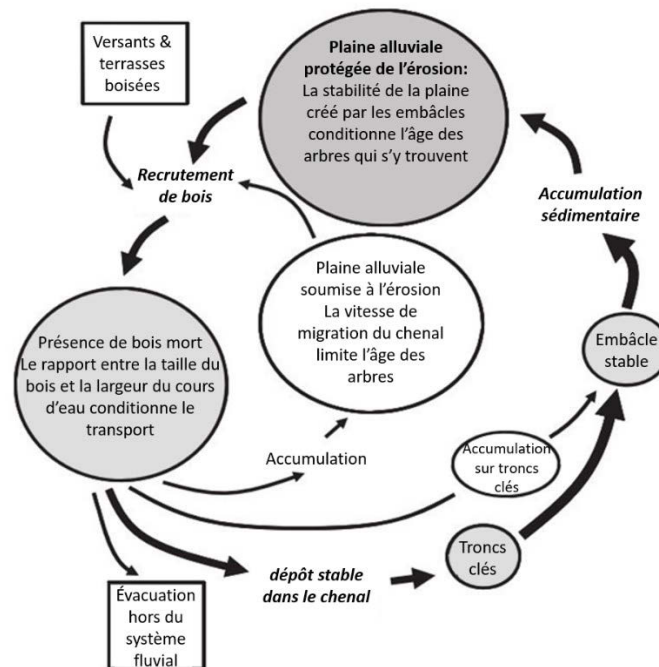


Figure 19. Cycle de la plaine alluviale (adaptée de Collins et al.⁴⁷)

Ainsi, les processus qui gouvernent le cycle de Collins et al.⁴⁷ décrivent une boucle de rétroaction qui se traduit par le développement et l'entretien d'une dynamique fluviale spécifique aux environnements caractérisés par le bois en rivière (Figure 19). Pour qu'un arbre complète l'ensemble du cycle, il faut compter plusieurs dizaines, voire des centaines d'années,

mais ce qu'il importe de comprendre, c'est que chacune des étapes représentées est en cours de façon simultanée et que les processus qui gouvernent la dynamique du bois en rivière agissent en permanence (Figure 19). Au moment où un arbre est arraché à la berge à un endroit, il existe un ou plusieurs embâcles ailleurs sur le cours d'eau qui exercent déjà une influence sur le fonctionnement écosystémique et géomorphologique du système.

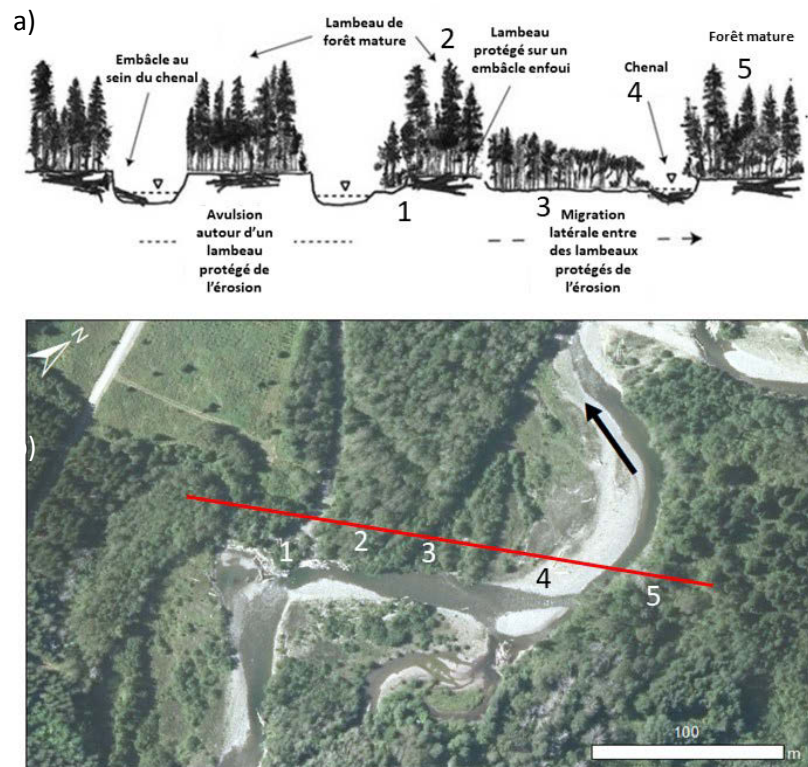


Figure 20. a) Coupe schématique d'une plaine alluviale (adaptée de Collins et al.⁴⁷); b) représentation de la coupe sur la rivière de Mont-Louis.

d. La notion d'échelle

L'analyse de la dynamique du bois en rivière peut être faite selon une gamme d'échelles temporelles et spatiales. Par exemple, le cycle de Collins et al.⁴⁷ repose sur une vision à long terme des étapes qui conditionnent la dynamique du bois en rivière (plusieurs centaines d'années). Ce type d'analyse apporte suffisamment de recul pour mettre en lumière la cyclicité des événements et les liens qui unissent le cours d'eau et le bois, mais peut apparaître moins adéquate pour les personnes préoccupées par la gestion des cours d'eau (quelques années à

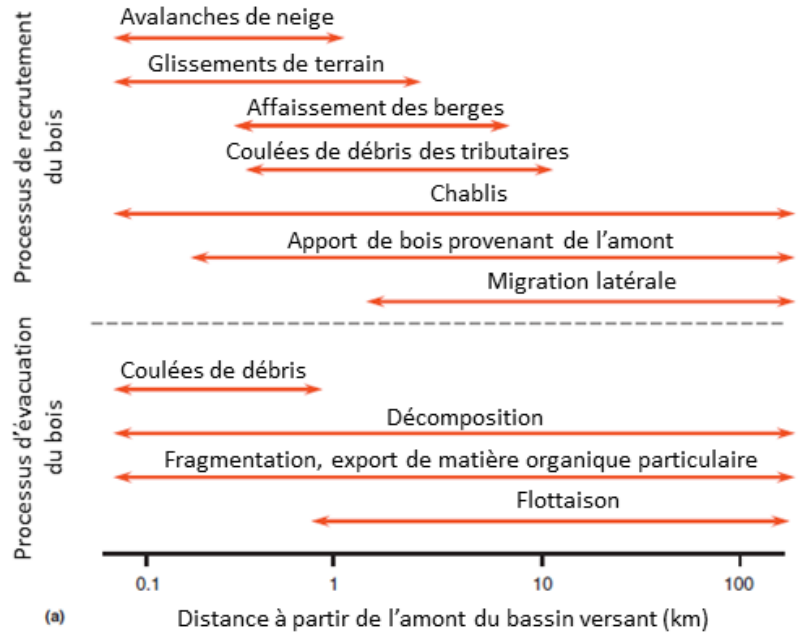
quelques dizaines d'années). Les approches orientées vers la gestion ciblent en effet généralement des échelles annuelles ou pluriannuelles afin d'identifier les effets immédiats d'un embâcle ou encore ceux des interventions réalisées⁹⁹. Toutefois, chacune des étapes du cycle est gouvernée par un ensemble de processus qui, bien qu'ils se manifestent sur de courtes périodes de temps, participent à un cycle qui s'échelonne sur une plus longue période. Ainsi, il demeure pertinent de positionner ces processus dans ce cycle afin d'en assurer une gestion durable. Pour répondre adéquatement aux objectifs de gestion, il est donc nécessaire de cibler adéquatement l'échelle de temps servant le mieux l'analyse, selon la problématique et le contexte hydrogéomorphologique.

Alors que la formation d'un embâcle à un endroit donné peut être perçue comme une perturbation aux effets indésirables tels que l'augmentation des taux d'érosion, la présence de bois tend aussi à stabiliser les cours d'eau sur une plus longue période de temps. L'obstruction que représente l'embâcle peut forcer le développement d'un chenal secondaire, qui permet d'atténuer l'intensité des crues⁵. Ainsi, même si des stratégies de gestion doivent être adoptées sur une période restreinte, il est primordial de les inscrire dans une démarche à long terme, car les effets du bois sur la dynamique fluviale s'expriment de façon durable dans le temps.

Par ailleurs, l'échelle spatiale joue aussi un rôle déterminant sur la dynamique du bois en rivière, notamment au niveau des processus de production, de transport et d'accumulation. Quelques études ont positionné les dynamiques du bois en rivière dans un continuum spatial illustrant la diversité des processus et leur importance relative selon l'échelle. D'abord, Keller et Swanson⁵⁸ mettent en évidence qu'en fonction de la position dans le bassin versant, les processus associés à la production et au transport du bois varient et que les mécanismes ne sont actifs que dans certains environnements précis (Figure 21). De manière générale, dans les petits cours d'eau en tête de bassin versant, les processus gravitaires tels que les avalanches et les mouvements de terrain dominant la production et le transport du bois, alors que les processus fluviaux s'introduisent à mesure que l'on progresse vers l'aval, lorsque l'élargissement du chenal se manifeste. La présentation des mécanismes de production, de transport et d'accumulation sera mise de l'avant au chapitre suivant. Une telle représentation souligne la nécessité de considérer la gestion du bois en rivière en considérant l'ensemble des processus œuvrant dans le bassin versant. La gestion d'une zone d'accumulation de bois, par exemple, doit être examinée en

considérant les contributions potentielles des zones de recrutement du bois en amont. Cette vision permet d'orienter les stratégies de gestion à l'échelle du bassin versant.

Ensuite, Gurnell et al.⁵ soulèvent que l'influence des caractéristiques hydrologiques, géomorphologiques et du bois en rivière varient en fonction de la taille du cours d'eau (Figure 22). Dans les cours d'eau de petite taille, le bois en rivière est souvent plus long que la largeur du chenal et il est difficilement mobilisable, peu importe les conditions hydrologiques et géomorphologiques. Les caractéristiques du bois prennent alors beaucoup plus d'importance, surtout en ce qui concerne la hauteur des arbres vivants. Dans les cours d'eau de taille moyenne, les facteurs hydrologiques gagnent en importance, mais restent modérés alors que la largeur du chenal et la taille du bois sont cruciales. Ce sont d'ailleurs les caractéristiques du bois qui influencent le plus la dynamique du bois dans les rivières de taille moyenne, car dans des conditions optimales - c'est-à-dire des arbres cylindriques, qui flottent et dont la hauteur est inférieure à la largeur - les cours d'eau ont la capacité de mobiliser le bois. Toutefois, si la structure même de l'arbre est plus complexe, avec de multiples troncs ou branches par exemple, et que l'arbre coule plutôt que de flotter, un cours d'eau de même taille ne pourra pas le transporter et le bois sera plutôt susceptible de s'ancrer au lit de la rivière. Enfin, dans les rivières de grande taille, les facteurs hydrauliques contribuent davantage à la mobilité du bois, surtout lorsque celui-ci peut flotter. Le style fluvial revêt ainsi une importance particulière, car les configurations géométriques et les formes retrouvées au sein du chenal créent des zones d'accumulations préférentielles (chapitre VI). Étant donné la présence de plusieurs types d'environnement, la taille des cours d'eau est généralement caractérisée en fonction du ratio entre la hauteur des arbres de la ripisylve et la largeur du chenal. En effet, un arbre de 20 mètres de hauteur n'aura pas le même effet sur un cours d'eau d'une largeur de 10 mètres que sur celui de 50 mètres. Ainsi, les cours d'eau considérés petits ont une largeur au niveau plein bord inférieur à la hauteur des arbres, ceux de taille moyenne sont similaires et les cours d'eau larges ont une largeur qui excède la hauteur des arbres. Cette relation entre la taille du cours d'eau et les arbres est un des paramètres primordiaux influençant la distribution et la mobilité des volumes de bois au sein d'un bassin versant.



Position sur le bassin versant	Amont → Aval			
	Versants	Tête de bassin	Tresse / divagant	Méandres
Recrutement dominant	Feu, chablis, glissements de terrain	Feu, chablis, glissements de terrain	Érosion de la plaine et des îlots	Migration latérale du chenal
Transport dominant	Coulée de pierre sèche	Coulée de débris	Crues et inondations	Crues et inondations
Influence de l'occupation du territoire	Foresterie	Barrages	Réservoirs	Enrochements Coupe de la ripisylve

(b)

Figure 21. Variation des mécanismes de production et d'exportation du bois en rivière en fonction de la position sur le bassin versant (adaptée de Keller et Swanson,⁴³ dans Gurnell,⁵⁸)

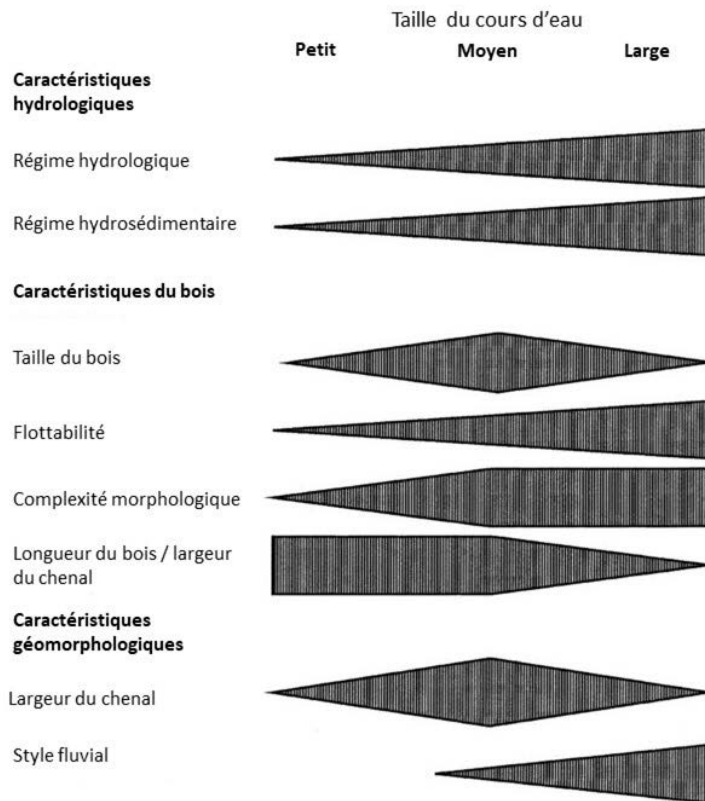


Figure 22. Facteurs de contrôle de la mobilité du bois en fonction de la taille du cours d'eau (adaptée de Gurnell et al.⁵)

Finalement, Wohl et al.⁷⁶ proposent trois échelles spatiales d'analyse permettant de cibler les enjeux de gestion de la dynamique du bois en rivière. Il est ainsi possible de s'intéresser à l'échelle du bassin versant, à partir de laquelle il est possible d'établir des bilans ligneux, à l'échelle du tronçon fluvial et à l'échelle locale, où peuvent apparaître des variations du volume de bois et des changements morphologiques (Figure 23). Dans une optique de gestion, il est donc nécessaire de cibler quelle échelle d'analyse correspond le mieux aux objectifs visés selon la problématique visée. L'échelle du bassin versant devrait néanmoins être considérée dans la majorité des analyses, car une problématique en aval d'un cours d'eau peut être causée par un apport massif en bois provenant des portions amonts d'un système fluvial. Il est donc nécessaire d'établir un protocole d'échantillonnage et d'analyse adapté à la problématique (Figure 23).

Segment amont:

Le bois crée une morphologie de marche et cuvette
Stockage de sédiments et de matière organique
Obstruction de l'écoulement et élévation du niveau d'eau
Créé des zones abritées et des habitats



Échelle du bassin versant

10³ m-10⁵ m

Segment aval:

Augmentation des échanges hyporhéiques
Créé une morphologie de seuil et de fosses
Créé des zones abritées et des habitats
Augmente l'érosion et la connectivité entre le chenal et la plaine alluviale
Initie la formation de chenaux secondaire

1 Chenal secondaire

2 Stockage de sédiments et de matière organique, fosse

3 Fosse

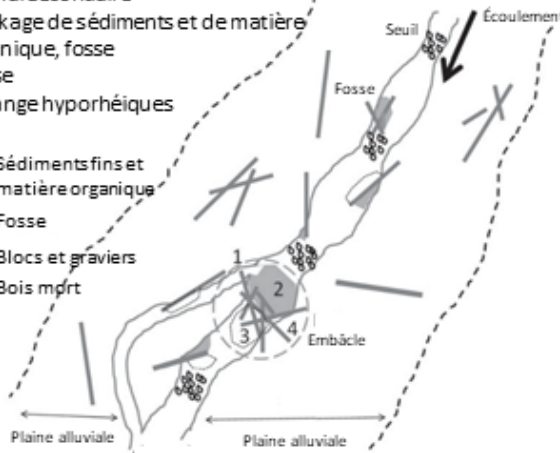
4 Échange hyporhéiques

● Sédiments fins et matière organique

○ Fosse

⊗ Blocs et graviers

— Bois mort

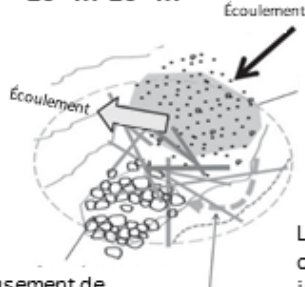


Échelle du tronçon

10¹ m-10³ m

Échelle du site

10⁰ m-10¹ m



Le refoulement permet la rétention de sédiments fins et de matière organique et augmente la diversité d'habitat

Le bois procure un abris pour le poisson, un substrat pour les algues et les macroinvertébrés et des nutriments

Le bois peut exacerber l'érosion des berges, obstruer l'écoulement et augmenter les inondations et le stockage de sédiments

Le creusement de fosses en aval crée des zones de vitesses accélérées et de sédiments grossiers

Le bois influence les échanges hyporhéiques, influençant la chimie de l'eau et l'habitat des macroinvertébrés

Figure 23. Schématisation des échelles d'analyses de la dynamique du bois en rivière (adaptée de Wohl et al.⁷⁶)

Éléments à retenir : V. La dynamique du bois en rivière dans le système fluvial

- La présence de bois en rivière se répercute de façon directe au sein du cours d'eau et il peut à la fois accentuer l'érosion, la réduire ou encore forcer l'accumulation de sédiments;
- La présence de bois dans certains secteurs est inévitable et même favorable et il est pertinent d'identifier ces secteurs et de les valoriser afin d'anticiper les ajustements qu'un cours d'eau peut mettre en place lors d'une variation dans les volumes de bois;
- L'analyse de la dynamique du bois en rivière peut être faite selon une gamme d'échelles temporelles et spatiales variées;
- Bien que la formation d'un embâcle à un endroit donné peut être perçue négativement en lui associant des effets indésirables tels que l'augmentation de l'érosion, la présence de bois en rivière peut aussi avoir des effets bénéfiques, par exemple stabiliser les cours d'eau sur une plus longue période de temps;
- Il est possible d'analyser la dynamique du bois en rivière selon trois échelles spatiales : à l'échelle du bassin versant, à partir de laquelle il est possible d'établir des bilans ligneux, à l'échelle du tronçon fluvial et à l'échelle locale, où peuvent apparaître des variations du volume de bois et des changements morphologiques;
- Idéalement, les stratégies de gestion doivent s'appuyer sur une analyse à multiples échelles spatiales et temporelles;
- Les décisions de gestion doivent s'inscrire dans une démarche à long terme, car les effets du bois sur la dynamique fluviale s'expriment de façon durable dans le temps.

VI Les bilans ligneux à l'échelle du corridor fluvial et du bassin versant

La mise en place d'un bilan ligneux à l'échelle du bassin versant ou d'un corridor fluvial permet de quantifier et de décrire la dynamique du bois en rivière, mais aussi et surtout l'évolution probable de cette dernière^{49, 58, 100}. De la même façon que pour le bilan sédimentaire, le bilan ligneux repose sur l'équilibre entre trois composantes : les apports, le stockage et les exports^{27, 55, 58, 100, 101}. À l'échelle du bassin versant, on identifie des zones de production, de transport et d'accumulation (

Figure 24). Keller et Swanson⁵⁸ ont été les premiers à aborder la dynamique du bois en rivière sous la forme d'un bilan, suite à quoi Benda et Sias¹⁰² ont proposé un cadre quantitatif permettant d'évaluer avec plus d'exactitude les volumes de bois produits, stockés et évacués. Plus récemment, Boivin et al.²⁷ ont proposé une adaptation de la formule de Benda et Sias¹⁰², soutenant que le bilan ligneux peut s'exprimer sous la forme suivante :

$$P = E + D + \Delta S \quad (1)$$

Où P représente la production, E représente les exports, D , la décomposition et ΔS , la variation du stockage dans le cours d'eau. Toutefois, en milieu naturel, il s'avère ardu d'établir un bilan complet, parce que certaines composantes sont difficilement mesurables, particulièrement les exports (E) et la décomposition (D).

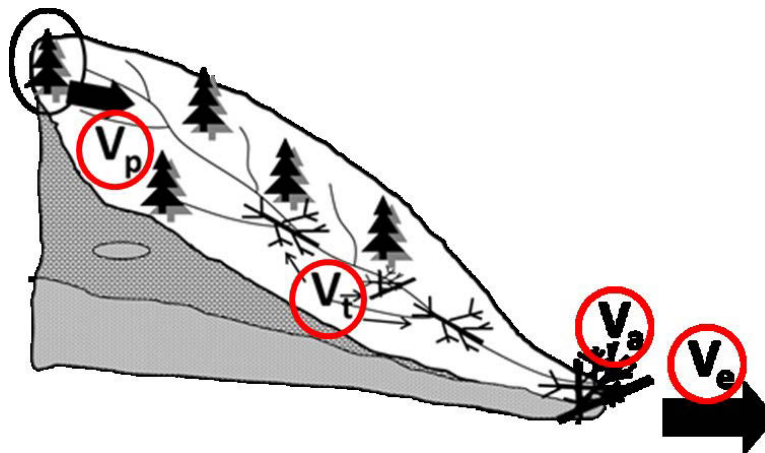


Figure 24. Représentation des principales composantes de la dynamique du bois en rivière à l'échelle du bassin versant. V_p : volumes produits, V_t : volumes transportés, V_a : volumes accumulés et V_e : Volumes exportés (Boivin et Buffin-Bélanger²⁹)

Pour ce qui est de l'export (E), les bassins versants étant des systèmes ouverts, ils interagissent avec d'autres systèmes limitrophes par des échanges d'énergie et de matériel¹⁰³. L'exutoire d'un cours d'eau constitue la zone d'interaction entre deux systèmes, l'un fluvial, et l'autre fluvial, lacustre ou estuarien, où sont évacués les sédiments et les bois en rivière. Dans le cas où une zone de blocage limite le transit du bois (Figure 25), cela permet de déterminer l'export du système et par conséquent de boucler toutes les composantes d'un bilan ligneux. Dans le cas où il n'est pas possible de déterminer l'export du système, on doit se restreindre à mettre en place un bilan ligneux partiel où toutes les composantes ne sont pas quantifiées^{100,102}. Pour ce qui est de la décomposition (D), le contexte bioclimatique tempéré, marqué par de longues périodes froides comme c'est le cas au Québec, minimise l'activité biologique qui apparaît alors insuffisante pour modifier significativement les volumes de bois en rivière aux échelles annuelles et décennales¹⁰⁵. Le temps de résidence du bois dans ces tronçons est donc généralement plus élevé⁹⁸. La perte de volume de bois par décomposition est ainsi généralement considérée comme non significative pour la mise en place de bilan ligneux à des courtes périodes de temps^{26,55}. Ainsi, suivant l'équation (1), le bilan ligneux peut s'établir par la quantification des volumes de bois produits et des variations de stockage dans le bassin versant.



Figure 25. Exemple d'accumulation majeure limitant le transport de bois à l'extérieur d'un bassin versant, Rivière Saint-Jean, Gaspé.

Tout comme c'est le cas pour la dynamique sédimentaire, il existe au sein du bassin versant des zones de production, de transport et d'accumulation pour la dynamique du bois en rivière (Figure 26). Toutefois, il est parfois difficile d'utiliser un modèle simplifié en ce qui concerne le bois en rivière, car la distribution spatiale de ces zones est conditionnée par la mobilité du bois le long du corridor fluvial, elle-même dépendante du rapport entre la taille des arbres et celle du chenal⁹⁸.

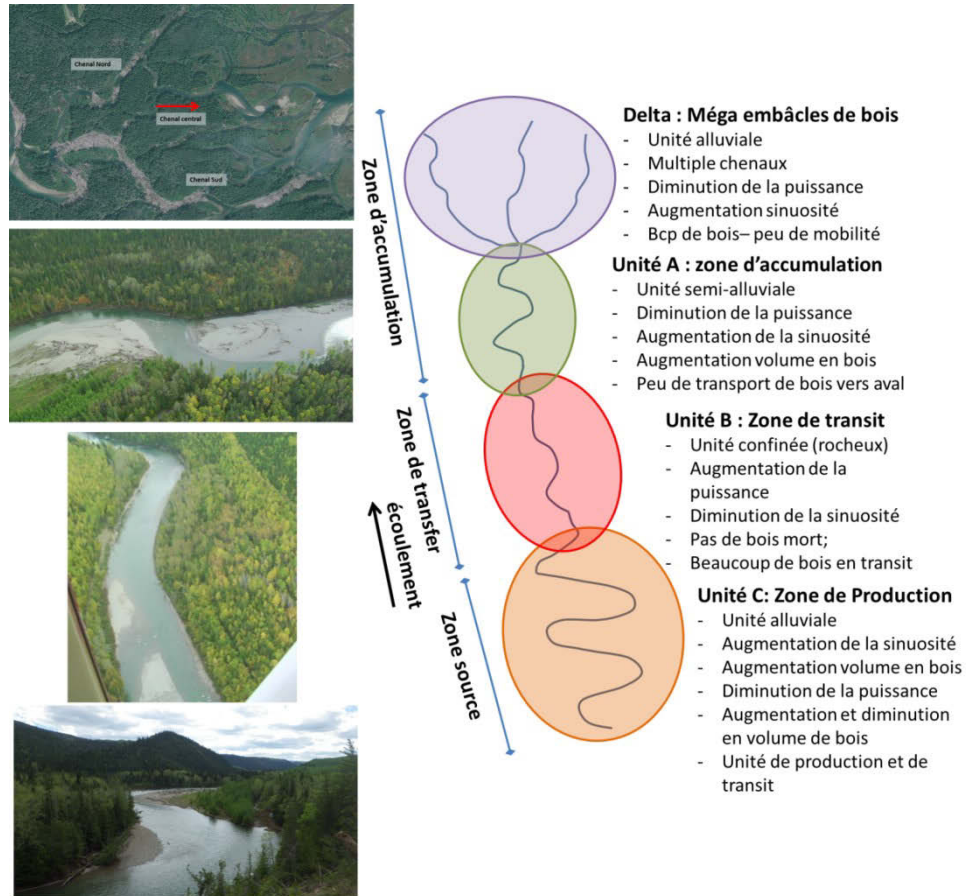


Figure 26. Exemple de segmentation fluviale en lien avec la dynamique du bois en rivière. Rivière Saint-Jean, Gaspé.

Les chenaux les plus étroits, généralement situés dans la portion amont du bassin versant, comptent un grand nombre d'embâcles, car la taille du bois excède souvent la largeur du cours d'eau, rendant le transfert vers l'aval difficile^{5, 106, 107}. Ces accumulations sont souvent de petites tailles, peu structurées et distribuées aléatoirement le long du chenal^{16, 44, 55}. Inversement, les accumulations de bois en aval sont moins nombreuses, plus volumineuses et respectent une certaine distribution spatiale, alors que l'élargissement progressif du chenal confère la capacité

de transport nécessaire pour acheminer le bois vers des zones d'accumulations préférentielles^{5, 10, 49, 58}. Ainsi, l'établissement d'un bilan ligneux repose sur la reconnaissance des processus qui gouvernent chacune des composantes de la dynamique du bois en rivière, c'est-à-dire le recrutement, le transport et l'accumulation, afin d'identifier les tronçons de rivières qui leur sont associés.

a. Recrutement du bois en rivière

Lorsque des arbres qui composent la ripisylve sont introduits dans le cours d'eau, c'est que des processus contribuant au recrutement de bois sont en action. Ils varient grandement en fonction de la taille des cours d'eau et de leur position au sein du bassin versant. Dans les cours d'eau de taille modeste en tête de bassin, généralement d'ordre 1 à 3, le contrôle lithologique et les fortes pentes favorisent le développement d'un style fluvial linéaire où la migration latérale est très faible, voire nulle^{104, 108}. À moins d'un élargissement spectaculaire du cours d'eau ou d'une avulsion, le recrutement de bois repose généralement sur les processus de versant tels que les glissements de terrain ou les avalanches de neiges et sur la mortalité naturelle, les feux ou les épidémies plutôt que sur les processus fluviaux^{13, 14, 99, 104, 109}. De cette manière, les apports en bois sont plus limités dans l'espace et dans le temps, c'est-à-dire qu'ils se produisent de façon peu fréquente et très localisée, mais lors d'un événement, ils peuvent introduire un très grand volume de bois dans le cours d'eau¹³. Par ailleurs, dans ce type d'environnement, la hauteur des arbres est généralement supérieure à la largeur du cours d'eau. Ainsi, lorsqu'ils sont introduits dans le cours d'eau, la cime des arbres atteint généralement la berge opposée, les rendant indisponibles pour le transport¹¹⁰. Pour cette raison, les petits cours d'eau en tête de bassin versant peuvent retenir un grand volume de bois¹⁰⁷. Avec le temps, la décomposition et la fragmentation réduisent la taille du bois et permettent sa mobilisation^{14, 67, 104, 111, 112}.

Avec l'augmentation de l'aire de drainage d'un bassin versant et l'élargissement du chenal, une transition dans les modes de recrutement du bois en rivière apparaît. Alors que les apports en bois des petits sous-bassins versants sont surtout conditionnés par la dynamique de versant, les caractéristiques de la ripisylve et les perturbations majeures, les bassins plus grands voient la contribution de ce type de recrutement diminuer au profit de l'érosion des berges^{13, 58, 107, 110}. Dans ces contextes, la pente de la plaine alluviale est généralement trop faible pour engendrer

des processus de versant et bien que la mortalité de la ripisylve permette d'introduire du bois dans le système, cet apport reste marginal dans les cours d'eau où les taux d'érosion sont élevés^{5, 99}. En période de crue, l'écoulement de l'eau exerce une pression à la base des berges concaves, le matériel qui s'y trouve est délogé et la portion supérieure de la berge se retrouve perchée au-dessus du cours d'eau. Lorsque suffisamment de sédiments ont été érodés, cette portion de la berge, où s'ancrent les racines des arbres, cède dû au manque de support, permettant aux arbres de basculer dans le chenal (Figure 27).

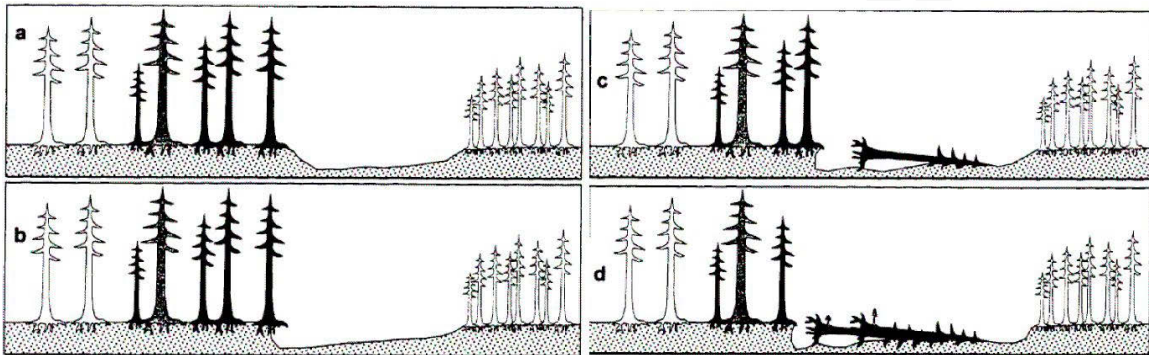


Figure 27. Recrutement de bois par migration latérale du cours d'eau (adaptée de Abbe, 2000¹¹³ par Boivin et Buffin-Bélanger, 2010²⁹)

En somme, il est possible de distinguer, le long d'un corridor fluvial, différents modes de recrutement des bois en rivière. Cela peut être l'occurrence de feux, de maladies, de mortalité naturelle, de mouvements de masse ou de la migration latérale. En présence d'une ripisylve, la dynamique fluviale devient le principal facteur de contrôle sur le mode de recrutement. Les cours d'eau plus statiques sont chargés en bois par des phénomènes appartenant à la mortalité des arbres ou des apports de l'amont, alors que les secteurs à forte mobilité recrutent davantage de bois par l'érosion des berges^{5, 13, 110}. Il est donc impératif de procéder à une reconnaissance de la dynamique du cours d'eau et à l'identification d'un ou plusieurs styles fluviaux afin d'anticiper adéquatement les modes et les taux de recrutement du bois en rivière sur un bassin versant ou un tronçon fluvial.

b. Transport

La mobilité du bois en rivière repose sur trois paramètres fondamentaux : (i) les caractéristiques de la végétation riveraine, (ii) le régime hydrologique et, (iii) la morphologie du chenal⁵. Comme c'est le cas pour le recrutement du bois en rivière, la relation entre la taille du cours d'eau et la hauteur des arbres est critique, car c'est elle qui conditionne la contribution de chacun de ces paramètres au niveau du transport du bois. En effet, lorsque la hauteur des arbres est inférieure à la largeur du cours d'eau et que le diamètre du tronc est inférieur à la profondeur d'eau, le bois est plus mobile, car il s'ancre plus difficilement au lit^{98, 104, 111, 114}. Ainsi, avec l'élargissement progressif du chenal le long d'un corridor fluvial, le bois devient plus mobile^{55, 98, 101}.

Dans les petits cours d'eau, les arbres tombés vont généralement s'ancre entre les deux berges, ils sont donc très peu mobiles⁴⁴. Dans ce type d'environnement, le transport du bois se fait donc lorsque des processus torrentiels s'activent ou que le bois se fragmente où se décompose. Lorsqu'elles surviennent, les écoulements torrentiels dégagent énormément d'énergie et peuvent être suffisamment puissantes pour acheminer le bois accumulé vers un cours d'eau d'ordre supérieur, et pour fragmenter le bois, ce qui facilite son transport¹³. Lorsque le bois demeure stable au sein du chenal, des mécanismes chimiques et biologiques activent la décomposition⁸⁶. Ainsi, le bois en rivière se fragmente plus facilement et après des années, il peut être transféré vers un système plus grand en aval.

De plus, comme les caractéristiques physiques et géométriques du bois sont des éléments influençant le transport, le type d'arbre qui compose la ripisylve apparaît comme une variable déterminant dans la mobilité du bois¹¹⁵. En effet, la complexité morphologique du tronc, la présence de réseau racinaire, la souplesse du bois et sa capacité à flotter sont des éléments qui conditionnent la capacité de transport dans un cours d'eau. D'une part, la présence de branchage ou d'un réseau racinaire développé favorise l'ancrage des arbres aux berges ou au lit du chenal, ce qui peut conférer au bois une stabilité accrue^{116, 117}. Les conifères forment des troncs généralement droits et qui concentrent la plus grande portion de leur masse. Lors de la chute, les branches sont facilement arrachées, laissant des cylindres uniformes faciles à mobiliser^{5, 49, 55}. Inversement, les feuillus se fragmentent plus aisément que les résineux lors du recrutement ou du transport. Ils fournissent une grande proportion des petits fragments de bois composant les embâcles^{49, 118}. Toutefois, les feuillus peuvent aussi demeurer entiers et lorsque

c'est le cas, leur vaste réseau racinaire ainsi que la complexité de leur tronc, leur permet de s'ancrer plus facilement au lit. En effet, les feuillus possèdent parfois plusieurs troncs qui restent unis lors de leur introduction au chenal et qui les rendent difficilement mobilisables. Dans ce cas, ils se stabilisent au sein du chenal agissant à titre de troncs clés, favorisant l'accumulation de bois provenant de l'amont.

Les deux principaux mécanismes de transport du bois dans un cours d'eau sont la flottaison et la traction (ou roulement)¹¹⁹. Lorsque la densité des arbres est inférieure à celle de l'eau, les arbres se déplacent principalement par flottaison. De manière opposée, si elle la surpasse, le bois en rivière migre plutôt par traction ou roulement sur le lit de la rivière^{5, 10, 100}. À cet effet, Harmon et al.⁸⁶ ont déterminé que la densité des conifères est inférieure à celle des feuillus et que de manière générale, ils sont plutôt transportés par flottaison alors que les feuillus ont plutôt tendance à l'être par traction ou roulement. Lorsqu'ils sont submergés suffisamment longtemps, les feuillus s'imbibent d'eau, ce qui augmente davantage leur densité. Dans ce contexte, ils ont tendance à couler et peuvent s'ancrer solidement au lit¹⁶.

La dimension des chenaux d'ordre supérieur est généralement suffisamment grande pour permettre le transport du bois⁵⁵. Dans ces secteurs, la hauteur des arbres est inférieure à la largeur du chenal et le transport du bois est principalement conditionné par le régime hydrologique. Les crues sont suffisamment puissantes pour mobiliser le bois, tant que des obstacles tels que des infrastructures, des bancs d'accumulation ou des rétrécissements du cours d'eau ne limitent pas leur transport. D'après Gurnell¹²⁰, un grand volume de bois et l'orientation des bois individuels sont les meilleurs témoins de la dynamique du transport. La force appliquée sur la cime des arbres lorsqu'ils sont introduits au cours d'eau peut initier un déplacement vers l'aval alors que le réseau racinaire reste ancré à la berge ou au fond du lit, ce qui a pour effet d'orienter le tronc parallèlement au cours d'eau. De plus, les embâcles les plus volumineux sont généralement composés de bois de tailles variées, signe que des troncs plus gros ont initié la formation d'un embâcle en captant du bois en transport provenant de différentes sources en amont⁵.

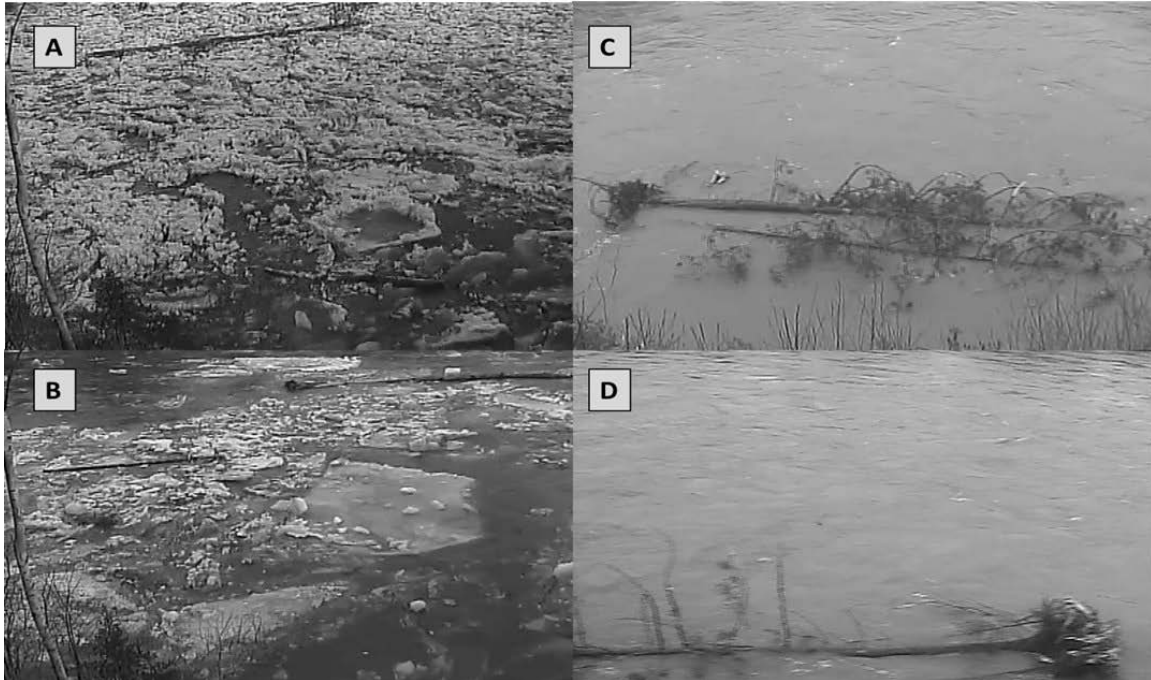


Figure 28. Transport de bois durant un évènement de débâcle mécanique des glaces (A et B) et durant une crue printanière (C et D) (Boivin¹³⁰).

En somme, bien que les mécanismes de transport puissent varier en fonction de la position du tronçon au sein du bassin versant, les principaux facteurs qui conditionnent la mobilité du bois sont le rapport entre la hauteur des arbres et la largeur du cours d'eau, le diamètre du tronc, la présence de racines et la profondeur du cours d'eau^{5, 115}. Le transport du bois se fait généralement en période de crue¹¹⁶ et plus cette dernière est grande, plus le bois peut être transporté facilement. Or, les rivières du Québec ont la particularité de former un couvert de glace lors de la période hivernale. Les effets de ce couvert sur le transport du bois en rivière sont peu documentés, mais un tel couvert semble jouer un rôle majeur sur la mobilité du bois (Figure 28). Boivin et al.²⁷ soutiennent que les taux de transport de bois lors d'une débâcle glacielle mécanique sont largement supérieurs au transport en eau libre. En effet, pour un débit équivalent à $60 \text{ m}^3/\text{s}$, ils ont enregistré un flux de 15 bois par minute, alors que des crues en eau libre de $250 \text{ m}^3/\text{s}$ et plus ont mobilisé en moyenne 1,4 et 10 bois par minute. De plus, à débits équivalents, le niveau d'eau en présence d'un couvert de glace est généralement plus élevé que ceux à l'eau libre (Figure 29). Le bois stocké sur des bancs d'accumulations ou sur la plaine alluviale, accessible seulement en temps de grandes crues, devient ainsi disponible au transport lors des débâcles glacielles²⁷.

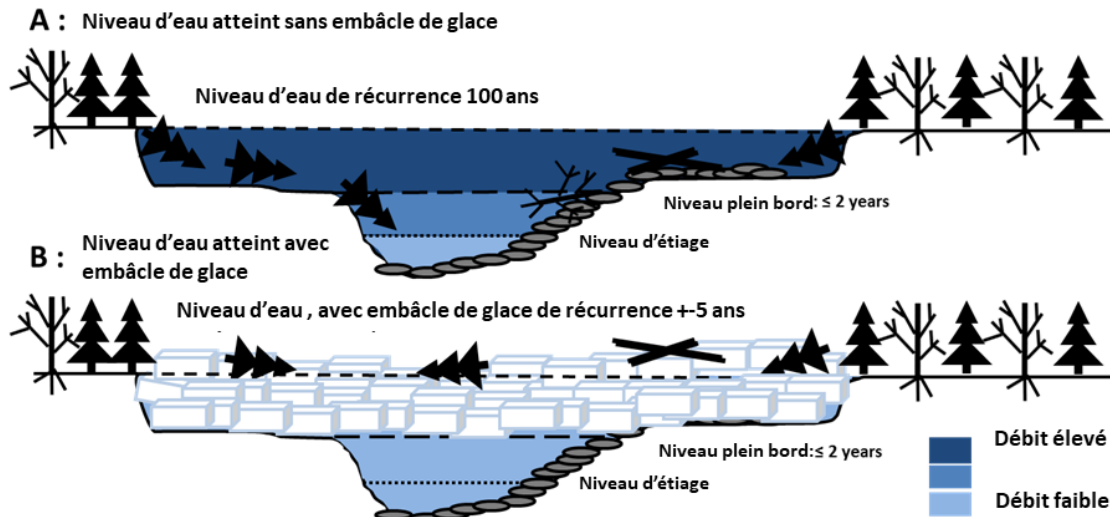


Figure 29. Représentation des niveaux d'eau atteints lors d'une débâcle glacielle (adaptée de Boivin et al.²⁷)

c. Accumulation de bois en rivière

Lorsque le cours d'eau n'a plus la capacité de transporter le bois (fin de crue, largeur trop faible, bancs d'accumulation, etc...), celui-ci se dépose au sein du chenal, sur les bancs d'accumulation ou encore sur la plaine alluviale, en fonction du niveau d'eau¹⁰⁷. Il peut être stocké individuellement ou accumulé avec plusieurs autres morceaux de bois pour ainsi former un embâcle^{10, 57}. De façon générale, les embâcles se structurent de l'aval vers l'amont, autour d'arbres clés suffisamment stables pour résister à l'effet des crues. Ceux-ci sont des éléments structurels qui captent le bois en transit pour former des accumulations plus complexes^{1, 5, 10, 44, 47}. Parmi les embâcles, on distingue les embâcles totaux, qui couvrent la largeur plein-bord du cours d'eau (Figure 30a) et les embâcles partiels, qui les obstruent seulement en partie (Figure 30b)¹.



Figure 30. a) embâcle total obstruant l'entièreté d'un chenal, b) embâcle partiel obstruant le chenal en partie

Comme c'est le cas pour la production et le transport, les processus qui gouvernent la composition, la structure et la distribution des embâcles varient en fonction de la taille du cours d'eau et des arbres^{5, 44}. Afin d'identifier les processus qui ont contribué à la mise en place du bois en rivière, Abbe et Montgomery⁴⁴ ont développé une typologie des embâcles qui traduit les patrons d'accumulation du bois au sein du système fluvial. Cette typologie distingue les embâcles en trois types, selon la provenance, la structure et l'organisation du bois (Figure 31).

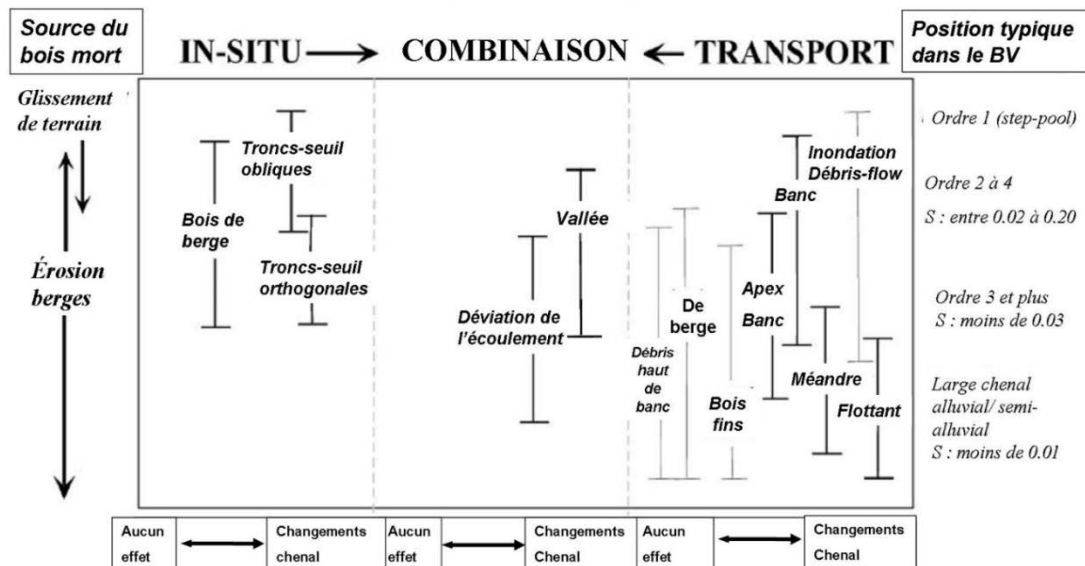


Figure 31. Typologie des embâcles de bois en rivière (Abbe et Montgomery⁴⁴)

Les embâcles *in situ* se forment lorsque le bois demeure à l'endroit initial où il a été introduit dans le système fluvial. Ils sont généralement composés de troncs et de racines de tailles suffisamment importantes pour empêcher le transit vers l'aval, ou encore d'arbres dont la

longueur dépasse la largeur du chenal (Figure 32b). Les embâcles de *combinaison* se forment lorsque des embâcles *in situ* agissent à titre de tronc clé et que d'autres morceaux de bois provenant de l'amont s'agglomèrent sur ceux-ci lors du transport (Figure 32a). Les embâcles de *transport* sont composés de bois ayant été transporté par le cours d'eau et leur mise en place relève principalement des caractéristiques géométriques du chenal (largeur, profondeur, pente, etc.) et de la dynamique fluviale (érosion, bancs d'accumulations, zones de confinement, etc.). Ce type de structure, relativement stable, est largement associé au chenal principal des cours d'eau, car ils ont généralement la capacité de mobiliser le bois lors des crues (Figure 32 c et d).



Figure 32. a) formation d'un embâcle à partir d'un tronc clé, b) formation d'embâcle *in situ* dans un chenal de moins de 10 mètres, c) formation d'un embâcle de transport sur un banc d'accumulation, d) formation d'un embâcle de transport dans un méandre brusque. Les flèches rouges représentent la direction de l'écoulement

Dans les cours d'eau de moyennes et grandes tailles, certaines zones sont favorables à l'accumulation de bois en rivière. Ces zones se situent principalement sur les bancs d'accumulations (Figure 33), sur les berges, en marge de la plaine alluviale, en amont des zones de confinement, sur les secteurs à faible pente, dans les bifurcations brusques de méandres et à l'embouchure des chenaux secondaires^{1, 29}. De plus, la présence d'embâcles dans ces secteurs amplifie l'effet d'accumulation et permet d'intercepter plus de bois lors des crues. Plus les embâcles sont volumineux, plus ils sont efficaces pour capter le bois provenant de l'amont^{50, 100}.



Figure 33. Exemple d'accumulation de bois sur deux bancs d'accumulation et sur une plaine alluviale. Rivière Saint-Jean, Gaspé.

De façon générale, le bois plus dense ou doté d'une morphologie plus complexe s'ancre et s'accumule plus facilement au sein du chenal et sur les bancs d'accumulation. Il agit généralement à titre de tronc clé pouvant initier la formation d'un embâcle, alors que celui qui a la capacité de flotter peut être déplacé sur la plaine alluviale même lorsque le débit est faible, car son transport requiert peu d'énergie^{5, 47, 49}. En se formant au sein du chenal et sur les bancs d'accumulation, les embâcles interagissent avec l'écoulement de l'eau et contribuent à modeler la dynamique fluviale à l'échelle locale, du tronçon fluvial et du bassin versant^{5, 10, 13, 14, 26, 28, 45, 55, 57, 58, 101}.

Éléments à retenir : VI. Le bilan ligneux

- En géomorphologie fluviale, la quantification des volumes de bois dans un bassin versant s'effectue par l'établissement d'un bilan ligneux;
- Il s'agit de mesurer et de positionner les apports en bois par les berges, les bois accumulés dans et à proximité du chenal et de mesurer ou d'estimer les exports;
- Les apports en bois se mesurent à partir des taux d'érosion et des zones d'apport en bois (sur le terrain ou par images aériennes historiques) multiplié par la densité de la végétation en bande riveraine;
- Une analyse par bilan ligneux peut s'effectuer à l'échelle d'une section de rivière, d'un corridor fluvial ou encore du bassin versant;
- Une analyse par bilan ligneux peut s'effectuer à différentes échelles temporelles : après chaque crue, annuelle, décennale, etc...;
- Un bilan ligneux annuel ou historique permet de bien cerner la dynamique du bois pour une gestion durable des bois en rivière.

VII Les interventions dans un contexte de gestion

Les premiers cas d'embâcles documentés en Amérique du Nord datent du début du XIX^e siècle : un embâcle de 16 km de long, 200 m de large et 2,4 m de hauteur obstruait le chenal principal du Mississippi alors que plusieurs accumulations de bois formaient une obstruction couvrant plus de 240 km sur la *Red River*, un tributaire important du Mississippi au nord de la Louisiane, rendant ces cours d'eau impraticables pour la navigation⁵⁵. Leur présence sur un territoire minimalement affecté par la présence humaine témoigne du caractère naturel du phénomène. Toutefois, pour répondre aux besoins de la colonisation, ces accumulations majeures ont graduellement été démantelées pour assurer la navigation fluviale.

Depuis le début du XIX^e siècle, des interventions visant le retrait du bois en rivière ont été menées afin de faciliter la navigation et la drave sur plusieurs cours d'eau. Au cours de cette période, Wohl³ suggère que l'absence de bois dans les cours d'eau a contribué à effacer le bois en rivière de l'imaginaire collectif et de la représentation que la population se fait des rivières. Depuis la fin du XX^e siècle, l'arrêt du « nettoyage » des cours d'eau et la gestion par bande riveraine ont permis la réintroduction du bois dans les systèmes fluviaux. Toutefois, la perception biaisée induite par une longue période de nettoyage systématique des cours d'eau laisse croire que la dynamique du bois en rivière est un phénomène nouveau et indésirable¹²¹.

Pourtant, les fonctions écosystémiques et géomorphologiques du bois en rivière sont de plus en plus reconnues et recherchées. Des efforts sont menés dans plusieurs pays pour documenter et valoriser les fonctions du bois dans les stratégies de gestion des cours d'eau^{19, 20, 21}. Dans plusieurs pays, en effet, la reconnaissance grandissante des services écosystémiques et des rôles géomorphologiques associés à la présence de bois en rivière incite décideurs et gestionnaires à maintenir, voire à réintroduire du bois dans les cours d'eau à des fins de restauration ou de mitigation des risques naturels^{8, 82, 122}.

L'histoire du bois en rivière au Québec suit la trame présentée précédemment pour l'Amérique du Nord. Le nettoyage des cours d'eau est une activité fréquemment réalisée, car une perception négative de la présence des embâcles de bois persiste, notamment en ce qui concerne la qualité des habitats aquatiques de certaines espèces de poissons. Pourtant, la présence du bois en rivière contribue à diversifier l'habitat de nombreuses espèces aquatiques

et riveraines et, dans certains cas, à limiter les risques naturels en protégeant les berges de l'érosion ou en limitant l'ampleur des crues.

Les chapitres précédents ont mis en évidence que les cours d'eau sont des entités dynamiques, que certaines rivières accumulent du bois, qu'il est possible de quantifier les volumes de bois produit, stocké et exporté, que le bois en rivière affecte la dynamique fluviale et favorise la création d'habitats complexes. L'approche actuelle favorise souvent le retrait systématique du bois dans les cours d'eau du Québec, mais différentes approches visant à valoriser les fonctions du bois en rivière sur le morphodynamisme fluvial, sur les habitats aquatiques et sur l'évaluation des risques fluviaux font leur apparition. Selon le contexte, il peut être préférable de maintenir un embâcle, de le déplacer et de l'ancrer ou de le retirer complètement. L'adoption d'un éventail d'actions adaptées à la nature du système plutôt que d'une seule appliquée de manière systématique s'accompagne toutefois de défis au moment de la prise de décision. En effet, les multiples interactions qui unissent dynamique fluviale et dynamique du bois en rivière peuvent rapidement complexifier le processus décisionnel auprès des personnes moins familières avec le sujet. Dans ce chapitre, nous exposons d'abord un éventail d'actions possibles et suggérons des références pour approfondir la prise de décision, puis nous présentons un outil d'analyse que nous proposons pour éclairer la prise de décision des décideurs dans une situation de gestion du bois en rivière.

a. Éventail d'actions

Entre le retrait systématique et la réintroduction de bois dans les cours d'eau, de nombreuses approches permettent d'assurer la saine gestion des cours d'eau en respectant la valeur écologique de celui-ci tout en limitant les risques naturels (Tableau 1). Les méthodes de stabilisation et de réintroduction du bois au sein des cours d'eau ne sont pas détaillées dans ce guide; le Tableau 2 regroupe cependant plusieurs ouvrages méthodologiques exposant avec détails de telles approches pour valoriser l'habitat du poisson ou encore pour protéger les berges de l'érosion. Le maintien du bois au sein des cours d'eau représente certainement la méthode la moins coûteuse. Elle permet au bois en rivière de remplir ses fonctions écosystémiques, mais en présence d'infrastructures, d'habitations ou de milieux agricoles, il peut représenter un risque pour la sécurité des personnes et des biens. Il est donc nécessaire d'adresser la question de la vulnérabilité de la population et des infrastructures afin de déterminer les enjeux qui apparaissent.

Tableau 1. Éventail d'actions possibles pour une gestion durable des bois en rivière (adapté de Wohl et al.⁷⁶)

Actions	Implications
Aucune action	<ul style="list-style-type: none"> - Maintient les bénéfices écosystémiques - Aucun frais
Suivi	<ul style="list-style-type: none"> - Maintient les bénéfices écosystémiques - Facilite le suivi de l'évolution à long terme - Approprié pour les secteurs à faible risque - Peu de frais
Sensibilisation et signalisation	<ul style="list-style-type: none"> - Maintient les bénéfices écosystémiques - Réduit les risques chez les usagers - Renseigne sur les bénéfices du bois en rivière
Stabilisation et réintroduction	<ul style="list-style-type: none"> - Maintient les bénéfices écosystémiques - Réduit les risques associés à la mobilité du bois
Élagage	<ul style="list-style-type: none"> - Réduit les bénéfices écosystémiques - Réduit le potentiel d'accumulation du bois en transport
Déplacement ou retrait du bois	<ul style="list-style-type: none"> - Réduit les bénéfices écosystémiques - Réduit les risques associés aux infrastructures et à l'usage - Devient rapidement coûteux - Si beaucoup de bois, peut modifier la morphodynamique du tronçon

Le suivi peut se faire à l'échelle d'un embâcle lorsqu'une problématique apparaît très localement ou à l'échelle d'un tronçon de cours d'eau. L'objectif est de saisir la manière dont évolue l'embâcle et de déterminer quelles sont les implications réelles associées à sa présence. En effet, la crainte associée aux risques peut surpasser le risque réel, alors il convient d'approfondir les connaissances sur le milieu. Ainsi, en répétant la démarche de caractérisation au fil du temps, il est possible de savoir si l'embâcle est stable, s'il accumule du nouveau bois ou s'il en perd. La caractérisation peut se faire à l'aide de fiches analytiques et de photos terrain. Dans le cas des embâcles les plus volumineux, les photographies en plan prises à partir de drones permettent d'obtenir un aperçu du site en entier.

Tableau 2. Ouvrages de référence sur la gestion du bois en rivière. Contenu ; 1: aménagements, 2: Études de cas, 3: réintroduction de bois, 4: guide technique

Auteurs	Année	Titre	Langue	Contenu
Clinton River Watershed Council ¹²³	SD	Field Manual on Maintenance of Large Woody Debris for Municipal Operation and Maintenance Crews	A	4
Dodd et al. ⁶¹	2016	The effect of natural flood management in-stream wood placements on fish movement in Scotland	A	1, 3
Bureau of Reclamation et Army Corps of Engineers ⁹⁵	2015	Assessment, Planning, Design, and Maintenance of Large Wood in Fluvial Ecosystems: Restoring Process, Function, and Structure	A	1,2,3,4
Heaton et al. ¹²⁴	2002	Ontario's Stream Rehabilitation	A	1,4
Oregon Department of State Lands et al. ¹²⁵	2010	Guide to Placement of Wood, Boulders and Gravel for Habitat Restoration	A	1, 4
Rafferty ¹²⁶	2017	Computational Design Tool for Evaluating the Stability of Large Wood Structures	A	4
Ledard et al. ²⁰	2001	Restauration et entretien des cours d'eau en Bretagne, Guide technique	F	4
JFNew ¹⁹	2007	A Premier on Large Woody Debris Management	A	1,3
Cramer ¹⁸	2012	Stream Habitat Restoration Guidelines	A	1,3,4

Tel que discuté précédemment, le bois dans les cours d'eau est de façon générale mal perçu du public⁵⁶. Cette perception est notamment due à la dimension esthétique, mais aussi à l'impression que le bois en rivière ne représente pas un phénomène naturel¹²⁷. La sensibilisation quant à l'importance du rôle que joue le bois dans les rivières représente une étape fondamentale afin de mettre en place des modes de gestion des cours d'eau intégrant la dynamique du bois en rivière tout en maintenant l'appui de la population¹²¹. Cette sensibilisation peut se faire sous forme d'activité, de dépliant distribué ou encore par la présence de panneaux d'interprétation sur des sentiers aménagés près des cours d'eau ou sur des sentiers de contournement lorsque des embâcles bloquent l'accès au cours d'eau⁷⁶.

L'élagage permet de retirer le bois instable des embâcles sans affecter le squelette de la structure¹⁹. Le cours d'eau bénéficie des avantages écosystémiques du bois en maintenant les habitats sains et diversifiés, mais réduit les risques de débâcles spontanées. De plus, il est possible de réorienter certains troncs afin qu'ils soient perpendiculaires à l'écoulement de l'eau, mais cette opération est délicate et doit être planifiée avec soins afin d'éviter les répercussions indésirables telles que l'augmentation de l'érosion en amont du bois. De plus, si le bois est manipulé et maintenu, il est nécessaire de vérifier sa stabilité et d'envisager de l'ancrer s'il ne semble pas suffisamment stable.

Finalement, en cas de danger imminent, il est possible de retirer le bois des cours d'eau. Cette démarche devrait être envisagée en dernier recours puisqu'elle est susceptible d'affecter à la fois la qualité écosystémique du cours d'eau et son activité morphologique, en causant une perte d'habitat de qualité et un apport de sédiments^{76, 80}. De plus, les interventions mécanisées nécessaires à ce type de démarche requièrent parfois la création d'accès au cours d'eau, pour laquelle une portion de la ripisylve est coupée, fragilisant grandement la berge.

Plusieurs actions sont donc possibles pour concilier bienfaits écosystémiques et mitigation des risques naturels. En général, le maintien du bois dans les cours d'eau apporte de nombreux bénéfices, mais ils représentent aussi un risque auquel il est nécessaire de s'attarder. La reconnaissance d'un éventail d'actions possibles permet de remettre en question le retrait systématique du bois. Ces démarches sont souvent coûteuses, longues et parfois vaines. En effet, le bois s'accumule dans des secteurs du cours d'eau ayant des caractéristiques géomorphologiques et hydrologiques favorables. Il est donc possible, voire probable que du bois s'accumule de nouveau dans les mêmes secteurs ou un démantèlement a été effectué, comme ce fut le cas sur la rivière Neigette³⁰ ou encore dans l'embouchure de la rivière Saint-Jean suite au démantèlement majeur de 2015 (Communications personnelles avec la Société de gestion des rivières de Gaspé (SGRG)).

b. Un outil d'aide à la décision

Les chapitres précédents ont exposé les bases théoriques de la dynamique du bois en rivière. Le chapitre qui suit présentera des études de cas et des outils de suivi et d'analyse de cette dynamique. Il est préférable – lorsque les conditions le permettent et que les enjeux sont significatifs – de mettre en place des suivis et de procéder à des études détaillées. Les études détaillées permettent d'accumuler de l'information, de raffiner le portrait du milieu et de prévoir avec plus de justesses les actions à entreprendre sur le territoire et surtout de mieux cerner la trajectoire du système fluvial. Néanmoins, de telles études requièrent du temps. Or certaines situations imposent qu'une décision soit prise rapidement ou encore ne nécessitent pas vraiment d'études détaillées.

Pour appuyer les acteurs de l'eau dans des circonstances où des décisions doivent être prises rapidement, ce guide propose un outil d'aide à la décision inspiré de *l'indice de qualité morphologique* de Rinaldi^{128, 129}. L'outil propose d'évaluer le dynamisme du cours d'eau, l'importance de la dynamique du bois en rivière ainsi que les enjeux liés à la qualité des habitats et des dangers potentiels aux infrastructures. L'idée de l'outil est de faire, pour un embâcle donné, un portrait le plus objectif possible de l'environnement fluvial où il se trouve en répondant à une série de questions. Les questions concernent quatre composantes permettant d'éclairer la décision de gestion du bois en rivière : la dynamique fluviale, la dynamique du bois en rivière, le niveau de risque lié aux enjeux et les habitats associés à la présence de bois en rivière. Ces composantes sont sommairement décrites dans le Tableau 3.

Tableau 3. Les quatre composantes de l'outil d'aide à la décision sur la dynamique fluviale et du bois en rivière

Composante	Description
Dynamique fluviale	<p>La <i>dynamique fluviale</i> concerne le niveau d'activité morphologique du cours d'eau. Cette dynamique est entre autres dépendante de la nature des berges et du lit, de la pente du cours d'eau ainsi que de la présence d'une plaine alluviale. Elle s'exprime dans le style fluvial et dans les processus observables sur le tronçon alors que son évolution est révélée par la trajectoire morphologique du cours d'eau.</p> <p>Dans cet indice, une valeur élevée est généralement associée à un cours d'eau qui transporte beaucoup de sédiments en charge de fond et qui est susceptible de se déplacer dans une plaine (érosion).</p>
Dynamique du bois en rivière	<p>La <i>dynamique du bois</i> comporte plusieurs composantes. Dans cet indice, trois groupes d'indicateurs sont utilisés pour quantifier de manière relative l'intensité de la dynamique du bois en rivière. Ces groupes représentent : le recrutement, la mobilité et l'accumulation. Le recrutement fait référence à l'apport potentiel en bois pouvant affecter le tronçon et l'embâcle pour lequel l'indice est déterminé. La mobilité expose les variables les plus significatives reliées à la mise en transport de l'embâcle observé. Finalement, l'accumulation fait référence au potentiel d'engraissement de l'embâcle et à son effet sur la morphodynamique locale.</p> <p>Dans cet indice, une valeur élevée suggère que le cours d'eau peut produire, transporter et accumuler une quantité significative de bois. Combinées, ces questions permettent d'exposer l'intensité de la dynamique du bois.</p>
Niveau de risque	<p>Le <i>niveau de risque</i> concerne le croisement entre l'intensité des processus et la présence d'enjeux susceptibles d'être affectés par ces processus. Les processus concernent l'inondation et la mobilité du cours d'eau ainsi que les caractéristiques de l'embâcle.</p> <p>Dans cet indice, une valeur élevée suggère que l'embâcle dans ce cours d'eau pose un danger significatif aux infrastructures situées à proximité de ce dernier. Cela peut suggérer qu'un démantèlement et une étude plus approfondie sont nécessaires.</p>
Diversité des habitats	<p>La <i>diversité des habitats</i> concerne les contributions de la présence de l'embâcle à la création d'habitats hétérogènes d'un point de vue du substrat, de la vitesse de l'écoulement et de la profondeur d'eau.</p> <p>Dans cet indice, une valeur élevée suggère que l'embâcle dans ce cours d'eau contribue de manière significative à la création et au maintien d'habitats diversifiés au sein du cours d'eau.</p>

Pour chacune des composantes, une dizaine de questions à choix de réponses sont proposées. L'annexe 1 présente les questions et réponses pour compiler les indices alors que l'annexe 2 explique avec détails les fondements des questions ainsi que les choix de réponses possibles. Les réponses aux questions donnent des notes entre 0 et 5 qui, cumulées pour toutes les questions, permettent de quantifier un indice de l'intensité relative de chacune des composantes à considérer lors d'une analyse portant sur la dynamique du bois en rivière. La valeur de l'indice est obtenue selon la formule suivante :

$$I = (\sum S_Q) / S_M \quad (3)$$

Où I est la valeur de l'indice pour la composante entre 0 et 1, S_Q la note associée à la réponse à une question et S_M la note maximale possible pour la question (5 ou moins). Notez que certains choix de réponses sont associés à des notes supérieures à 5 pour souligner un élément dominant de la composante. Ces valeurs plus élevées ne sont pas comptabilisées dans le calcul de l'indice. La note maximale correspond toujours à une valeur de 5 ou moins pour chacune des questions même si certains choix de réponses sont associés à des notes de 8 ou 10.

Pour chaque composante, la valeur de l'indice se situe entre 0 et 1, où 0 est un indice faible et 1 un indice élevé. Ainsi, concernant la dynamique fluviale, une valeur de 1 témoigne d'un fort dynamisme fluvial (forte mobilité du cours d'eau, transport de sédiments en charge de fond, ...) alors qu'une valeur de 0 témoigne d'un faible dynamisme fluvial (cours d'eau stable, peu de transport de sédiments). De la même manière, une valeur de 1 concernant la dynamique du bois signifie que le cours d'eau peut produire, transporter et accumuler une quantité significative de bois alors qu'un score de 0 implique que la dynamique du bois en rivière est faible.

L'intérêt des indices réside dans leur croisement pour mieux cerner l'environnement dans lequel se trouve l'embâcle. Le premier croisement proposé est celui de l'indice du dynamisme fluvial avec celui de la dynamique du bois en rivière (Figure 34) qui permet de déterminer dans quelle mesure le bois est susceptible d'avoir un effet sur le cours d'eau. Si les valeurs des indices associés à la dynamique du bois et à celle du cours d'eau sont élevées, il est possible d'estimer

que le bois en rivière affecte grandement la dynamique du cours d'eau, parce qu'il se situe dans un environnement sensible aux perturbations. Inversement, si le score associé au bois est élevé, mais que celui de la dynamique fluviale est faible, les modifications géomorphologiques susceptibles de survenir sur le cours d'eau apparaissent comme mineures. Cette information est traduite dans une matrice graphique afin de faciliter l'évaluation de la situation (Figure 34).

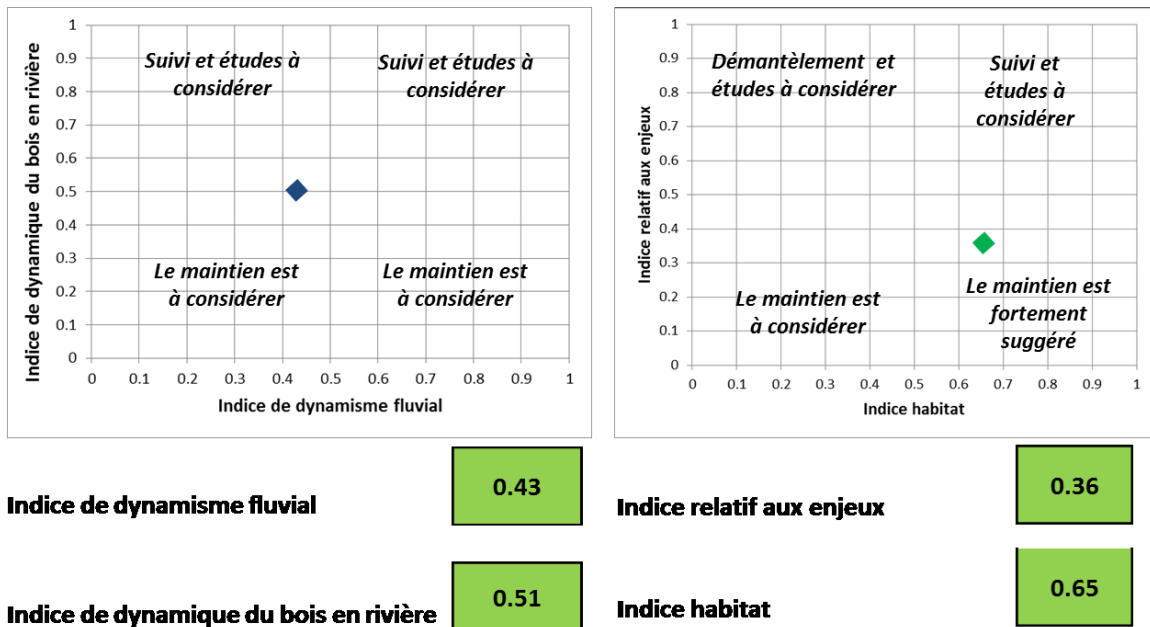


Figure 34. Exemple de résultats obtenu par l'outil d'aide à la décision. *L'absence de seuils définis entre les actions proposées est volontaire. Ces actions sont des orientations à envisager à la lumière des résultats obtenus.

Le second croisement proposé concerne les indices de niveau de risque et les services écosystémiques. Ce croisement peut être considéré de manière plus explicite quand on se retrouve dans une situation où le bois a un impact significatif sur la dynamique du cours d'eau. Dans une telle situation, la question de l'équilibre entre la gestion des risques et des services écosystémiques associés devient plus apparente. De la même manière que pour les thèmes précédents, une dizaine de questions sont formulées selon chacun des enjeux, et chaque réponse est associée à un score. Ainsi, il devient plus facile d'évaluer les enjeux associés à la présence de bois au sein du cours d'eau. La Figure 34 montre un exemple de résultat obtenu par l'indice des fonctions écosystémiques. Dans cet exemple, il est possible de voir que la dynamique fluviale et la dynamique du bois en rivière sont similaires et que les problématiques semblent mineures sur cette section fluviale. Ainsi, un suivi à moyen et long termes pourrait

être la recommandation adéquate afin de garder à l'œil l'évolution de cette section. Cependant, si l'analyse des enjeux et des fonctions écosystémiques montre que les fonctions écosystémiques sont élevées (0.65) versus les enjeux (0.35), ces résultats peuvent indiquer que l'embâcle ou les embâcles doivent rester en place afin de maintenir leurs fonctions écosystémiques.

Cet outil, bien que basé sur une revue de littérature exhaustive, représente toutefois une simplification de la réalité. La présence de bois en rivière contribue à modifier de façon majeure l'écoulement de l'eau, le transport des sédiments et la morphologie. Plusieurs détails peuvent échapper au regard des observateurs, même les plus attentifs. Il est donc recommandé de l'utiliser de façon rigoureuse en se référant au guide et à l'annexe 2 qui expose avec détails les questions et les choix de réponses, car les informations qui s'y trouvent permettent une meilleure utilisation du questionnaire associé. De plus, il est préférable que sa mise en application soit effectuée par une personne possédant une expérience en géomorphologie fluviale afin que les résultats obtenus reflètent au maximum la réalité du terrain. Enfin, cet outil d'aide à la décision est le premier de ce genre à faire son apparition au Québec, en matière de gestion des bois en rivière. Une version papier des questions se trouve en annexe 1, mais une version électronique est disponible au <http://recherche.uqac.ca/lerga/guide-bois-en-riviere/>. Cette version électronique doit être utilisée afin d'obtenir le calcul direct des indices. Ainsi, les auteurs de ce guide espèrent obtenir de la rétroaction en vue de bonifier le questionnaire pour le rendre le plus adapté possible aux réalités du terrain et aux besoins des utilisateurs.

VIII Études de cas

a. Le bilan ligneux, rivière Saint-Jean

Les environnements fluviaux généralement n'offrent pas la possibilité d'établir un bilan ligneux complet, notamment parce que les exportations de bois hors du système sont difficilement quantifiables. Il convient dans ces situations de s'intéresser à la production de bois et à son stockage au sein du cours d'eau afin de dresser un bilan partiel. Toutefois, lorsque le contexte permet de quantifier les volumes de bois exportés, un bilan ligneux complet devrait être établi. C'est ce qu'il a été possible de faire dans le cadre des études de Boivin et al^{26, 27, 28, 29} sur la rivière Saint-Jean près de Gaspé. Un immense embâcle sévissait sur ce cours d'eau et des inquiétudes persistaient sur le rôle de cet embâcle sur les fluctuations des populations de saumons de la rivière. Nous exposons ici les principales étapes ayant mené à l'établissement du bilan ainsi que les informations qu'apporte ce bilan sur la dynamique du bois dans la rivière Saint-Jean.

Tout d'abord, les sources de bois sont identifiées et les volumes de bois introduit au système par ces sources sont quantifiés. Dans le cas de la rivière St-Jean, les principales sources proviennent des forêts riveraines se trouvant sur des portions de plaine où sévit la migration latérale du chenal. Les superficies boisées érodées durant une période de temps ont été estimées à partir de la superposition des tracés fluviaux provenant de photographies aériennes géoréférencées à deux années distinctes. (Figure 35). Ces superficies sont ensuite multipliées par la densité du bois en ripisylve pour obtenir une estimation du bois introduit dans le cours d'eau durant période identifiée. La densité s'obtient en mesurant la hauteur et le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) de chacun des arbres qui se trouvent sur une surface d'une superficie déterminée (Tableau 4). Par exemple, des quadras de 15 mètres par 15 mètres sont définis et les dimensions des arbres qui s'y trouvent sont notées. Le volume des arbres est calculé en utilisant le DHP et la hauteur des arbres et ces derniers sont reportés sur la surface couverte, soit 225 m² pour un quadra de 15 mètres par 15 mètres. Ainsi, on obtient un volume de bois par unité de surface. Dans cet exemple, 16,99 m³ de bois vivant sur une surface de 225 m² représentent un volume de 0,0755 m³ de bois par m². Les caractéristiques de la végétation riveraine variant beaucoup le long d'un corridor fluvial, plusieurs quadras ont été réalisés le long de la rivière Saint-Jean pour s'assurer de la représentativité des données de densité pour des tronçons homogènes.

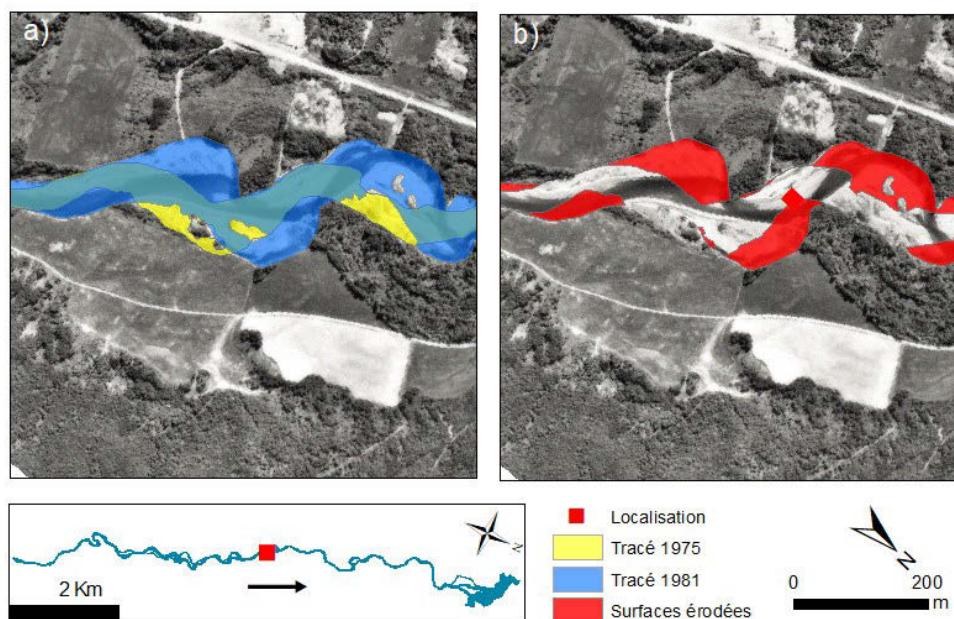


Figure 35. a) superposition des tracés de 1975 et 1981, b) identification des surfaces érodées

Tableau 4. Exemple de mesures de la densité sur une parcelle de 15 mètres par 15 mètres

Site 3 : 225m ²					
Espèce	Circonférence (cm)	DHP (cm)	Hauteur (m)	Volume (m ³)	Notes
Peuplier Faux Tremble	145,4	23,14	18	3,03	
Peuplier Faux Tremble	136	21,65	16	2,35	
Peuplier Faux Tremble	125,3	19,94	10	1,25	
Peuplier Faux Tremble	130	20,69	15	2,02	
Peuplier Faux Tremble	102,4	16,30	16	1,34	
Thuyas Occidental	37,5	5,97	5	0,06	
Cerisier de Pennsylvanie	25	3,98	3	0,01	
Peuplier Faux Tremble	91,5	14,56	13	0,87	
Peuplier Faux Tremble	66,2	10,54	3	0,10	Mort
Cerisier de Pennsylvanie	38	6,05	4	0,05	
Peuplier Faux Tremble	122,9	19,56	16	1,92	
Peuplier Faux Tremble	61,7	9,82	9	0,27	
Peuplier Faux Tremble	101,8	16,20	13	1,07	
Peuplier Faux Tremble	103	16,39	15	1,27	
Peuplier Faux Tremble	83,8	13,34	13	0,73	
Épinette blanche	90,6	14,42	10	0,65	
Total				16,99	

Par la suite, les volumes de bois se situant au sein du cours d'eau ont été quantifiés. Pour se faire, chaque embâcle le long du corridor fluvial a été caractérisé à l'aide d'une fiche terrain (voir un exemple en annexe 3). Ainsi, le type d'embâcle, total ou partiel, a été noté avec la position de la structure, c'est-à-dire au sein du lit mineur, sur les bancs d'accumulations ou sur la plaine alluviale en bordure du cours d'eau. La provenance du bois a aussi été évaluée. Cette information permet de déterminer si l'embâcle est alimenté en bois sain et solide ou s'il est composé de bois vieillissant et fragile. Les arbres provenant de l'amont sont identifiables par des dommages qu'ils ont connus au cours du transport. En percutant d'autres bois en rivière, des embâcles, des roches, des arbres de la bande riveraine, de la glace ou des infrastructures, l'écorce, les branches et le système racinaire sont souvent endommagés ou arrachés^{5, 44, 55}. Inversement, les arbres qui proviennent de berges à proximité de leur emplacement actuel sont souvent intacts, les racines peuvent retenir une quantité plus ou moins grande de terre provenant de la berge érodée et les feuilles sont souvent toujours présentes (Figure 36).



Figure 36. a) embâcle composé de bois ancien, b) bois récemment recruté

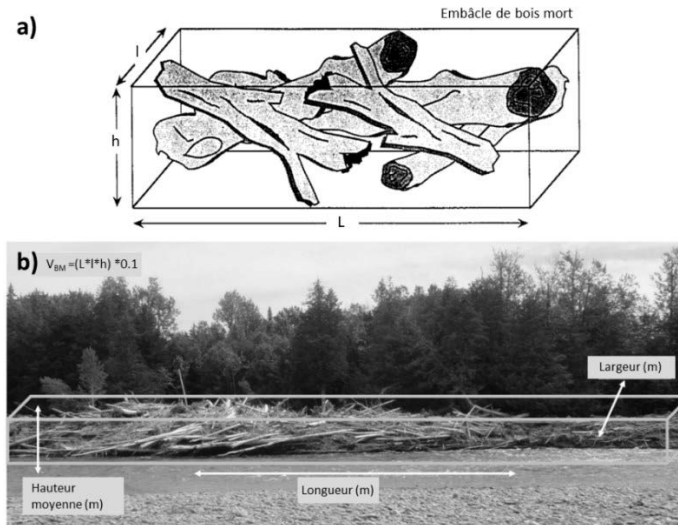


Figure 37. a) schématisation de la mesure d'un embâcle, b) représentation de la mesure sur le terrain (adaptée de Thévenet et al., 1998⁹ et Boivin, 2016¹³⁰)

Les embâcles ont également été mesurés. Pour ce faire, ils sont considérés comme des cubes, dont la largeur, la longueur et la hauteur sont mesurées avec un ruban de 60 m (Figure 37). La largeur d'un embâcle correspond en tout temps au côté perpendiculaire à l'écoulement de l'eau et la longueur au côté parallèle. Ces mesures permettent, dans un premier temps, de déterminer le pourcentage d'obstruction du chenal à son niveau plein bord et dans un deuxième temps, d'estimer le volume de bois contenu dans l'embâcle. Comme les embâcles ne représentent pas réellement un cube et que ce sont des entités poreuses, il est impératif de soustraire les volumes d'air aux mesures afin d'obtenir le volume en bois uniquement. Thévenet et al.⁹ ont montré que les embâcles de bois sont composés à 90% d'air et proposent d'estimer le volume de bois en utilisant la formule suivante :

$$V_{BM} = (L * l * h) * 0.1 \quad (2)$$

Où V_{BM} est le volume de bois, L la longueur, l la largeur et h la hauteur de la structure. En ce qui concerne l'obstruction du chenal, les embâcles situés au niveau de la plaine alluviale n'entrent pas en contact avec l'écoulement à moins d'inondations, ils comptent ainsi pour 0% d'obstruction. Ceux sur les bancs d'accumulation et dans chenal comptent pour un minimum de 5%, et augmentent par incrément de 5%. Finalement, la berge sur laquelle se forment les embâcles est notée. Les berges correspondent à la gauche ou à la droite du chenal lorsque le regard de l'observateur est porté vers l'aval.

Les mesures de volumes de bois exportés de la rivière Saint-Jean ont été mesurées à partir des embâcles majeurs dans l'embouchure de la rivière Saint-Jean. Cette analyse s'est faite à deux échelles. La première a consisté à mesurer le volume de bois dans les trois chenaux de l'embouchure de la rivière Saint-Jean à chaque dix ans en mesurant la largeur et la longueur sur les photographies aériennes disponibles depuis 1963 et multipliées par une hauteur de l'embâcle estimée sur le terrain. La seconde échelle d'analyse a consisté à mesurer les accumulations annuelles de bois en rivière à l'aide d'images satellites LandSat 7 disponibles de 1999 à aujourd'hui en multipliant les superficies accumulées et la hauteur des embâcles sur le terrain. Ainsi, il a été possible d'estimer les volumes de bois exportés du bassin versant de la rivière Saint-Jean après chaque crue et pour chaque période de dix ans depuis les années 1963.

Finalement, des volumes de bois entrant dans le cours d'eau, des volumes stockés dans le corridor fluvial et des volumes exportés (ceux contenu dans les embâcles du delta) ont été obtenus pour différentes périodes de temps. Cette démarche peut être appliquée sur un tronçon fluvial, en estimant les apports provenant des tributaires et de la portion amont, mais la méthode prend tout son sens lorsqu'elle est appliquée à l'ensemble d'un bassin versant comme ce fut le cas sur la rivière Saint-Jean^{27, 29}. En effet, l'établissement du bilan ligneux à l'échelle du bassin versant, sur une longue période de temps permet d'identifier si les taux de recrutement, le stockage et ultimement les exports de bois sont en augmentation ou en diminution, et de spatialiser les secteurs qui accumulent le plus de bois le long d'un corridor fluvial. De cette manière, il devient possible de savoir si le cours d'eau produit plus de bois qu'il n'en évacue et d'adopter des stratégies de gestion appropriée.

La Figure 38 montre que le long du corridor fluvial de la rivière Saint-Jean, il existe une zone de production et d'accumulation de bois en amont, suivi d'une zone de transit et d'une importante zone d'accumulation en aval et dans le delta. De plus, ces résultats montrent que les volumes en bois augmentent dans l'ensemble du cours d'eau de l'amont vers l'aval. Le Tableau 5 montre que le chargement en bois de la rivière fluctue aussi dans le temps sur une période de cinquante ans. En effet, les apports annuels en bois au cours de la période 2004-2013 ont presque triplé, relativement au recrutement historique mesuré. Le cours d'eau exporte aussi plus de bois au cours de cette période, mais dans une moindre mesure, ce qui se répercute par une augmentation du stockage de bois au sein de la rivière au cours de cette décennie.

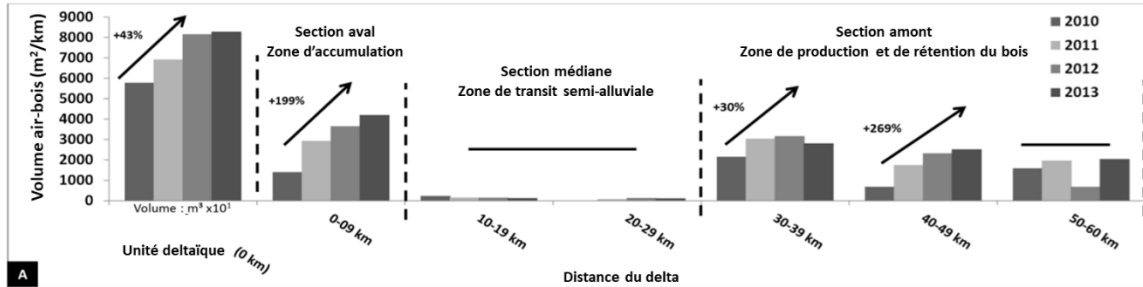


Figure 38. Distribution des volumes de bois sur la rivière Saint-Jean (adaptée de Boivin 2016¹³⁰)

Tableau 5. Évolution des volumes de bois produits, exportés et stockés à travers le temps (adapté de Boivin, 2016¹³⁰)

	1963-1993	1993-2004	2004-2013	1963-2013
Bois mort produit (m ³) (par année)	17678 (589)	6923 (629)	16716 (1857)	41317 (826)
Bois mort exporté (m ³) (par année)	10410 (347)	5765 (524)	7960 (884)	24135 (483)
Bois mort accumulé (m ³) (par année)	7268* (242)	1158* (105)	8976 (997)	17182 (344)
Bilan ligneux (m ³)	N/a	N/a	-220	N/a

Ce que l'analyse par bilan ligneux sur la rivière Saint-Jean nous dit :

- Il est possible à partir de l'embâcle de la rivière St-Jean de procéder au calcul complet d'un bilan ligneux sur plusieurs décennies.
- Les volumes en bois se concentrent dans deux secteurs dynamiques de la rivière.
- Les contributions annuelles moyennes de la production de bois, de l'accumulation dans le chenal et de l'évacuation du bois sont en augmentation constantes dans les 50 dernières années.
- Les taux annuels d'accumulation augmentent plus rapidement que les taux annuels d'évacuation. À tel point, qu'il y a maintenant plus de bois qui s'accumule dans le corridor fluvial en amont que ce qui est évacué du bassin versant.

b. Distribution des volumes de bois et rôle morphologique du bois en rivière, rivière Mont-Louis

Au cours des étés 2015 et 2016, des campagnes de terrain ont été menées sur la rivière Mont-Louis, en Gaspésie, afin de cerner les effets mutuels de la dynamique du bois en rivière et de la dynamique fluviale. Ce projet visait entre autres à décrire les interrelations entre la

dynamique fluviale, la distribution spatiale et la mobilité des embâcles de bois à une échelle interannuelle et à procéder à une analyse de l'évolution des embâcles, de leurs effets sur la topographie locale et la migration latérale du cours d'eau dans un contexte québécois.

Au cours de chacun des étés, des campagnes de terrain ont été menées afin de caractériser chaque embâcle sur le tronçon principal et d'effectuer des relevés topographiques sur différents sites où se situent des embâcles de bois ayant un effet sur l'écoulement de l'eau, le transport des sédiments et les formes du lit. La caractérisation a permis de spatialiser les embâcles, d'évaluer les variations interannuelles des volumes de bois alors que les relevés ont permis de réaliser un modèle numérique de terrain permettant d'évaluer les changements morphologiques provoqués par le bois en rivière. Le chenal principal de la rivière Mont-Louis comporte quatre tronçons homogènes dont les limites ont été identifiées à partir des variations de largeur, des superficies érodées et du nombre de chenaux qu'elle comporte. Ainsi, de l'amont vers l'aval, on identifie un tronçon linéaire, divagant, à méandre stable et la portion estuarienne de la rivière (Figure 39). La présence de styles fluviaux variés conditionne la distribution du bois le long du corridor fluvial (Figure 40). La portion amont (a) est linéaire, partiellement confinée par des berges rocheuses et peu de bois s'y dépose, elle agit comme zone de transport. Au contraire, le tronçon qui suit (b) est caractérisé par de nombreuses accumulations de bois, et par des embâcles de grands volumes. Ce tronçon divagant est connu pour être très mobile. On y retrouve d'imposants bancs d'accumulation, des berges meubles, et les embâcles qui s'y trouvent affectent grandement le morphodynamisme du cours d'eau.

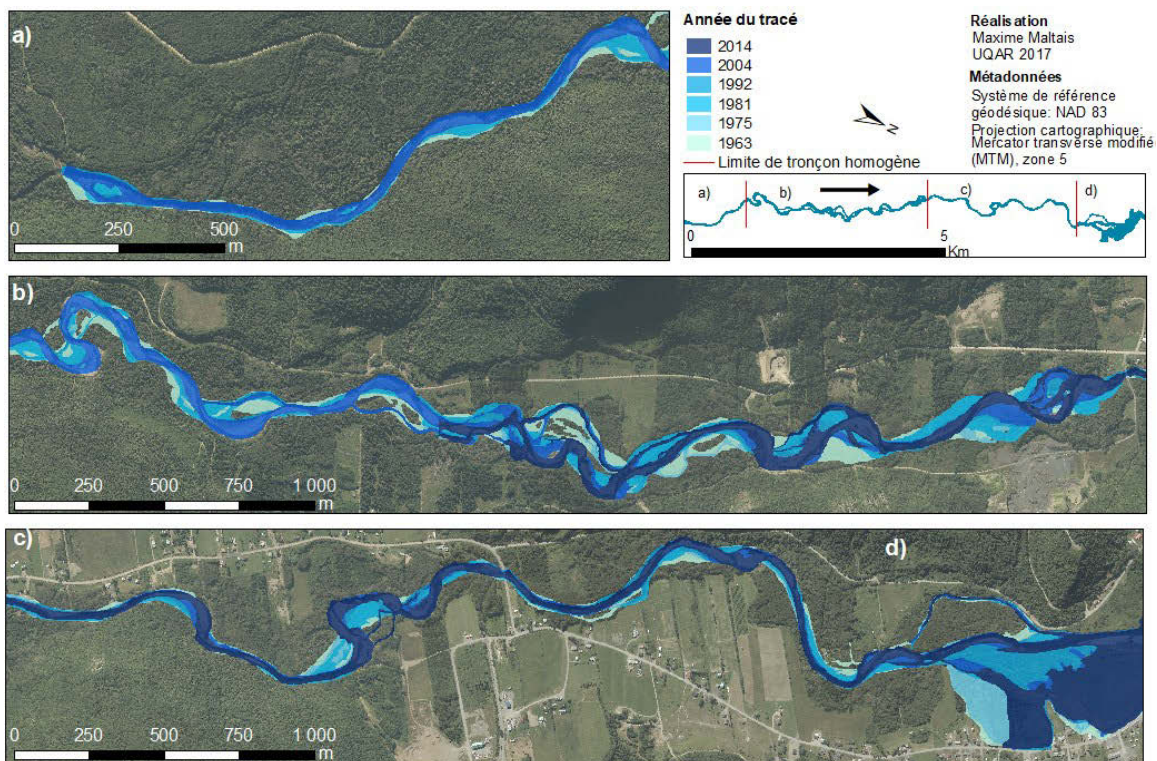


Figure 39. Segmentation de la rivière Mont-Louis. a) secteur linéaire, b) secteur divagant, c) secteur à méandres stables, d) secteur estuarien.

Le tronçon (c) est très confiné, d'une part par des infrastructures, de l'autre par une berge rocheuse, il agit aussi à titre de zone de transport. On y retrouve toutefois un secteur non confiné, où les berges rocheuses laissent place à la plaine alluviale. Ce secteur est aussi caractérisé par de grands bancs d'accumulations et par la présence de bois en rivière, plutôt rare sur le reste du tronçon. Connaître les zones de mobilité et d'accumulation du bois permet d'identifier les secteurs où des enjeux sont susceptibles d'apparaître, car les tronçons linéaires mobilisent facilement le bois, ils représentent généralement des secteurs où les aléas potentiels sont faibles alors que les secteurs d'accumulations méritent plus d'attention.

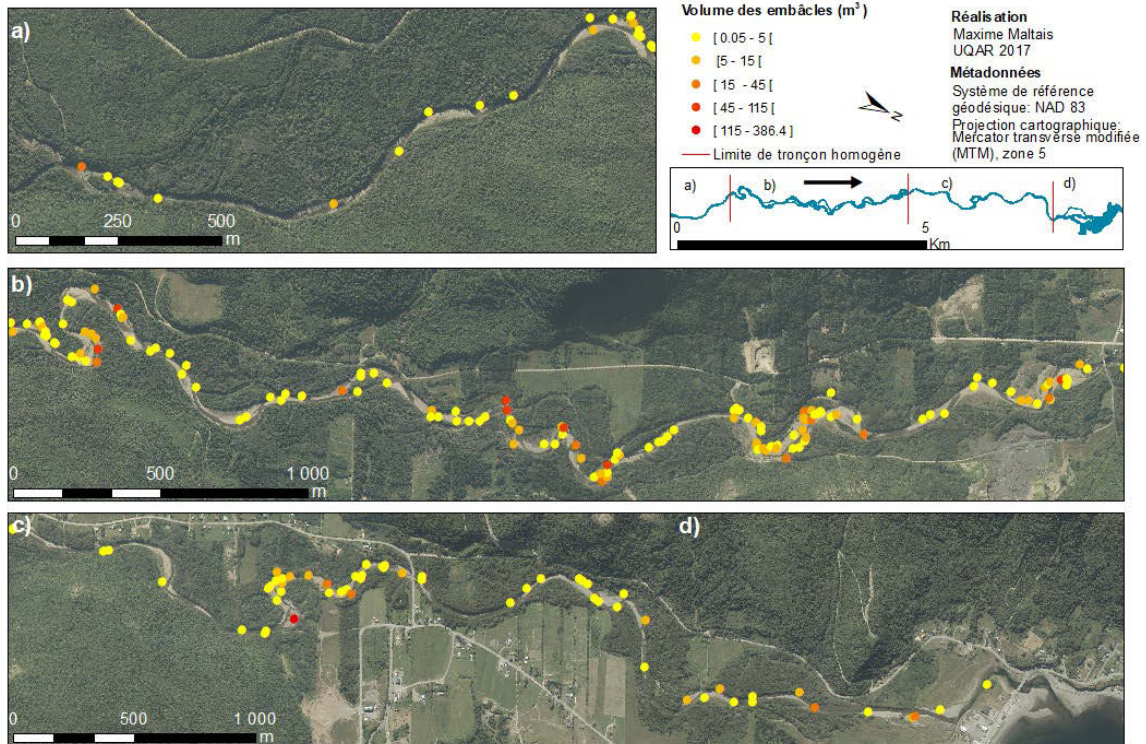


Figure 40. Nombre et volumes des embâcles de bois selon les styles fluviaux, a) secteur linéaire, b) secteur divagant, c) secteur à méandres stables, d) secteur estuarien.

Par ailleurs, les embâcles où ont été effectués les relevés topographiques se situent respectivement dans le tronçon divagant et dans le tronçon à méandre stable. Toutefois, le second se trouve dans la portion alluviale du tronçon, où les bancs sont imposants et la rivière divague. Les embâcles manifestent donc le même type d'effets sur le cours d'eau, car ils sont situés dans des environnements comparables.

Sur le premier site, entre les deux années de suivi, l'embâcle étudié a perdu en volume, suite à un démantèlement naturel. En 2015 l'embâcle protégeait la berge de l'érosion, il ralentissait l'écoulement en amont et forçait le passage de l'eau entre le bois et le lit, ce qui permettait le maintien d'une fosse sous l'embâcle. Lors de la crue du printemps 2016, l'embâcle s'est naturellement démantelé, ne laissant que les troncs clés sur place. Cette perte de bois a eu de multiples effets sur la morphologie du cours d'eau. Dans un premier temps, la perte de bois a permis un écoulement d'eau plus rapide, en amont de l'embâcle. La fosse qu'il entretenait s'est ainsi partiellement comblée et l'augmentation de la puissance du cours d'eau dû à

l'augmentation des vitesses d'écoulement a favorisé l'incision du chenal en amont (Figure 41a). Dans un second temps, en 2015, l'embâcle déviait une plus grande portion de l'eau vers la berge droite. En 2016, suite au démantèlement, l'écoulement se fait de manière plus linéaire et la formation d'un chenal de dissection a été initiée (Figure 41b).

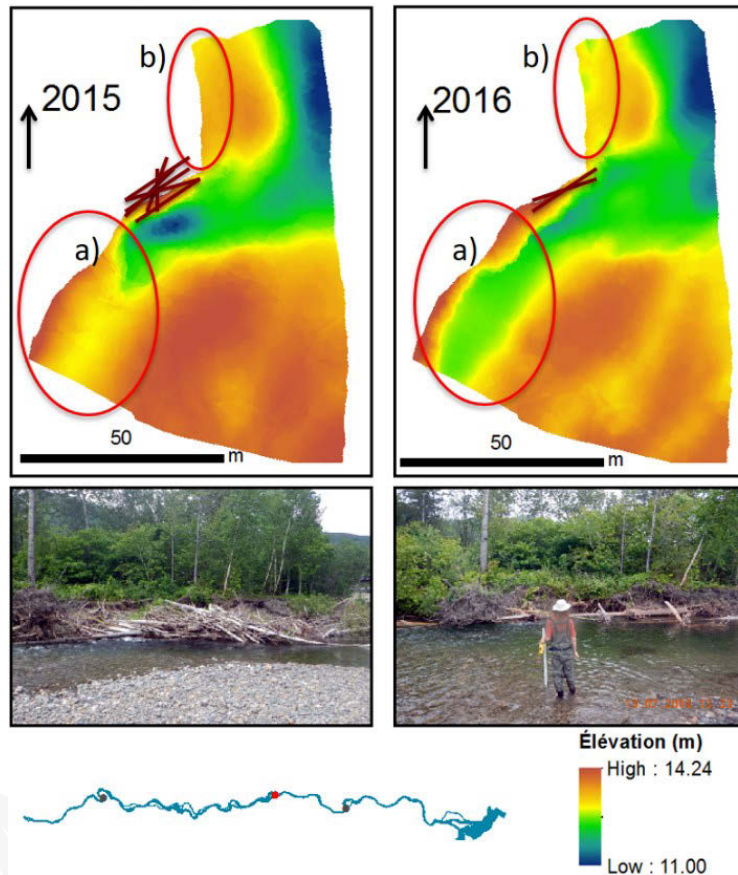


Figure 41. Évolution interannuelle de la morphologie du lit de la rivière Mont-Louis suite à la perte de bois, tronçon divagant, a) incision du chenal en amont, b) formation du chenal de dissection

Sur le second site, un imposant embâcle se situe sur la berge concave d'un méandre. De gros troncs ont été accumulés à l'amont lors de l'été 2015, peu avant les relevés topographiques, leurs effets sur la topographie du lit sont donc limités au moment où les mesures ont été prises. Toutefois, en 2016, la présence de ce bois additionnel a permis d'engraisser un banc d'accumulation déjà volumineux, diminuant ainsi la profondeur d'eau du thalweg (Figure 42). Ainsi, une portion de l'écoulement est redirigée vers le chenal situé à la gauche du banc central.

Cette concentration de l'eau a ici eu pour effet d'augmenter la superficie d'une fosse déjà présente, qui elle aussi doit sa présence à un embâcle (Figure 42).

Tel qu'illustré, l'addition comme le retrait du bois en rivière ont des effets sur la dynamique des cours d'eau. Les interventions, lorsqu'elles sont absolument nécessaires, doivent donc être planifiées avec minutie afin que les ajustements morphologiques mis en place par les rivières soient en harmonie avec l'intention des décideurs qui les mettent en œuvre.

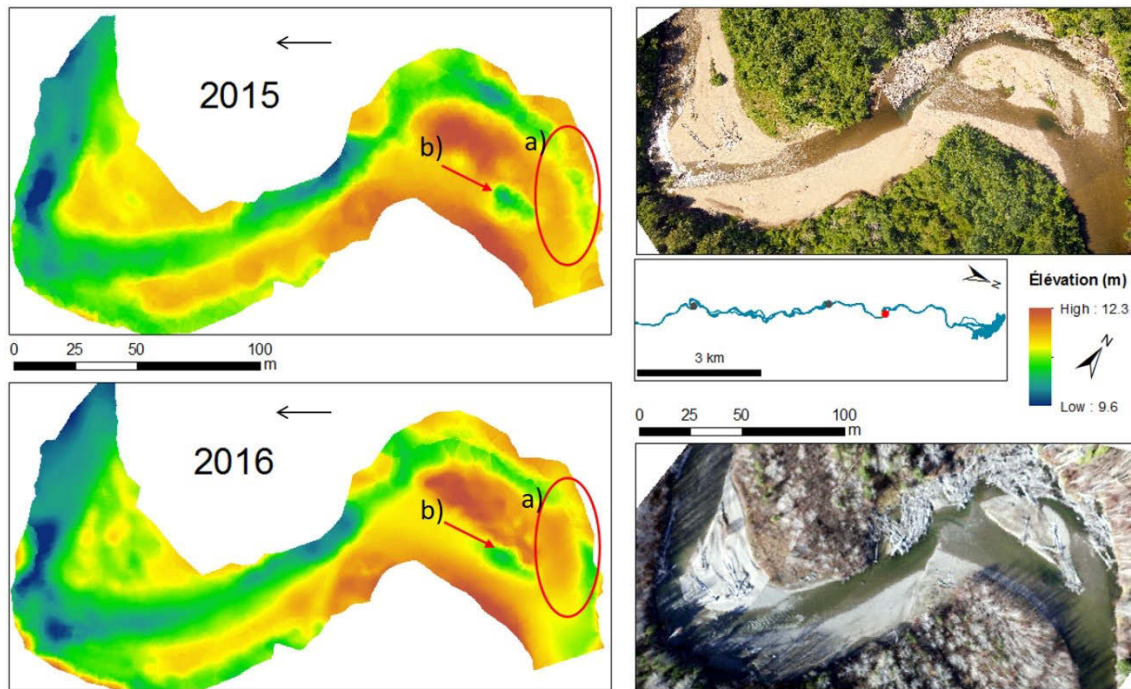


Figure 42. Évolution interannuelle de la morphologie du lit de la rivière Mont-Louis suite à l'addition de bois, tronçon à méandres dynamique, a) engraissement d'un banc d'accumulation, b) augmentation de la superficie d'une fosse

Ce que l'analyse des embâcles sur la rivière Mont-Louis nous dit :

- La distribution des embâcles est fortement liée au style fluvial. Plus spécifiquement, ils apparaissent là où se trouvent des bancs d'accumulation.
- Les embâcles peuvent jouer un rôle significatif sur l'accumulation de sédiments et sur la protection des berges en érosion.
- Les suivis terrain annuels permettent de suivre l'évolution de la dynamique du bois en rivière.

c. Les interventions de démantèlement, rivière Neigette

Entre 2011 et 2013, des travaux portant sur la dynamique du bois de la rivière Neigette au Bas-Saint-Laurent ont eu lieu le long d'un corridor fluvial de 32 kilomètres (Figure 43). Chacun des embâcles a été caractérisé sur le territoire d'étude et des relevés topographiques ont été effectués à proximité de trois embâcles, avant et après leur démantèlement, afin d'évaluer les répercussions morphologiques. Les principales conclusions de cette étude, conduite par Massé³⁰, sont présentées ici.

Le démantèlement d'un embâcle de bois dans un tronçon alluvial entraîne des changements morphologiques dont l'intensité dépend du volume de bois retiré, de la configuration géomorphologique du site et du régime hydrologique qui conditionne la redistribution des sédiments^{131, 132, 133}. Les ajustements morphologiques peuvent débuter immédiatement après les travaux, mais ils sont généralement plus intenses en période de fort débit. Même en période d'étiage, la capacité de l'écoulement est généralement suffisante pour initier le transport des sédiments fins qui étaient retenus par le bois en rivière et les acheminer vers l'aval⁶⁹. Lors du démantèlement des embâcles n^{os} 12010 (mineur), 8205 (moyen) et 10930 (majeur) sur la rivière Neigette, l'augmentation de la turbidité de l'eau et la migration de sédiments fins avaient d'ailleurs été observées¹³⁴. Toutefois, la mobilisation des sédiments plus grossiers nécessite un écoulement compétent.

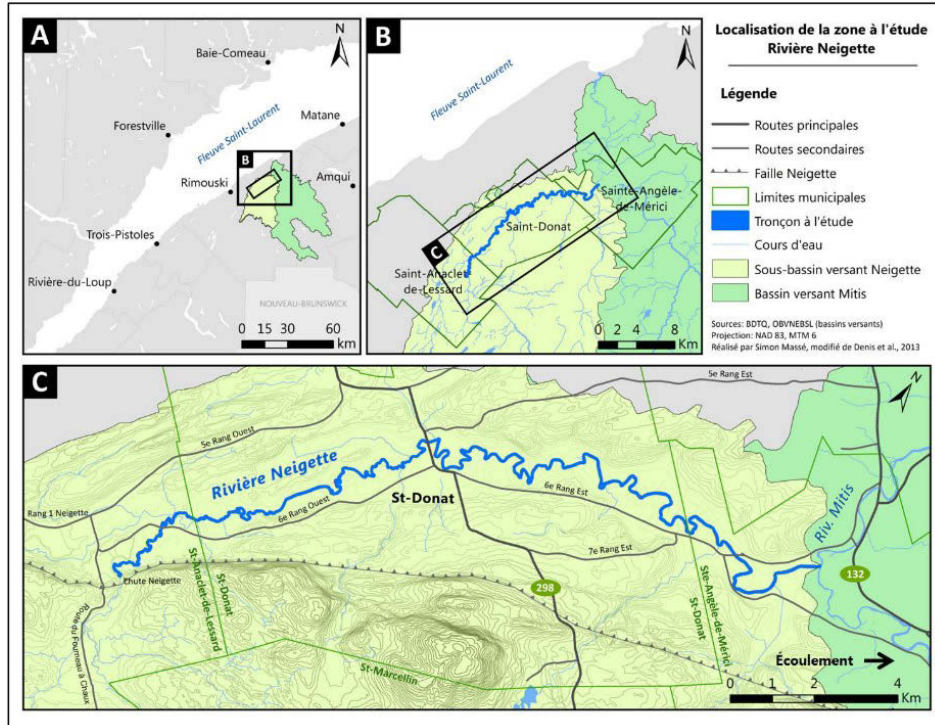


Figure 43. Localisation de la rivière Neigette

Il est fort probable que les ajustements morphologiques constatés par la comparaison des relevés topographiques réalisés avant et après le démantèlement des 3 embâcles se soient principalement déroulés lors de la crue printanière de 2013. Tout d'abord, la cartographie des variations topographiques du site n° 12010 montre une zone d'incision au niveau du transect 7, soit immédiatement en amont du bois en rivière transversal qui était appuyé sur le lit (Figure 44). Le tronçonnage avait comme effet de retenir une certaine quantité de sédiments fins et son retrait a permis leur redistribution vers l'aval et possiblement leur accumulation vers la berge gauche au niveau du transect 8. Les volumes érodés en amont et accumulés en aval sont d'ailleurs similaires : respectivement $1,28 \text{ m}^3$ et $1,45 \text{ m}^3$. En outre, le surcreusement d'une fosse localisée vers la berge droite immédiatement en aval de l'embâcle a été constaté. Il est reconnu que la réduction de la rugosité induite par le retrait du bois en rivière a pour effet d'augmenter la vitesse au niveau du lit^{69, 135, 136, 137}. Il est ainsi probable que le renforcement du cisaillement causé par le retrait de l'embâcle n° 12010 ait pu provoquer le surcreusement de la fosse. Par ailleurs, l'embâcle avait comme effet de concentrer l'écoulement vers la rive droite et d'amplifier l'érosion de la berge. Le relevé topographique réalisé en 2013 permet plutôt de

constater de l'accumulation sédimentaire vers la rive droite où se situait l'embâcle ainsi qu'en aval. La redistribution de l'écoulement sur l'ensemble de la section transversale à la suite du retrait du bois semble avoir atténué le recul de la berge droite et même favorisé la sédimentation.

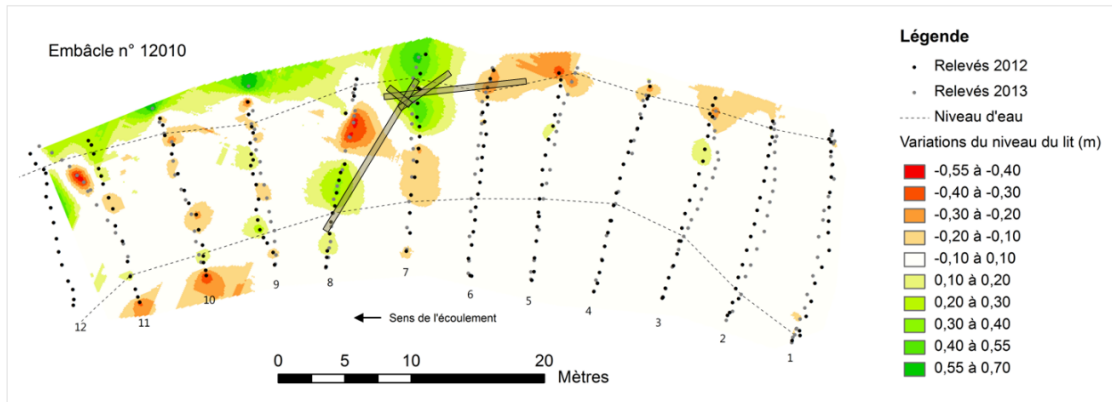


Figure 44. Variation interannuelle de la topographie du lit près de l'embâcle 12010

Des 3 embâcles démantelés, le site de l'embâcle mineur n° 12010 est celui qui présente le moins de changements morphologiques. Théoriquement, la magnitude des impacts hydrogéomorphologiques liés au retrait du bois en rivière est proportionnelle à la taille de l'embâcle retiré^{66, 132, 137, 138}. Comme l'embâcle n° 12010 était le plus petit des embâcles démantelés, les effets sur la morphologie du chenal sont limités. De plus, l'embâcle n° 12010 est localisé près de la zone de transition entre les unités B et C. Ainsi, la cohésion accrue des sédiments fins d'origine marine vers l'aval peut aussi possiblement expliquer la faible réponse morphosédimentaire enregistrée à la suite de l'intervention.

Ensuite, la cartographie des variations du niveau du lit du site n° 8205 met en évidence l'aggradation du lit au droit de l'embâcle retiré (Figure 45). En aval de l'embâcle, le lit est plutôt en incision. L'embâcle n° 8205 occupait la totalité de la section transversale et était formé de bois enchevêtrés contre une souche ancrée au lit vers la berge gauche. Au centre du chenal, les bois avaient pour effet de diriger et de concentrer l'écoulement vers le lit. L'aggradation au niveau de l'embâcle retiré semble être le reflet de la diminution du cisaillement provoqué par une redistribution de l'énergie hydraulique sur l'ensemble du profil vertical. Ainsi, la fosse de surcreusement se trouvant sous l'embâcle aurait été remblayée.

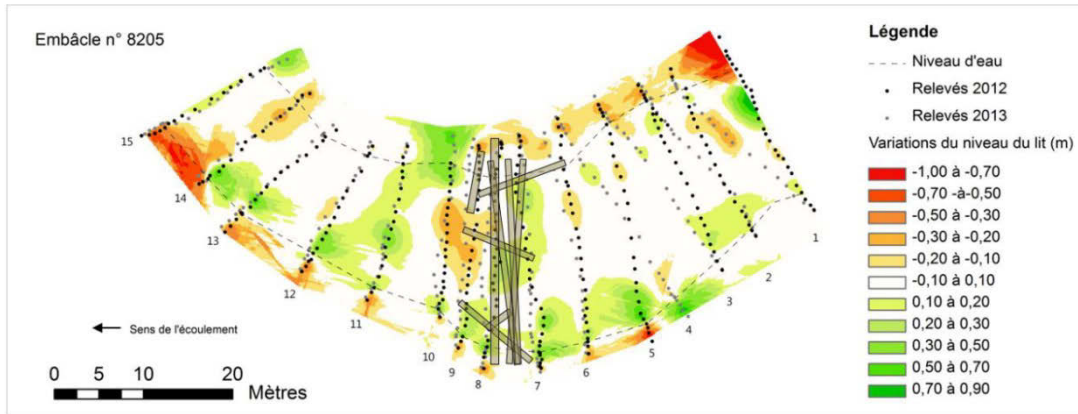


Figure 45. Variation interannuelle de la topographie du lit près de l'embâcle 8205

De plus, l'incision en aval de l'embâcle (transects 9 et 10) peut être attribuée au transfert vers l'aval des sédiments qui s'accumulaient tout juste après la fosse. D'ailleurs, à une dizaine de mètres en aval (transects 11 et 12), on constate que le lit du chenal est en partie surélevé par rapport au relevé topographique pré-démantèlement, probablement en raison de la migration des sédiments qui s'accumulaient à la sortie de la fosse de surcreusement. Bref, on observe une uniformisation des profondeurs du lit où était situé l'embâcle, soit entre les transects 7 et 10. L'homogénéisation des profondeurs et le remplissage des mouilles de surcreusement sont des impacts reconnus du retrait du bois en rivière^{131, 132}. La Figure 46 illustre l'évolution de la morphologie du lit à la suite du démantèlement de l'embâcle n° 8205.

Quant à la topographie du site de l'embâcle majeur n° 10930, elle présente relativement peu de changements à la suite du démantèlement (Figure 47). Mais, on constate le recul de la berge au niveau de l'embâcle, entre les transects 5 et 7. Ce segment était déjà en érosion avant le démantèlement. L'embâcle semblait d'ailleurs avoir été formé par la chute d'arbres riverains en provenance de cette berge. La réduction de la rugosité induite par le retrait des bois a possiblement eu pour effet d'accroître localement la vitesse et d'accroître l'érosion^{136, 138, 139}. De plus, les bois ancrés au lit qui n'ont pu être retirés lors de l'opération pourraient concentrer l'écoulement vers cette berge. Par ailleurs, le lit du chenal présente une légère tendance à l'aggradation à l'endroit où était situé l'embâcle (transects 5, 6 et 7), mais aussi en aval (transects 8 et 9). Comme pour le retrait de l'embâcle moyen n° 12010, l'accrétion verticale d'environ 25 cm peut s'expliquer par le remblaiement de la fosse de surcreusement qui était

entretenu par l'amas de bois en rivière. La redistribution de la vélocité sur l'ensemble du profil vertical et la diminution de la turbulence au niveau du lit ont pu favoriser l'accumulation sédimentaire au droit et en aval de l'embâcle démantelé.

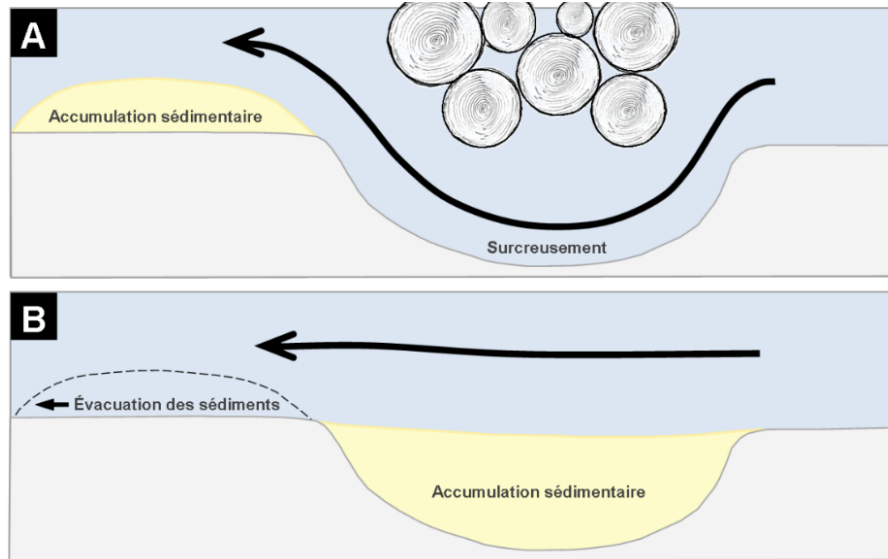


Figure 46. Comblement de la fosse suite au démantèlement (Massé, 2014³⁰)

De plus, le barrage de castor formé à l'été 2013 est associé à une importante zone d'érosion dont le volume sédimentaire évacué est estimé à 81,65 m³. Les barrages de castors obstruant complètement le profil transversal ont généralement pour effet de favoriser l'accumulation en bloquant physiquement le transit sédimentaire^{140, 141, 142}. Dans le cas présent, le barrage occupait environ 75% de la largeur du chenal et concentrait l'écoulement vers la rive droite. L'augmentation de la turbulence induite en amont du barrage partiel a possiblement provoqué la mise en transport des sédiments de fond et l'érosion progressive du lit et des berges¹⁴².

En aval, les courants de recirculation et la turbulence ont également pu causer le surcreusement du lit, phénomène morphologique couramment observé directement en aval des embâcles de bois en rivière et des barrages de castor^{43, 44, 57, 140, 141}.

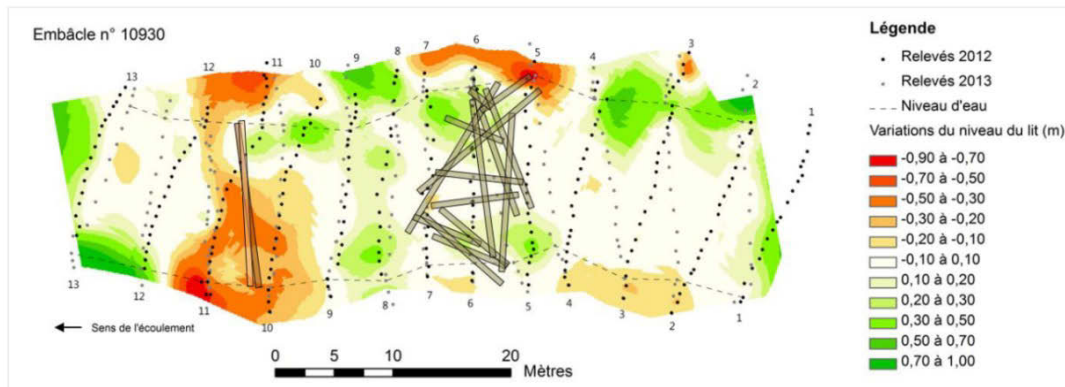


Figure 47. Variation interannuelle de la topographie du lit près de l'embâcle 10930

Enfin, l'analyse comparée des relevés topographiques réalisés avant et après le démantèlement des embâcles n^{os} 12010 (mineur), 8205 (moyen) et 10930 (majeur) montre des changements importants dans la morphologie du lit et des berges de ces 3 sites.

Finalement, les nouveaux embâcles qui se sont reformés aux sites des embâcles démantelés nos 8205 et 10930 en l'espace de 10 mois témoignent de la dynamique interannuelle du bois de la rivière Neigette. Dans le cas des embâcles reformés, les gros bois ancrés au lit qui n'ont pu être retirés lors des opérations peuvent être responsables du trappage de bois en provenance de l'amont. Mais, il est aussi possible que les sites soient des endroits préférentiels pour l'accumulation du bois en rivière. L'étude de Curran⁹⁸ sur la rivière San Antonio souligne que sur une période de 4 ans, 34 % des embâcles nouvellement formés se sont érigés à des endroits où des embâcles avaient préalablement été disloqués.

Une approche conservatrice devrait être adoptée à propos du démantèlement d'embâcles de bois en rivière¹³⁵. Les embâcles qui ne présentent pas de menace à l'intégrité des infrastructures et à la sécurité des riverains devraient être conservés en raison de leurs avantages écologiques et parce que les coûts engendrés ne valent pas les faibles changements espérés sur l'écoulement¹⁰. Des actions ciblées telles que la stabilisation des berges et des campagnes de plantation pour la diversification de la ripisylve pourraient être efficaces pour réduire les taux de bois acheminés au cours d'eau.

Ce que l'analyse des démantèlements d'embâcles sur la rivière Neigette nous dit :

- Le démantèlement d'embâcles peut provoquer des modifications de la morphologie des cours d'eau.
- Les effets morphologiques d'un démantèlement sont généralement proportionnels à la taille de l'accumulation de bois en rivière.
- Si des volumes de bois se trouvent de manière significative dans un tronçon où l'on retire un embâcle, il est fort probable qu'un embâcle se reforme au même endroit.

Manuscrit

IX Bibliographie

1. Therrien, J. 1997. Guide technique sur le démantèlement d'embâcles, Fondation de la Faune du Québec, Sainte-Foy, 55p.
2. Biron, P.M. 2017. La restauration de l'habitat du poisson en rivière : une recension des écrits. Rapport scientifique présenté à la Fondation de la Faune du Québec.
3. Wohl, E. 2014. A Legacy of absence: Wood removal in US rivers, *Progress in Physical Geography*, vol. 38, no 5, 637-663.
4. Montgomery, D. et Piégay, H. 2003. Wood in rivers: interactions with channel morphology and processes, *Geomorphology*, vol. 51, 1-5.
5. Gurnell, A.M., Piégay, H., Swanson, F.J., George, S.V. 2002. Large wood and fluvial processes, *Freshwater Biology*, vol. 47, no 4, 601-619.
6. Ravazzolo, D., Mao, L., Picco, Sitzia, T., Lenzi, M.A. 2015. Geomorphic effects of wood quantity and characteristics in three Italian gravel-bed rivers, *Geomorphology*, vol. 246, 79-89.
7. Moulin, B., Schenk, E.R., et Hupp, C.R. 2011. Distribution and characterization of in-channel large wood in relation to geomorphic patterns on a low-gradient river, *Earth Surfaces Processes and Landforms*, vol. 36, no 36, 1137-1151.
8. Kali, J. 2003. Influence of large woody debris on the morphology of six central European streams, *Geomorphology*, vol. 51, 207-223.
9. Thevenet, A., Citterio, A. et Piégay, H. 1998. A new methodology for the assessment of large woody debris accumulations on highly modified rivers (example of two French piedmont rivers), *Regulated Rivers: Research et Management*, vol. 14, 467-483.
10. Piégay, H. et Gurnell, A.M. 1997. Large woody debris and river geomorphological pattern: examples from S.E. France and S. England, *Geomorphology*, vol. 19, 99-116.
11. Nakamura, F., Seo, J.I., Akasaka, T., Swanson, F.J. 2017. Large wood, sediments, and flow regimes: Their interactions and temporal changes caused by human impacts in Japan, *Geomorphology*, vol. 279, 176-187.
12. Seo, J.I., Nakamura, F., Chun, K.W., Kim, S.W. et Grant, G.E. 2015. Precipitation patterns control the distribution and export of large wood at the catchment scale, *Hydrological Processes*, vol.29, no 24, 5044-5057.

13. Seo, J.I., Nakamura, F., Chun, K.W. 2010. Dynamics of large wood at the watershed scale: a perspective on current research limits and future directions, *Landscape and Ecological Engineering*, vol. 6, 271-287.
14. Seo, J.L., Nakamura, F., Nakano, D., Ichianagi, H. et Chun, K.W. 2008. Factors controlling the fluvial export of large woody debris, and its contribution to organic carbon budgets at watershed scales, *Water Resources Research*, vol. 44, 1-13.
15. Nagayama, S., Nakamura, F., Kawaguchi, Y. et Nakano, D. 2012. Effects of configuration of instream wood on autumn and winter habitat use by fish in a large remeandering reach, *Hydrobiologia*, vol. 680, 159-170.
16. Webb, A. et Erskine, W. 2003. Distribution, recruitment, and geomorphic significance of large woody debris in an alluvial forest stream: Tonghi Creek, southeastern Australia, *Geomorphology*, vol. 51, 109-126.
17. Kramer, N. 2016. Great river wood dynamic in northern Canada, Thèse de doctorat au département des géosciences, Fort Collins: Colorado State University, 235 p.
18. Cramer, M.L. 2012. Stream Habitat Restoration Guidelines, Co-publié avec Washington Departments of Fish and Wildlife, Natural Resources, Transportation and Ecology, Washington State Recreation and Conservation Office, Pudget Sound Partnership, and the U.S. Fish and Wildlife Service, Olympia, Washington, 844 p.
19. JFNew 2007. A Primer on Large Woody Debris Management, Pour Rochester Hills, Michigan, septembre 2007, 42 p.
20. Ledard, M., Gross, F., Haury, J., Lafontaine, L., Hubaud, M.-O., Vigneron, T., Dubos, C., Labat, J.-J., Aubry, M., Nioche-Seigneuret, F., Vienne et L., Craipeau, F. 2001. Restauration et entretien des cours d'eau en Bretagne, Guide technique, Rennes, 107 p.
21. OPSW (Oregon Plan for Salmon and Watersheds) 1999. Oregon Aquatic Habitat: Restoration and Enhancement Guide, 103 p.
22. GENIVAR. 2011. Impact des embâcles de bois sur le profil d'écoulement et la montaison de saumons dans l'estuaire de la rivière Saint-Jean – Rapport du volet 3 – Impacts potentiels sur les infrastructures. Rapport de GENIVAR inc. à la Société de gestion des rivières de Gaspé inc. 17 p. et annexes.

23. Wadham-Gagnon, B., Castilloux, M., 2010. Suivi télémétrique de saumons atlantiques (*Salmo salar*) dans l'estuaire et l'embâcle de la rivière Saint-Jean (Gaspésie, Québec, Canada). Rapport présenté à la Société de gestion des rivières de Gaspé Inc.
24. Hébert, J.-S. 2006. Bassin versant de la rivière Mont-Louis – Analyse des problématiques. Activia Environnement inc. Pour le Comité de bassin de la rivière Mont-Louis, Mont-Louis, 114p.
25. Maltais, M. 2019. Évolution spatiale et temporelle de la dynamique du bois mort en rivière, Mont-Louis, Gaspésie, mémoire de maîtrise en géographie, Rimouski : Université du Québec à Rimouski, 185 p.
26. Boivin, M., Buffin-Bélanger, T. et Piégay, H. 2017a. Estimation of large wood budget in a watershed and river corridor at interdecadal to interannual scales in a cold-temperate fluvial system, *Earth Surface Processes and Landform*, vol. 42, no 13, 2199-2213 p.
27. Boivin, M., Buffin-Bélanger, T. et Piégay, H. 2017b Interannual kinetics (2010-2013) of large wood in a river corridor exposed to a 50-years flood event and fluvial ice dynamics, *Geomorphology*, vol. 279, 59-73.
28. Boivin, M., Buffin-Bélanger, T. et Piégay, H. 2015. The raft of the Saint-Jean River, Gaspé (Québec, Canada): A dynamic feature trapping most of the wood transported from the catchment, *Geomorphology*, vol. 231, 270-280.
29. Boivin, M. et Buffin-Bélanger, T. 2010. Étude hydrogéomorphologique liée à la présence de bois morts dans le corridor fluvial de la rivière Saint-Jean, Gaspé, Rapport présenté à la Société de gestion des rivières de Gaspé inc. Laboratoire de géomorphologie et dynamique fluviale. LGDF-001- UQAR. 99 pages.
30. Massé, S. 2014. Analyse hydrogéomorphologique de la dynamique des embâcles de bois mort de la rivière Neigette, Bas-Saint-Laurent, Québec, mémoire de maîtrise en géographie, Rimouski : Université du Québec à Rimouski, 191 p.
31. MDDELCC (Ministère du Développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques) 2015. Guide d'interprétation, Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables, MDDELLCC, Direction des politiques de l'eau, 131 p.
32. Leeder, M.R. 1983. On the interaction between turbulent flow, sediment transport and bedform mechanics in channelized flows. *Modern and ancient fluvial systems*, Special Publication of the International Association of Sedimentologists. J. D. C. a. J. Lewin. Oxford: 5-18.

33. Church, M. 2006. Bed material Transport and the Morphology of Alluvial River Channels, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, Vol. 34, p. 325-354.
34. Montgomery, D.R. et Buffington, J.M. 1997. Channel-reach morphology in mountain drainage basins, *GSA Bulletin*, vol. 109, no 5, 596-611.
35. Schumm, S.A. 1981. Evolution and response of the fluvial system, sedimentologic implications, *SPEM Special Publication*, no. 31, 12-29.
36. Kondolf, G.M., Montgomery, D.R., Piégay, H., Schmitt, L., 2016. Geomorphic classification of rivers and streams. In: Kondolf, G.M., Piégay, H. (Eds.), *Tools in Fluvial Geomorphology*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, 133–158.
37. Church M. 1992. Channel morphology and typology. In *The Rivers Handbook*, ed. P Calow, GE Petts, 1:126–43. Oxford: Blackwell Sci. 526 pp.
38. Brierley, G.J. et Fryirs, K.A. 2005. *Geomorphology and River Management: Application of the River Styles Framework*, Oxford, Wiley-Blackwell, 416 p.
39. Demers, S. et Buffin-Bélanger, T. 2011. Une méthode illustrée pour la sectorisation morphodynamique de la rivière Neigette (Québec). *The Canadian Geographer / Le Géographe canadien*, vol. 55, no 3, 318-333.
40. Biron, P.M., Choné, G., Buffin- Bélanger, T, Demer, S., Olsen, T. 2013. Improvement of streams hydrogeomorphological assessment using LiDAR DEMs, *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 38 (15). 1808-1821.
41. Lane, E.W. 1955. The importance of fluvial morphology in river hydraulic engineering, *American Society of Civil Engineers*, vol. 81, no 1, 1–17.
42. Dufour, S. et Piégay, H. 2009. From the myth of a lost paradise to targeted river restoration: Forget natural references and focus on human benefits, *River Research and Applications*, vol. 25, 568-581.
43. Gurnell, A. M. 2013. Wood in fluvial systems, dans: *Treatise on fluvial geomorphology*, J.F. Shroder et E. Wohl (dir.), Academic Press, Elsevier, San Diego, CA, Volume 9, Fluvial Geomorphology, Chapitre 11, p. 163-188.
44. Abbe, T.B. et Montgomery, D.R. 2003. Patterns and processes of wood debris accumulation in the Queets river basin, Washington, *Geomorphology*, vol. 51, 81-107.
45. Manners, R.B., Doyle, M.W. et Small, M.J. 2007. Structure and hydraulics of natural woody debris jams, *Water Resources Research*, vol. 43, 1-17.

46. Gippel, C.J. 1995. Environmental hydraulics of large woody debris in streams and rivers, *Journal of Environmental Engineering*, vol. 121, no 5, 388-395.
47. Collins, B.D., Montgomery, D.R., Fetherston, K.L., Abbe, T.P. 2012. The floodplain large-wood cycle hypothesis: A mechanism for the physical and biotic structuring of temperate forested alluvial valleys in the North Pacific coastal ecoregion, *Geomorphology*, vol. 139-140, 460-470.
48. Magilligan, F.J., Nislow, K.H., Fisher, G.B., Wright, J., Mackey, G. et Laser, M. 2008. The geomorphic function and characteristics of large woody debris in low gradient rivers, coastal Maine, USA, *Geomorphology*, vol. 97, 467-482.
49. Montgomery, D.R., Collins, B.D., Buffington, J.M. et Abbe, T.B. 2003. Geomorphic effects of wood in rivers, *American Fisheries Society Symposium*, vol. 37, 21-47.
50. Piégay, H. 2003. Dynamics of Wood in Streams and Rivers, dans: *The Ecology and Management of Wood in World Rivers*, S. Gregory, K. Boyer et A. Gurnell (dir.) American Fisheries Society Symposium, p. 109-134.
51. Wohl, E. et Scott, D.N. 2016. Wood and sediment storage and dynamics in river corridors, *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 42, no 1, 5-23.
52. Gippel, C.J., O'Neill, I.C., Finlayson, B.L. et Schnatz, I. 1996. Hydraulic guidelines for the re-introduction and management of large woody debris in lowland rivers, *Regulated Rivers: Research and Management*, vol. 12, 223-236.
53. Faustini, J.M. et Jones, J.A. 2003. Influence of large woody debris on channel morphology and dynamics in steep, boulder-rich mountain streams, western Cascades, Oregon, *Geomorphology*, vol. 51, 187-205.
54. Skalak, K. et Pizzuto, J. 2010. The distribution and residence time of suspended sediment stored within the channel margins of a gravel-bed bedrock river, *Earth Surface Processes and Landform*, vol. 35, 435-446.
55. Wohl, E. 2013. Floodplain and wood, *Earth-Sciences Reviews*, vol. 123, 194-212.
56. Piégay, H., Le Lay, Y.-F. et Moulin, B. 2005. Les risques liés aux embâcles de bois dans les cours d'eau : état des connaissances et principes de gestion, dans : Bois mort et à cavités. Une clé pour des forêts vivantes, Vallauri, D., Dodelin, A.J., Eynard-Machet, B. et Rambaud, D. (dir.), Paris, Lavoisier et Editions Tec et Doc, 193-202.
57. Abbe, T.B. et Montgomery, D.R. 1996. Large woody debris jams, channel hydraulics and habitat formation in large rivers, *Regulated Rivers: Research et Management*, vol. 12, 201-221.

58. Keller, E.A. et Swanson, F.J. 1979. Effects of large organic material on channel form and fluvial processes, *Earth Surface Processes*, vol. 4, 361-380.
59. Boyer, K. L., Rae Berg, D. et Gregory, S. V. 2003. Riparian Management for Wood in Rivers, Wood Recruitment Processes and Wood Budgeting, dans: *The Ecology and Management of Wood in World Rivers*, S. Gregory, K. Boyer et A. Gurnell (dir.), American Fisheries Society Symposium, p. 407-420.
60. Cherry, J. et Beschta, R.L. 1989. Coarse woody debris and channel morphology: a flume experiment, *Water Resources Bulletin*, vol. 25, no 5, 1031-1036.
61. Dodd, J.A., Newton, M. et Adam, E.C. 2016. The effect of natural flood management in-stream wood placements on fish movement in Scotland, 38 p.
62. Thompson, D.M. 2013. Pool-riffle dans: *Treatise on fluvial geomorphology*, J.F. Shroder et E. Wohl (dir.), Academic Press, Elsevier, San Diego, CA, Volume 9, Fluvial Geomorphology, Chapitre 21, p. 364-378.
63. Wyrick, J.R. et Pasternack, G.B. 2014. Geospatial organization of gravel-cobble river: Beyond the riffle-pool couplet, *Geomorphology*, vol. 213, 48-65.
64. Montgomery, D.R., Buffington, J.M., Smith, R.D., Schmidt, K.M. et Pess, G., (1995). Pool spacing in forest channels. *Water Resources Research*, vol. 31, 1097-1105.
65. Daniels, D.D. et Rhoads, B.L. 2003. Influence of a large woody debris obstruction on three-dimensional flow structure in a meander bend, *Geomorphology*, vol. 51, 159-173.
66. Shields, F.D. Jr. et Smith, R.H. 1992. Effects of a large woody debris removal on physical characteristics of a sand-bed river, *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystem*, vol. 2, 145-163.
67. Merten, E.C., Vaz, P.G., Decker-Fritz, J.A., Finlay, J.C. et Stefan, H.G. 2013. Relative importance of breakage and decay as processes depleting large wood from streams, *Geomorphology*, vol. 190, 40-47.
68. Beschta, R.L. 1979. Debris removal and its effects on sedimentation in an Oregon coast range, *Northwest Science*, vol. 53, 71-77.
69. Smith, R.D., Slide, R.C. et Porter, P.E. 1993. Effects of bedload transport of experimental removal of woody debris from a forest gravel-bed stream, *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 1, 455-468.

70. Francis, R.A., Tibaldeschi, P. et McDougall, L. 2008. Fluvially-deposited large wood and riparian plant diversity, *Wetland Ecology and Management*, vol. 16, no 5, 371-382.
71. Beschta, R. 1997. Riparian shade and stream temperature: an alternative perspective, *Rangelands*, vol. 19. No 2, 25-28.
72. Mathooko, J.M. et Otieno, O. 2002. Does surface textural complexity of woody debris in lotic ecosystems influence their colonization by aquatic invertebrate?, *Hydrobiologia*, vol. 489, 11-20.
73. Hax, C.L. et Golladay, S.W. 1993. Macroinvertebrate colonization and biofilm development on leaves and wood in a boreal river, *Freshwater Biology*, vol. 29, 79-87.
74. Francis, R.A., Tibaldeschi, P. et McDougall, L. 2008. Fluvially-deposited large wood and riparian plant diversity, *Wetland Ecology and Management*, vol. 16, no 5, 371-382.
75. Cashman, M.J. 2014. The effect of large wood on river physical habitat and nutritional dynamics, Thèse de doctorat au département de géosciences, Queen Mary University of London et département de biologie, chimie et pharmacie, Université Freie, Berlin, 231 p.
76. Wohl, E., Bledsoe, B.P., Fausch, K.D., Kramer, N., Bestgen, K.R. et Gooseff, M.N. 2016. Management of large wood in streams: an overview and proposed framework for hazard evaluation, *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 52, no 2, 315-335.
77. Gurnell, A.M., Tockner, K., Edwards, P. et Petts, G. 2005. Effects of deposited wood on biocomplexity of river corridor, *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 3, no 7, 377-382.
78. Gonzalez, R., Dunham, J., Lightcap, S. et McEnroe, J. 2017. Large wood and instream habitat for juvenile Coho salmon and larval lampreys in pacific northwest streams, *North American Journal of Fisheries Management*, vol. 37, no 4. 683-699.
79. Schneider, K.N. et Winemiller, K.O. 2008. Structural complexity of woody debris patches influence fish and macroinvertebrate species richness in temperate floodplain-river system, *Hydrobiologia*, vol. 610, no 1, 235-244.
80. Dossi, F., Leitner, P., Pauls, S. et Graf, W. 2018. In the mood for wood-habitat specific colonization patterns of benthic invertebrate communities along the longitudinal gradient of an Austrian river, *Hydrobiologia*, vol. 805, no 1, 243-258.

81. Pilotto, F., Bertoncin, A., Harey, G.L., Wharton, G. et Pusch, M.T. 2014. Diversification of stream invertebrate communities by large wood, *Freshwater Biology*, vol. 59, no 12, 2571-2583.
82. Roni, P. Beechie, T. Pess, G. et Hanson, K. 2015. Wood placement in river restoration fact, fiction, and future direction, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 72, no 3, 466-478.
83. Flebbe, P.A. 1999. Trout use of woody debris and habitat in Wine Spring Creek, North Carolina, *Forest Ecology and Management*, vol. 114, no 2, 367-376.
84. Wright, J.P. et Flecker, A.S. 2004. Deforesting the riverscape: the effects of wood on fish diversity in a Venezuelan piedmont stream, *Biological Conservation*, vol. 120, no 3, 443-451.
85. Fausch, K.D. et Northcote, T.G. 1992. Large woody debris salmonid habitat in a small coastal British Columbia stream, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 49, no 4, 682-693.
86. Harmon, M.E., Franklin, J.F., Swanson, F.J., Sollins, P., Gregory, S.V., Lattin, J.D., Anderson, N.H., Cline, S.P., Aumen, N.G., Sedell, J.R., Lienkaemper, G.W., Cromack, K. Jr. et Cummins, K.W. 1986. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems, *Advances in Ecological Research*, vol. 15, 133-302.
87. Ebersole, J.L., Liss, W.J. et Frissell, C.A. 2003. Thermal heterogeneity, stream channel morphology, and salmonid abundance in northeastern Oregon streams, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 60, no 10, 1266-1280.
88. Sundbaum, K. et Naslund, I. 1998. Effects of woody debris on the growth and behaviour of brown trout in experimental stream channels, *Canadian Journal of Zoology*, vol. 76, no1, 56-61.
89. Howson, T.J., Robson, B.J., Matthews, T.G. et Mitchell, B.D. 2012. Size and quality of woody debris affects fish assemblages in a sediment-disturbed lowland river, *Ecological Engineering*, vol. 40, 144-152.
90. Hafs, A.W., Harisson, L.R., Utz, R.M. et Dunne, T. 2014. Quantifying the role of woody debris in providing bioenergetically favorable habitat for juvenile salmon, *Ecological Modeling*, vol. 285, 30-38.
91. Pettit, N.E., Warfe, D.M., Kennard, M.J., Pusey, B.J. et Davies, P.M. 2013. Dynamics of in-stream wood and its importance as fish habitat in large tropical floodplain river, *River Research and Application*, vol.29, 864-875.

92. Peters, R.J., Knudsen, E., Pauley, G.B., Cederholm, C.J. 2015. Influence on wood and other habitat characteristics on the distribution and abundance of Coho salmon in a relatively large river, *Northwest Science*, vol. 89, no 4, 336-354.
93. Le Lay, Y-F., Piégay, H. 2007. Le bois mort dans les paysages fluviaux français : éléments pour une gestion renouvelée, *Espace Géographique*, Éditions Belin, vol. 36 no 1, 57-64.
94. Maridet, L., Piégay, H., Gilard, O. et Thévenet, A. 1996. L'embâcle de bois en rivière : un bienfait écologique? Un facteur de risques naturels?, *La Houille Blanche*, no 5, 32-37.
95. Bureau of Reclamation et Army Corps of Engineers 2015. Large Wood National Manual: Assessment, planning, design and maintenance of large wood in fluvial ecosystems: Restoring process, function and structure, 628 p. + annexes.
96. Thomas, H., Nisbet, T.R. 2012. Modelling the hydraulic impact of reintroducing large woody debris into watercourses. *Journal of Flood Risk Management*, 5(2), 164-174.
97. Kitts, D.R. 2010. The Hydraulic and Hydrological Performance of Large Wood Accumulations in a Low-order Forest Stream. Ph.D, University of Southampton, Southampton, 367 p.
98. Curran, J.C. 2010. Mobility of large woody debris (LWD) jams in a low gradient channel, *Geomorphology*, vol. 116, 320-329.
99. Lawrence, J.E., Resh, V.H. et Cover, M.R. 2013. Large-wood loading from natural and engineered processes at the watershed scale, *River Research and Application*, vol. 29, 1030-1041.
100. Benda, L.E., Miller, D., Sias, J., Martin, D., Bilby, R., Veldhuisen, C. et Dunne, T. 2003. Wood Recruitment Processes and Wood Budgeting, dans: *The Ecology and Management of Wood in World Rivers*, S. Gregory, K. Boyer et A. Gurnell (dir.), American Fisheries Society Symposium, 49-74.
101. Martin, D.J. et Benda, L.E. 2001. Patterns of instream wood recruitment and transport at the watershed scale, *Transactions of the American Fisheries Society*, vol. 130, 940-958.
102. Benda, L.E. et Sias, J.C. 2003. A quantitative framework for evaluating the mass balance of in-stream organic debris, *Forest Ecology and Management*, vol.172, 1-16.

103. Pasternack, G.B. 2013. Geomorphologist's guide to participating in river rehabilitation, dans: *Treatise on Geomorphology volume 9*, (dir.) John F. Shroder, London, Academic Press, Elsevier, San Diego, CA, Volume 9, Fluvial Geomorphology, Chapitre 41, p. 843-860.
104. Hassan, M.A., Hogan, D.L., Bird, S.A., May, L.M., Gomi, T. et Campbell, D. 2005. Spatial and temporal dynamics of wood in headwater streams of the Pacific Northwest, *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 2, 899-919.
105. Fremier, A.K., Seo, J.I. et Nakamura, F. 2010. Watershed controls on the export of large wood from stream corridors, *Geomorphology*, vol. 117, 33-43.
106. Kraft, C.E., Warren, D.R. et Keeton W.S. 2011. Identifying the spatial pattern of wood distribution in northeastern North American streams, *Geomorphology*, vol. 135, 1-7.
107. Marcus, W.A., Marston, R.A., Colvard, C.R. et Gray, R.D. 2002. Mapping the spatial and temporal distributions of woody debris in streams of the Greater Yellowstone Ecosystem, USA, *Geomorphology*, vol. 44, 323-335.
108. Nakamura, F. et Swanson, F.J. 2003. Dynamics of wood in rivers in the context of ecological disturbance, Dans: *The ecology and management of wood in world rivers (American Fisheries Society Symposium 37)*, (dir.) Gregory SV, Boyer KL, Gurnell AM, American Fisheries Society, Bethesda, MD, pp 279–297
109. Benda, L.E. 1990. The influence of debris flows on channels and valley floors in the Oregon coast range, U.S.A., *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 15, 457-466.
110. Baillie, B.R., Garrett, L.G. et Evanson, A.W. 2008. Spatial distribution and influence of large woody debris in an old-growth forest river system, New Zealand, *Forest Ecology and Management*, vol. 256. 20-27.
111. Merten, E.C., Finlay, J., Johnson, L., Newman, R., Stefan, H. et Vondracek, B. 2010. Factors influencing wood mobilization in streams, *Water Resources Research*, vol. 46, no 10, 1-13
112. Nakamura, F. et Swanson, F.J. 1993. Effects of coarse woody debris on morphology and sediment storage of a mountain stream system in western Oregon, *Earth Surface Processes and Landform*, vol. 18, 43-61.
113. Abbe, T.B. 2000. Patterns, mechanics and geomorphic effects of wood debris accumulations in a forest river system, Thèse de doctorat au département de sciences géologiques, Université de Washington, 220 p.

114. Iroumé, A., Mao, L., Andrea, A., Ulloa, H. et Ardiles, M.P. 2015. Large wood mobility processes in low-order Chilean river channels, *Geomorphology*, vol. 228, 681-693.
115. Kramer, N. et Wohl, E. 2017. Rules of the road: A quantitative synthesis of large wood transport through drainage networks, *Geomorphology*, vol. 279, 74-97.
116. Braudrick, C.A. et Gordon, E.G. 2000. When do logs move in rivers, *Water Resources Research*, vol. 36. no 2. 571-583.
117. Bisson, P.A., Bilby, R.E., Bryant, M.D., Dolloff, C.A., Grette, G.B., House, R.A., Murphy, M.L., Koski, V.K. et Sedell, J.R. 1987. Large woody debris in forested streams in pacific northwest: past, present, and future, dans: *Streamside Management: Forestry and Fishery Interactions*. Univ. Washington Inst. Forest Resour. Contrib., Salo, E.P. and Cundy, T. W. (dir.), no 57, 143-190.
118. Wohl, E. et Jaeger, K. 2009. A conceptual model for the longitudinal distribution of wood in mountain streams, *Earth Surface Processes and Landform*, vol. 34, 329-344.
119. Bocchiola, D., Rulli, M.C. et Rosso, R. 2006. Transport of large woody debris in the presence of obstacles, *Geomorphology*, vol. 76, 166-178.
120. Gurnell, A. M. 2003. Wood storage and mobility dans: *The Ecology and Management of Wood in World Rivers*, S. Gregory, K. Boyer et A. Gurnell (dir.) American Fisheries Society Symposium, p. 75-92.
121. Chin, A., Daniels, M.D., Urban, M.A., Piégay, H., Gregory, K.J., Bigler, W., Butt, A.Z., Grable, J.L., Gregory, S.V., Lafrenz, M., Laurencio, L.R., Wohl, E. 2008. Perception of wood in rivers and challenges for stream restoration in the United States, *Environmental Management*, vol. 41, no 6, 893-903.
122. Testa III, S. Shields, F.D. et Cooper, C.M. 2011. Macroinvertebrate response to stream restoration by large wood addition, *Ecohydrology*, vol. 4, no 5, 631-643.
123. Clinton River Watershed Council, SD. Field manual on Maintenance of Large woody debris for municipal operation and maintenance crews, 50 p.
124. Heaton, M.G., Grillmayer, R. et Imhof, J.G. 2002. Ontario's stream rehabilitation manual, pour Ontario Stream, 176 p. + annexes.
125. Oregon Department of State Lands, Oregon Department of Forestry, Oregon Watershed Enhancement Board et Oregon Fish and Wildlife 2010. Guide to placement of wood, boulders and gravel for habitat restoration, 21 p. + annexes.

126. Rafferty, M. 2017. Computational design tool for evaluating the stability of large wood structures, Technical notes TN-103.2, Fort Collins: Us Department of Agriculture, Forest Services, National Stream & Aquatic Ecology Center, 27 p.
127. Wohl, E. et Merritts, D.J. 2007. What is a natural river?, *Geography Compass*, vol.1, no 4, 871-900.
128. Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F. et Bussettini, M. 2015. A methodological framework for hydrogeomorphological assessment, analysis and monitoring (IDRAIM), aimed at promoting integrated river management, *Geomorphology*, vol. 251, 122-136.
129. Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F. et Bussettini, M. 2013. A method for the assessment and analysis of the hydrogeomorphological condition of an Italian stream: The Morphological Quality Index (MQI), *Geomorphology*, vol. 180-181, 96-108.
130. Boivin, M. 2016. Analyse par bilan ligneux de la dynamique des bois morts à multiples échelles spatiales et temporelle dans une rivière semi-alluviale de région froide. Thèse de doctorat en sciences de l'environnement et en géographie, Rimouski : Université du Québec à Rimouski, Université de Lyon, 185 p.
131. Díez, J.R., Larrañaga, S., Elosegi, A. et Pozo, J. 2000. Effect of removal of wood on streambed stability and retention of organic matter, *Journal of the North American Benthological Society*, vol. 19, no 4, 621-632.
132. Smith R.D., Sidle, R.C., Porter, P.E. et Noel, J.R. 1993. Effects of experimental removal of woody debris on the channel morphology of a forest, gravel-bed stream, *Journal of Hydrology*, vol. 152, 153-178.
133. Macdonald, A. et Keller, E.A. 1987. Stream channel response to the removal of large woody debris, Larry Damm Creek, northwestern California, Erosion and Sedimentation in the Pacific Rim, Proceedings of the Corvallis Symposium. IAHS no 165, 2 p.
134. Denis, C., Massé, S., Buffin-Bélanger, T. et Gendron, M. 2013. Gestion des embâcles de bois mort et analyse du potentiel récréatif de la rivière Neigette, Organisme des Bassins Versants du Nord-Est du Bas-St-Laurent, 86 pages + annexes.
135. Keller, E.A. et Macdonald, A. 1995. River channel change: The role of large woody debris. dans: Changing river channels, Gurnell, A. et Petts, G., John Wiley and Sons, 216-236.

136. Lisle, T.E. 1995. Effects of coarse woody debris and its removal on a channel affected by the 1980 eruption of Mount St. Helens, Washington, *Water Resources Research*, vol. 31, 1797-1808.
137. Daniels, M.D. et Rhoads, B.L. 2007. Influence of experimental removal of large woody debris on spatial patterns of three-dimensional flow in a meander bend, *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 32, 450-474.
138. Bilby, R.E. 1984. Removal of woody debris may affect stream channel stability, *Journal of Forestry*, vol. 82, 609-613.
139. Chin, A., Laurencio, L.R., Daniels, M.D., Wohl, E. Urban, M.A., Boyer, K.L., Butt, A., Piégay, H. et Gregory, K.J. 2012. The significance of perceptions and feedbacks for effectively managing wood in rivers, *River Research and Application*, vol. 30, 98-111.
140. Pollock, M.M., Beechie, T.J. et Jordan, C.E. 2007. Geomorphic changes upstream of beaver dams in Bridge Creek, an incised stream channel in the interior Columbia River basin, eastern Oregon, *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 32, 1174- 1185.
141. Riggsbee, J.A., Doyle, M.W., Julian, J.P., Manners, R., Muehlbauer, J.D., Sholtes, J. et Small, M.J. 2013. Influence of Aquatic and Semi-Aquatic Organisms on Channel Forms and Processes. dans: *Treatise in Geomorphology*, Shroder, J. (Editor in Chief), Wohl, E. (dir.), Academic Press, Elsevier, San Diego, CA, Volume 9, Fluvial Geomorphology, Chapitre 12, p. 189-202.
142. Curran, J.C. et Cannatelli, K.M. 2014. The impact of beaver dams on the morphology of a river in the eastern United States with implications for river restoration, *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 39, 1236-1244.

Manuscrit

Annexes

Annexe 1 : Questions pour l'outil d'aide à la décision pour la dynamique du bois en rivière

(Voir le fichier Excel et le guide technique en annexe 2 à ce document pour l'application de l'indice)

Dynamique du cours d'eau			
D1	Quel est le type d'environnement fluvial?		D1
	Confiné	1	<input type="checkbox"/>
	Partiellement confiné	3	<input type="checkbox"/>
	Non confiné	5	<input type="checkbox"/>
D2	Quelle est la cohésion des berges?		D2
	cohésive (berges rocheuses et argileuses)	1	<input type="checkbox"/>
	non-cohésive (sables et gravier)	5	<input type="checkbox"/>
D3	Quelle est la taille des sédiments qui composent principalement le lit du cours d'eau		D3
	Lit rocheux ou de bloc >256 mm	0	<input type="checkbox"/>
	argile et limon	1	<input type="checkbox"/>
	Sable > 0,063 mm et < 2 mm	3	<input type="checkbox"/>
	Gravier > 2 mm et < 256 mm	5	<input type="checkbox"/>
D4	Quels sont les processus actifs observés à l'échelle du tronçon homogène (cochez toutes les situations qui s'appliquent):		D4
	Apparence stable	0	<input type="checkbox"/>
	érosion des berges par la force hydraulique ⁶	2	<input type="checkbox"/>
	érosion par mouvements de masses	3	<input type="checkbox"/>
	Avulsion	3	<input type="checkbox"/>
	indices d'incision*	8	<input type="checkbox"/>
	*envisager une solution pour établir les causes de cette incision		
	indices d'aggradation*	8	<input type="checkbox"/>
	*envisager une solution pour établir les causes de cette aggradation		
D5	Est-ce qu'il y a un stockage substantiel de sédiments sur le lit?		D5
	absence de bancs ou présence de bancs stables et végétalisés	0	<input type="checkbox"/>
	$largeur_{bancs}^3 < 40\% largeur_{dpb}$	3	<input type="checkbox"/>
	$largeur_{bancs}^3 \geq 40\% largeur_{dpb}$	5	<input type="checkbox"/>
D6	À quel style fluvial correspond le tronçon où se trouve l'embâcle de bois?		D6
	Linéaire, méandre stable	0	<input type="checkbox"/>
	Méandre dynamique (avulsion et/ou migration latérale)	3	<input type="checkbox"/>
	Divagant	5	<input type="checkbox"/>
	Cône alluvial ou delta	10	<input type="checkbox"/>
D7	Dans l'historique récent (1960±), quelles sont les fluctuations de largeur observées ?		D7
	ne sais pas	2	<input type="checkbox"/>
	$\Delta largeurs < 10\%$	0	<input type="checkbox"/>
	$\Delta largeurs \geq 10\% \text{ et } < 50\%$	3	<input type="checkbox"/>
	$\Delta largeurs \geq 50\%*$	5	<input type="checkbox"/>
	*cours d'eau instable et sensible aux perturbations; risque d'aggradation même si $largeur_{structure} = 1.1 largeur_{dpb}$ vérifier s'il y a une tendance systématique dans les étirements observés		
D8	Dans l'historique récent (1960±), est-ce que le cours d'eau s'est déplacé ?		D8
	ne sais pas	2	<input type="checkbox"/>
	déplacement $< 1 \times largeur_{dpb}$	0	<input type="checkbox"/>
	déplacement $\geq 1 \times largeur_{dpb}$ et $< 3 \times largeur_{dpb}$	3	<input type="checkbox"/>
	déplacement $\geq 3 \times largeur_{dpb}$ ou avulsion*	5	<input type="checkbox"/>
	*Cours d'eau instable, sensible aux perturbations et propice à une problématique d'érosion des berges		
D9	Quel type de crues domine le cours d'eau?		D9
	Fluvial	0	<input type="checkbox"/>
	Torrentiel	3	<input type="checkbox"/>

Dynamique du bois en rivière

B1	À l'échelle du tronçon fluvial, quelle proportion du linéaire de cours d'eau est caractérisée par de la végétation arborescente?			B1
	< 30%		0	<input type="checkbox"/>
	> 30% et < 60%		3	<input type="checkbox"/>
	> 60%		5	<input type="checkbox"/>
B2	Quel est le principal mode de recrutement du bois sur le tronçon et en amont? (plusieurs réponses possibles)			B2
	Mortalité naturelle		1	<input type="checkbox"/>
	Ne sais pas		2	<input type="checkbox"/>
	Érosion des berges (quelques cm/an)		3	<input type="checkbox"/>
	Migration du chenal (plusieurs cm ou m/an) et/ou Avulsion		5	<input type="checkbox"/>
	Mouvement de masse (avalanche, glissement de terrain)		8	<input type="checkbox"/>
B3	Le bois dans l'embâcle est-il en bon état?			B3
	Plus de 60% du bois est décomposé		0	<input type="checkbox"/>
	Entre 30% et 60% du bois est décomposé		3	<input type="checkbox"/>
	Le bois est sain; < 30% du bois est décomposé		5	<input type="checkbox"/>
B4	À l'échelle du tronçon, comment évoluent les volumes de bois			B4
	Ne sais pas		2	<input type="checkbox"/>
	Les volumes de bois semblent en diminution		0	<input type="checkbox"/>
	Les volumes de bois semblent stables		3	<input type="checkbox"/>
	Les volumes de bois semblent en augmentation		5	<input type="checkbox"/>
B5	L'embâcle de bois montre-t-il des signes d'instabilité?			B5
	Des bois sont solidement fixés ou partiellement enfouis		0	<input type="checkbox"/>
	Des bois sont ancrés par un réseau racinaire bien développé		3	<input type="checkbox"/>
	Les bois sont mobiles; ils se sont accumulés récemment		5	<input type="checkbox"/>
B6	Quel est le rapport entre la hauteur des arbres de la ripisylve et la largeur du chenal?			B6
	Hauteur arbres < Largeur _{dgb}		1	<input type="checkbox"/>
	Hauteur des arbres = Largeur _{dgb}		3	<input type="checkbox"/>
	Hauteur des arbres > Largeur _{dgb}		5	<input type="checkbox"/>
B7	À l'échelle de l'embâcle, est-ce qu'il y a des modifications en termes de volume et du nombre de morceaux de bois?			B7
	Ne sais pas		2	<input type="checkbox"/>
	Le volume et le nombre de bois semblent en diminution		0	<input type="checkbox"/>
	Le volume et le nombre de bois semblent stables		3	<input type="checkbox"/>
	Le volume et le nombre de bois semblent en augmentation		5	<input type="checkbox"/>
B8	Au niveau du transport de bois dans le cours d'eau, quels types d'évènements hydrométéorologiques sont susceptibles d'influencer la mobilité du bois? (Plusieurs réponses possibles)			B8
	Absence de crue significative		0	<input type="checkbox"/>
	Crue en eau claire		2	<input type="checkbox"/>
	Crue avec débâcle mécanique des glaces		3	<input type="checkbox"/>
	Crue torrentielle		5	<input type="checkbox"/>
B9	Quelle proportion du chenal au niveau plein-bord est obstruée par l'embâcle?			B9
	Moins de 10% du chenal		0	<input type="checkbox"/>
	Entre 10% et 30%		3	<input type="checkbox"/>
	Entre 30% et 50%		5	<input type="checkbox"/>
	Entre 50% et 75%		8	<input type="checkbox"/>
	75% et plus		10	<input type="checkbox"/>
B10	Est-ce que d'autres bois se situent sur ce tronçon fluvial ou sur un tronçon en amont?			B10
	Ne sais pas		2	<input type="checkbox"/>
	Aucun embâcle de bois ou bois individuels dispersés		0	<input type="checkbox"/>
	Quelques embâcles par kilomètres linéaires de cours d'eau (< 10 embâcles)		3	<input type="checkbox"/>
	Plusieurs embâcles par kilomètres linéaires de cours d'eau (>10 embâcles)		5	<input type="checkbox"/>
	<small>Si les volumes de bois semblent grands, établir un bilan ligneux</small>			
B11	Le bois influence-t-il la mobilité du chenal?			B11
	Le bois protège la berge		0	<input type="checkbox"/>
	Le bois ne protège pas la berge, mais n'a pas d'influence sur les taux d'érosion		3	<input type="checkbox"/>
	Le bois augmente les taux d'érosion localement		5	<input type="checkbox"/>
	Le bois initie le développement d'un chenal secondaire (avulsion)		8	<input type="checkbox"/>
B12	Le bois influence-t-il les transits sédimentaires?			B12
	Aucune influence sur le transit sédimentaire		0	<input type="checkbox"/>
	Des sédiments plus fins que ceux qui composent le lit se déposent à proximité du bois		1	<input type="checkbox"/>
	Des bancs d'accumulations se forment à proximité du bois, dans un secteur où les bancs sont fréquents		3	<input type="checkbox"/>
	Un ou plusieurs bancs d'accumulations se forment à proximité du bois, dans un secteur où les bancs sont rares ou absent		5	<input type="checkbox"/>

Enjeux de sécurité

S1 Existe-t-il un espace où le cours d'eau serait libre de se déplacer sans nuire aux infrastructures (routes, maisons, ponts...)?			S1
	Corridor large sur la longueur du tronçon <small>≈ 1 fois la largeur du cours d'eau linéaire, méandre stable ou ≈ 2 fois pour méandre dynamique, divagant</small>	1	<input type="checkbox"/>
	Corridor étroit sur la longueur du tronçon <small>< 1 fois la largeur du cours d'eau linéaire, méandre stable ou < 2 fois pour méandre dynamique, divagant</small>	3	<input type="checkbox"/>
	Aucun corridor sur la longueur du tronçon <small>* < 0,5 fois la largeur du cours d'eau linéaire, méandre stable ou < 1 fois pour méandre dynamique, divagant</small>	5	<input type="checkbox"/>
S2 Des infrastructures sont-elles susceptibles d'être endommagées par le bois en rivière? (route, pont, ponceau, habitation, enrochement)			S2
	Aucune infrastructure	0	<input type="checkbox"/>
	Des infrastructures se situent à quelques kilomètres en aval	1	<input type="checkbox"/>
	Des infrastructures se situent à quelques centaines de mètres en aval	3	<input type="checkbox"/>
	Des infrastructures se situent à quelques dizaines de mètres	5	<input type="checkbox"/>
	Le bois est en contact avec une infrastructure	10	<input type="checkbox"/>
S3 Des infrastructures limitent-elles la mobilité du bois? (Ex.: pont, ponceau...)			S3
	Largeur des infrastructures > hauteur des arbres	1	<input type="checkbox"/>
	Largeur des infrastructures = hauteur des arbres	3	<input type="checkbox"/>
	Largeur des infrastructures < hauteur des arbres	5	<input type="checkbox"/>
S4 Quel est le niveau d'aménagement du tronçon fluvial?			S4
	Le tronçon est principalement naturel: environ 15% d'aménagement sur le tronçon	0	<input type="checkbox"/>
	Le tronçon est partiellement aménagé: de 15 à 40% d'aménagements sur le tronçon	3	<input type="checkbox"/>
	Le tronçon est fortement aménagé: de 40 à 70% d'aménagement sur le tronçon	5	<input type="checkbox"/>
	Le tronçon est en milieu urbain: 70% et plus d'aménagement sur le tronçon	8	<input type="checkbox"/>
S5 Quelle proportion du chenal au niveau plein-bord est obstruée par un embâcle?			S5
	Moins de 10% du chenal	0	<input type="checkbox"/>
	Entre 10% et 30%	3	<input type="checkbox"/>
	Entre 30% et 50%	5	<input type="checkbox"/>
	Entre 50% et 75%	8	<input type="checkbox"/>
	75% et plus	10	<input type="checkbox"/>
S6 Le bois représente-t-il un danger lors de l'accès au cours d'eau?			S6
	Aucun danger	0	<input type="checkbox"/>
	Le bois entrave l'accès au cours d'eau, mais il est possible de le contourner	1	<input type="checkbox"/>
	Il est nécessaire d'enjamber le bois pour accéder au cours d'eau	5	<input type="checkbox"/>
S7 Le bois représente un danger pour les usagers du cours d'eau?			S7
	Aucun danger	0	<input type="checkbox"/>
	Danger modéré; il peut être contourné et évité.	3	<input type="checkbox"/>
	Grand danger, les usagers doivent l'enjamber pour poursuivre leur activité (kayak, canoë pêche)	5	<input type="checkbox"/>
S8 Est-ce qu'une personne/communauté se retrouve isolée en cas de bris d'infrastructure provoquée par le bois?			S8
	Non	0	<input type="checkbox"/>
	Oui	3	<input type="checkbox"/>

Habitat			
H1	L'embâcle de bois force-t-il la présence de fosses?	Le bois ne crée aucune fosse	0 <input type="checkbox"/>
		Le bois crée une fosse, mais d'autres sont présentes	3 <input type="checkbox"/>
		Le bois crée une des rares fosses	5 <input type="checkbox"/>
H2	L'embâcle de bois est-il une source d'ombre dans l'eau?	Le bois ne crée pas d'ombre	0 <input type="checkbox"/>
		Le bois crée une source d'ombre parmi d'autres	3 <input type="checkbox"/>
		Le bois crée une des rares sources d'ombre	5 <input type="checkbox"/>
H3	L'embâcle de bois favorise-t-il la création d'habitats riverains?	L'embâcle est submergé à l'étiage	0 <input type="checkbox"/>
		L'embâcle est en contact avec la berge ou sur un banc en accumulation	3 <input type="checkbox"/>
		L'embâcle est en contact avec la berge ou sur un banc en accumulation et de la végétation se développe sur ou à proximité de l'embâcle (quelques mètres)	5 <input type="checkbox"/>
H4	Quelle serait l'ampleur des impacts d'un démantèlement sur la dynamique sédimentaire et l'habitat à court terme	Minime; Intervention manuelle sur un seul arbre ou un petit embâcle sans interventions sur la ripisylve	1 <input type="checkbox"/>
		Modérée; Intervention manuelle d'un embâcle de taille moyenne avec intervention sur la ripisylve	3 <input type="checkbox"/>
		Importante; Intervention mécanique sur un embâcle moyen ou grand à partir des berges	5 <input type="checkbox"/>
		Très élevée; intervention mécanique sur un embâcle moyen ou grand, directement dans le chenal	10 <input type="checkbox"/>
H5	L'embâcle de bois crée-t-il des zones de vitesses contrastées?	Aucune variabilité dans la vitesse d'écoulement	0 <input type="checkbox"/>
		Vitesse d'écoulement faiblement influencée par le bois	3 <input type="checkbox"/>
		Vitesse d'écoulement fortement influencée par le bois	5 <input type="checkbox"/>
H6	Les sédiments qui composent le lit sont-ils de taille hétérogène?	Granulométrie homogène	0 <input type="checkbox"/>
		Granulométrie hétérogène, sans influence du bois	3 <input type="checkbox"/>
		Granulométrie hétérogène influencée par le bois	5 <input type="checkbox"/>
H7	Est-ce que d'autres embâcles de bois se situent sur ce tronçon fluvial?	Plusieurs embâcles par kilomètres linéaires de cours d'eau (+ de 10 embâcles/km)	0 <input type="checkbox"/>
		Quelques embâcles par kilomètres linéaires de cours d'eau (2 à 10 embâcles/km)	3 <input type="checkbox"/>
		Aucun embâcle de bois ou bois individuel dispersés (0 ou 1 embâcle/km)	5 <input type="checkbox"/>
		*Si les volumes de bois semblent grands, établir un bilan ligneux complet	
H8	Quel est le volume de l'embâcle? (La taille influence sur la superficie d'habitat potentiel)	Embâcle de 0.1 m³ à 5 m³	0 <input type="checkbox"/>
		Embâcle de 5 m³ à 100 m³	3 <input type="checkbox"/>
		Embâcle de 100 m³ et plus	5 <input type="checkbox"/>

* Les cours d'eau sont dynamiques, les habitats peuvent évoluer dans le temps. Un habitat en formation est tout aussi important qu'un habitat établi.

Annexe 2 : Outil d'aide à la décision pour la dynamique du bois en rivière.

Cet outil propose d'évaluer le dynamisme du cours d'eau et les enjeux de la dynamique du bois en rivière. L'idée de l'outil est de faire, pour un embâcle donné, un portrait le plus objectif possible de l'environnement fluvial où il se trouve en répondant à une série de questions. Les questions concernent quatre composantes permettant d'éclairer la décision de gestion du bois en rivière : la dynamique fluviale, la dynamique du bois, le niveau de risque lié aux enjeux et les habitats associés à la présence de bois en rivière.

L'annexe 2 fournit des explications spécifiques pour chacune des questions de l'outil et permet de comprendre le système de notes sélectionné pour le calcul de l'indice du bois en rivière. Cette annexe vient en complémentarité avec le guide du bois en rivière et avec l'outil développé sur le logiciel Excel.

Bien que toutes les précautions aient été prises en vue de la préparation de ce guide et des indices d'aide à la décision, les auteurs ne pourront être tenus responsables pour toute erreur ou omission, ou pour les dommages entraînés par l'utilisation des informations contenues dans ce guide, ou par l'utilisation des indices d'aide à la décision qui peuvent l'accompagner. En aucun cas, les auteurs ne pourront être tenus responsables en cas de perte de profits ou tout autre dommage résultant, directement ou indirectement, de ce document. Le contenu peut être modifié sans avertissement préalable.

Veillez consulter le site Web suivant pour les versions à jour de ce guide et de l'indice :

<http://recherche.uqac.ca/lerga/guide-bois-en-riviere/>

Dynamique du cours d'eau

D1 Quel est le type d'environnement fluvial?

Le niveau de confinement d'un cours d'eau témoigne de sa mobilité potentielle lors d'événements de crues ou en présence d'une obstruction (Figure 1). Il varie le long d'un cours d'eau et il doit être déterminé en considérant l'ensemble d'un tronçon homogène ou les environs immédiats d'un embâcle, selon l'échelle d'étude.

Confiné : La mobilité d'un cours d'eau confiné est limitée par la nature de ses berges. On considère les cours d'eau se situant en milieu argileux, rocheux ou encore caractérisé par la présence d'infrastructures comme des murets ou des enrochements. * Ils obtiennent une note faible, car des ajustements dans le positionnement du chenal sont moins probables. 1

Partiellement confiné : Les cours d'eau partiellement confinés sont caractérisés par une partie du linéaire de cours d'eau confiné et une partie alluviale. Il peut par exemple s'agir d'un cours d'eau possédant une berge rocheuse et une berge formée par une plaine alluviale, ou encore d'un cours d'eau étant confiné sur une portion du linéaire et alluvial sur l'autre. ** Ils obtiennent une note modérée, car des ajustements dans le positionnement du chenal sont possibles. 3

Non confiné : Les cours d'eau non confinés s'écoulent généralement à travers des plaines alluviales larges. Les berges sont composées de sédiments meubles qui permettent au cours de se déplacer latéralement et de déborder sur la plaine alluviale. Ils obtiennent une note élevée, car des ajustements dans le positionnement du chenal sont probables. 5

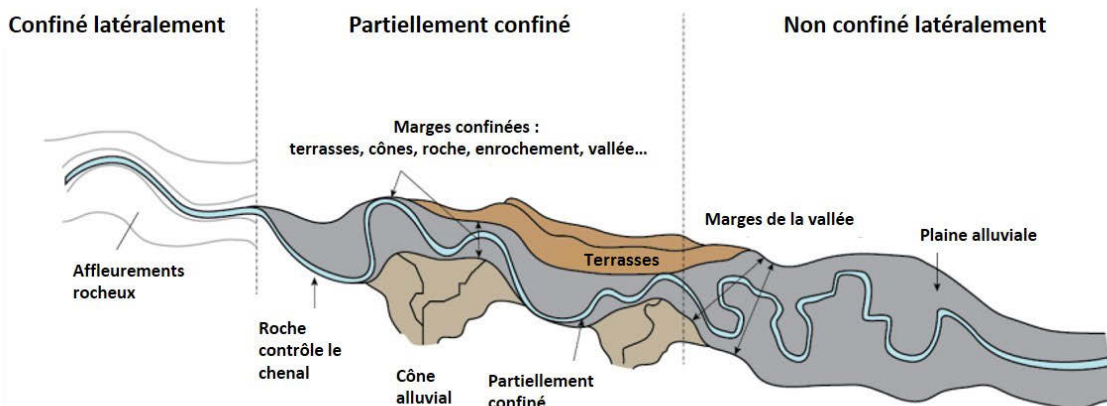


Figure 1. Schéma conceptuel du niveau de confinement sur trois tronçons de rivière. Le fond gris indique une plaine alluviale (Modifiée de O'Brien et Wheaton, 2015).

* La présence d'infrastructures de protection des berges témoigne toutefois d'une problématique associée à la mobilité du cours d'eau ce qui signifie qu'il est potentiellement mobile

**Ce genre de transition implique toutefois généralement la modification du style fluvial. Porter une attention particulière à l'homogénéité du dynamisme du tronçon.

D2 Quelle est la cohésion des berges?

Le niveau de cohésion des berges permet d'anticiper la possibilité qu'à un cours d'eau à se déplacer latéralement. La cohésion des sédiments permet de solidifier la berge et d'augmenter sa capacité à résister à la force érosive du cours d'eau.

Cohésives : Les berges cohésives sont généralement de nature rocheuse (contrôle lithologique) ou argileuse. Elles obtiennent une note faible, car le chenal est très peu susceptible de se déplacer latéralement. 1

Non-cohésives : Les berges non-cohésives sont généralement composées de sédiments meubles facilement mobilisables par l'érosion fluviale, comme les sables et graviers. Elles obtiennent une note faible, car le chenal est plus susceptible de se déplacer latéralement et elles représentent une source de sédiments pouvant être introduite au cours d'eau. 5

D3 Quelle est la taille des sédiments qui composent principalement le lit du cours d'eau?

La taille des sédiments qui composent le lit d'un cours d'eau expose la malléabilité des morphologies fluviales aux fluctuations de débits, mais aussi à la présence d'obstacles à l'écoulement. La taille des sédiments est aussi un indicateur du niveau de cohésion du lit et des modes de transport dominants. Les lits peuvent avoir des sédiments de tailles hétérogènes, il suffit alors donc d'identifier la classe granulométrique dominante.

Lit rocheux ou de blocs: Les cours d'eau qui s'écoulent sur un lit rocheux ou un lit composé de blocs sont peu susceptibles d'être mobiles. La roche en place peut s'éroder, mais très peu à l'échelle humaine. Les blocs (> **256 mm**) sont transportés par charriage, mais demandent des écoulements très compétents pour être mobilisés. Dans ces contextes, il est peu probable que les cours d'eau se déplacent et une note nulle est attribuée*. 0

Argile et limon : Les argiles et les limons sont très fins, ils mesurent entre 0.002 mm et 0.063 mm. Ils sont transportés en suspension dans les cours d'eau, même lorsque la puissance de l'écoulement est très faible. Ils peuvent être transportés sur de très grandes distances avant de se déposer et ils sont peu susceptibles d'initier le développement de formes fluviales ou de contribuer de façon significative aux ajustements morphologiques. Ils obtiennent donc une note faible. 1

Sable > 0,063 mm et < 2 mm : Le sable est transporté par roulement et par saltation, une succession de petits sauts effectués par les grains. Les sédiments sont généralement faciles à mobiliser et les formes d'accumulations peuvent être moins durables dans le temps. Il obtient donc une note modérée. 3

Gravier et galets > 2 mm et < 256 mm : Les graviers et les galets sont transportés par charriage dans le cours d'eau. Ils sont trop gros pour être en suspension ou en saltation. Lorsque la puissance du cours d'eau est suffisante, ils se déplacent en roulant ou en glissant sur le lit et leur taille témoigne de la compétence du cours d'eau. Les crues peuvent déplacer des sédiments de ce calibre et forcer le développement de bancs d'accumulations. Ceux-ci peuvent forcer la 5

migration du cours d'eau en repoussant l'écoulement sur une berge en érosion et représentent une source de sédiments qui peuvent être mobilisés lors de crues subséquentes. Les cours d'eau dominés par un lit de gravier et de galets sont généralement très dynamiques et obtiennent une note élevée.

* Les cours d'eau plus pentus tels que les torrents peuvent aisément mettre en mouvement des blocs et sont des environnements très réactifs. Ils peuvent paraître stables pendant une longue période, mais mettre en place des ajustements catastrophiques lors d'une seule crue. Il faut donc porter une attention particulière au type de cours d'eau. Les questions D1, D6, D7, D8 et D9 permettront de faire ressortir cette information, c'est pourquoi les blocs obtiennent une note nulle.

D4 Quels sont les processus morphologiques actifs observés à l'échelle du tronçon homogène

Un cours d'eau ajuste sa morphologie en réponse à des perturbations, naturelles ou anthropiques*, en activant une série de processus qui contribuent à conserver le chenal dans un état d'équilibre (voir chapitre III pour la définition de l'équilibre). Plusieurs processus peuvent être simultanément actifs, et ils peuvent avoir une influence plus ou moins grande sur la dynamique du cours d'eau. Il est donc possible d'en identifier plusieurs et de tous les considérer lors de la caractérisation (Figure 2).

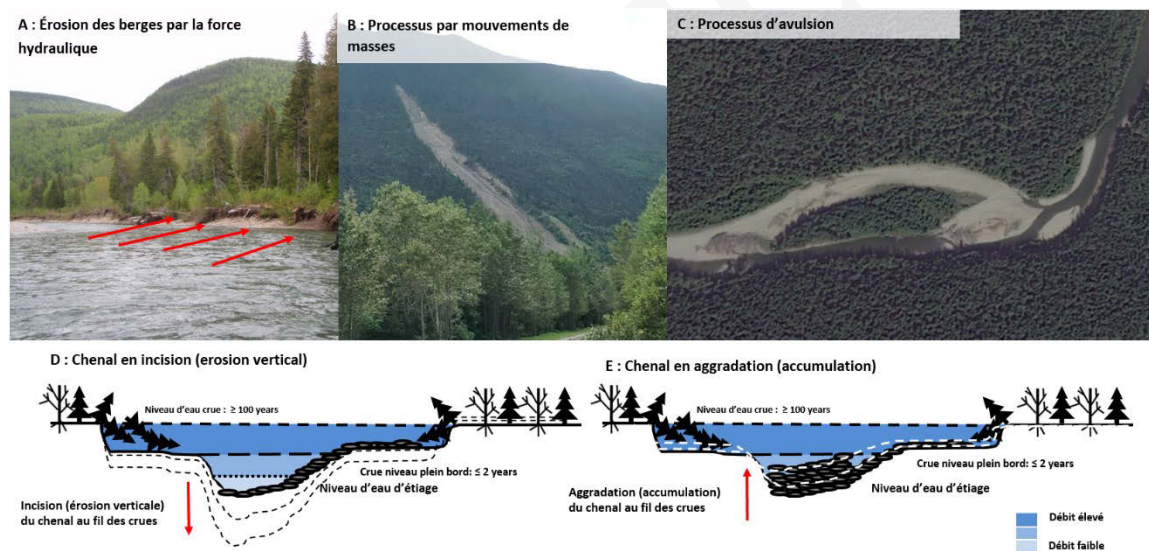


Figure 2. Processus morphologiques en rivière.

Apparence stable : berges végétalisées, aucune trace d'érosion, pas ou peu de bancs de convexité, aucun signe d'aggradation ou d'incision dans le chenal, etc. 0

Érosion des berges par la force hydraulique : L'écoulement de l'eau au sein du chenal exerce une force sur les berges. La relation entre la cohésion des berges et la puissance de l'écoulement porte les cours d'eau à se déplacer latéralement. La migration du cours d'eau peut être lente ou rapide, mais la migration se fait généralement de manière progressive, c'est pourquoi elle obtient une note plus faible. 2

Érosion par mouvements de masses : Les mouvements de masses sont des événements de faible récurrence, mais de haute intensité. C'est-à-dire qu'il ne peut se produire aucun 3

événement sur une longue période de temps, mais qu'un seul mouvement de masse peut avoir de grandes conséquences. Les mouvements de masses de faible ampleur peuvent initier un recul des berges de quelques mètres et les événements de grande ampleur peuvent atteindre plusieurs centaines de mètres en un seul événement. De plus, ils représentent une source de sédiments considérables qui peuvent modifier le fonctionnement du cours d'eau en aval et obstruer le cours d'eau en amont. Ils obtiennent une note modérée, car les conséquences peuvent être grandes, mais qu'ils surviennent plus rarement.

Avulsion : L'avulsion est un changement drastique de la position du chenal au sein de la plaine alluviale. Contrairement à la migration latérale, qui se fait progressivement, l'avulsion est un processus rapide qui implique un changement complet de la position du cours d'eau. On considère ici différents types d'avulsions, les recouplements de méandre, la réoccupation d'un chenal antérieur ou la création d'un nouveau chenal. Les avulsions se produisent généralement lorsque le niveau d'eau excède le niveau pleins bords et que l'écoulement sur la plaine exploite des voies d'écoulements préférentielles où la pente est plus forte que celle du chenal. Le nouveau chenal ainsi formé peut devenir la voie d'écoulement principale s'il est suffisamment profond, pentu et large. Les avulsions se produisent de manière peu fréquente, mais peuvent modifier de manière significative la configuration d'un tracé fluvial et elles obtiennent donc une note modérée. 3

Indices d'incision : L'incision est le processus qui permet l'érosion verticale du chenal. Ses impacts sont susceptibles de se répercuter sur l'ensemble du cours d'eau et ils sont durables dans le temps. Un cours d'eau peut s'inciser pendant plus d'une dizaine d'années, même sur des centaines d'années en fonction de l'ampleur des changements qui ont initié le phénomène. Ses effets sont difficiles à contrôler et se propagent généralement dans l'espace, afin que le cours d'eau retrouve une pente « d'équilibre ». L'incision peut par exemple être due à l'épuisement des sources sédimentaires en amont ou à l'augmentation de la capacité de transport du cours d'eau. Elle peut notamment avoir pour conséquences d'abaisser le niveau de la nappe phréatique, et de déstabiliser les infrastructures présentes sur le cours d'eau. Les indices d'incision peuvent prendre la forme de bancs d'accumulations perchés, de terrasses, de chenaux abandonnés, d'anciens glissements de terrain, d'affouillement de racines d'arbres exposés sur les berges, d'un chenal profond et étroit, de deux berges en érosion par décrochement, d'un lit compact et de la présence d'un pavage et de matériaux du lit surexposé dans les berges en érosion**. Les conséquences de l'incision sont durables dans le temps et se propagent dans l'espace, c'est pourquoi ils obtiennent une note très élevée. 8

Indices d'aggradation : L'aggradation correspond au rehaussement du niveau du lit généralisé sur un tronçon de cours d'eau ou un cours d'eau en entier. De la même manière que l'incision, ses effets sont durables dans le temps et peuvent se propager dans l'espace. Ce phénomène est généralement dû à l'augmentation des sources sédimentaires ou à une diminution de la capacité de transport du cours d'eau. Le rehaussement du niveau du lit peut notamment rendre désuètes certaines infrastructures, réduire l'espace disponible pour l'écoulement de l'eau sous des ponceaux ou des traverses de cours d'eau, augmenter la probabilité d'inondation. L'aggradation peut être initiée naturellement, par une élévation du niveau de base ou artificiellement, par l'implantation d'une infrastructure qui obstrue le cours d'eau et crée du refoulement, par exemple. Les indices d'aggradation peuvent prendre la forme d'infrastructures ensevelies, de bancs de graviers larges, non compacts et non végétalisés, de berges en érosion dans des secteurs peu profonds, d'espace réduit sous les ponts, d'une épaisse couche de 8

sédiments fins par-dessus la couche des matériaux du lit ou de sols enfouis sous des dépôts de débordements**. Les conséquences de l'aggradation sont durables dans le temps et se propagent dans l'espace, c'est pourquoi ils obtiennent une note très élevée.

* Grande crue, augmentation des précipitations, abaissement du niveau de base, imperméabilisation des sols, linéarisation, dragage, etc.

** Tiré de Buffin-Bélanger T., Demers S. et Olsen T. 2015. Diagnostic hydrogéomorphologique pour mieux considérer les dynamiques hydrosédimentaires aux droits des traverses de cours d'eau : guide méthodologique. Laboratoire de géomorphologie et de dynamique fluviale, Université du Québec à Rimouski. Remis au ministère des Transports du Québec, Mars 2015, 55 pages.

D5 Est-ce qu'il y a un stockage substantiel de sédiments sur le lit?

La quantité de sédiments stockée sur le cours d'eau renseigne sur la dynamique du milieu et de la disponibilité sédimentaire sur le cours d'eau. La présence de grands volumes de sédiments au sein du chenal met en évidence les zones d'accumulations sédimentaires et souligne que la capacité de transport est inférieure aux apports en sédiments. Les cours d'eau marqués par de grands volumes de sédiments en charge de fond sont généralement mobiles, car les bancs d'accumulations repoussent le chenal sur la berge en érosion. De plus, la présence de sédiments augmente la rugosité du lit, peuvent ralentir l'écoulement et exacerber l'accumulation de sédiments. Inversement, l'absence de sédiments témoigne d'une capacité de transport égale ou supérieure au chargement en sédiments. Ces secteurs agissent souvent comme zone de transport ou de productions de sédiments.

Absence de bancs ou présence de bancs stables et végétalisés : Les chenaux sans bancs d'accumulations tendent à être des zones de transport ou de production de sédiments. La présence de bancs d'accumulations végétalisés indique que la dynamique hydrosédimentaire est suffisamment stable pour permettre la colonisation de la végétation*. 0

Largeur_{bancs} < 40% largeur_{dpp} :** Les bancs d'accumulations qui occupent moins de 40% de la largeur du cours d'eau montrent que des sédiments s'accumulent sur la section transversale, mais que la majorité de l'espace est disponible pour l'écoulement de l'eau. Ils obtiennent ainsi une note modérée. 3

Largeur_{bancs} ≥ 40% largeur_{dpp} : Les bancs d'accumulations qui occupent plus de 40% de la largeur du chenal occupent une portion significative de la section transversale, limitent considérablement l'espace disponible pour l'écoulement de l'eau et augmentent significativement la rugosité le long de la section transversale. Ils obtiennent ainsi une note élevée. 5

*Porter une attention particulière aux bancs et îlots où la végétation est arbustive ou arborescente, une de crue sous la moyenne suffit au développement de végétation herbacée.

** dpp = débit plein bord (voir page x dans le guide ou expliquer ici).

D6 À quel style fluvial correspond le tronçon où se trouve l'embâcle de bois?

Le style fluvial permet rapidement d'aborder la dynamique des cours d'eau. Certains styles fluviaux sont manifestement plus dynamiques que d'autres. Le style fluvial est le reflet des relations entre la pente, la taille et la quantité des sédiments disponibles. En un coup d'œil

rapide, il est possible d'identifier sommairement la manière dont le cours d'eau se comporte.

Linéaire, méandre stable : Les cours d'eau linéaires sont généralement des zones de transport, ils sont moins mobiles latéralement, soit parce qu'ils ont atteint l'équilibre hydrosédimentaire, parce qu'ils sont suffisamment compétents pour mobiliser les sédiments qui leur sont acheminés ou parce qu'ils sont confinés. Les cours d'eau à méandres stables peuvent être très sinueux, signent de mobilité, mais ont atteint un état « d'équilibre » qui leur confère leur stabilité. Il est aussi possible qu'ils soient toujours en migration, mais que la cohésion des berges ou le contrôle lithologique soit suffisamment grand pour ralentir la migration de manière à ce qu'elle ne soit pas observable à l'échelle humaine. Ce sont des cours d'eau très stables, ils obtiennent ainsi une note nulle. 0

Méandre dynamique: Les cours d'eau à méandres dynamiques sont caractérisés par une grande sinuosité ($I_s \geq 1.5$). Ce sont des cours d'eau qui se déplacent au sein de la plaine alluviale principalement par migration latérale, alors que les berges sont suffisamment meubles pour permettre la mobilité, ou par recouplement de méandre, lorsque des crues permettent d'éroder la portion de plaine alluviale qui sépare deux boucles de méandres. On retrouve souvent de grands bancs d'accumulations en construction sur la berge opposée d'une berge en érosion. Sur la plaine alluviale, il est souvent possible de distinguer une chronoséquence qui témoigne de déplacement du chenal, dans les stades d'évolution de la végétation riveraine. Ce sont des cours d'eau potentiellement dynamiques, ils obtiennent ainsi une note modérée. 3

Divagant : Les cours d'eau divagants sont caractérisés par une grande charge sédimentaire. Le chenal est généralement large et peu profond. De multiples chenaux sont présents et utilisés simultanément par le cours d'eau ou en alternance dans le temps, lorsque des avulsions surviennent. L'occupation de ces multiples chenaux permet la formation d'îlots végétalisés au sein du chenal. On considère souvent les cours d'eau divagants comme des cours d'eau de transition entre les chenaux linéaires et pentus, en amont des bassins versants et ceux à méandres dynamiques qui sillonne dans les plaines alluviales. On les retrouve souvent d'ailleurs en amont des vallées alluviales. Les processus qui les caractérisent sont nombreux et difficiles à prévoir, ils obtiennent donc une note élevée. 5

Cône alluvial ou delta : les cônes alluviaux et les deltas ne sont pas des styles fluviaux, il s'agit plutôt de formes fluviales construites à partir de grandes accumulations de sédiments. Il importe toutefois de les distinguer, car ils sont caractérisés par une dynamique particulière. Les cônes alluviaux se construisent aux ruptures de pente majeures. Ils forment un épandage de sédiments constitué d'un apex surélevé dans la portion amont et de marges plus ou moins distinctes à l'aval, alors que les sédiments s'étendent sur la plaine alluviale. Les cônes sont issus d'écoulements torrentiels qui charrient une grande quantité de sédiments que le cours d'eau n'a plus la compétence de transporter. Ils sont très sensibles à la relation entre les débits solides et les débits liquides, s'incisent ou s'aggradent rapidement, ce qui peut engendrer un changement subit du chenal principal. Leur sensibilité leur confère un caractère imprévisible, ils obtiennent donc une note très élevée. Les deltas se forment alors qu'un cours d'eau se déverse dans un plan d'eau (lac, golfe, mer) ou la compétence et la capacité de transport diminue considérablement et que les sédiments se déposent en forme d'éventail. Ce sont aussi des environnements sensibles aux changements. On y retrouve habituellement de nombreux chenaux d'écoulements qui peuvent s'obstruer et engendrer des avulsions ou des inondations, 10

car les berges sont généralement basses. De plus, les deltas qui se situent dans les estuaires, les golfes, les mers et les océans sont soumis à une panoplie de processus littoraux qui viennent influencer leur évolution, ils obtiennent donc une note très élevée.

D7 Dans l'historique récent (1960±), quelles sont les fluctuations de largeur observées ?

La fluctuation des largeurs d'un cours d'eau permet de déterminer si le cours d'eau tend à s'ajuster à des perturbations qui surviennent dans le temps. Les cours d'eau réagissent différemment aux perturbations auxquels ils sont soumis. Pour un événement de crue donné, par exemple, certains cours d'eau n'afficheront aucune augmentation de la largeur, alors que d'autres s'élargiront beaucoup afin de permettre l'écoulement de l'eau. Depuis les années 1960, chaque cours d'eau a connu des perturbations naturelles ou anthropiques. Même sans connaître la cause des perturbations, la reconnaissance que des ajustements aient été mis en place ou pas permet de connaître la sensibilité du chenal.

Ne sais pas : Il est possible que cette information ne soit pas accessible à toutes et à tous. Il est néanmoins possible que la largeur du cours d'eau ait fluctué dans le temps. En l'absence de données, il convient de considérer que certains ajustements ont pu s'être produits, pour cette raison, une note faible y est associée. 2

Δ largeurs < 10% : Une variation de la largeur du cours d'eau équivalente à 10% de sa largeur sur une période de plus de 50 ans témoigne de la stabilité du cours d'eau, d'ajustements mineurs ou encore d'une erreur d'interprétation. Elle obtient donc une note nulle. 0

Δ largeurs ≥ 10% et < 50% : Des variations de largeur variant entre 10% et 50% indiquent que le cours d'eau a la capacité de s'ajuster aux variations des débits solides et liquides et d'un environnement dynamique. Elle obtient donc une note modérée. 3

Δ largeurs ≥ 50% : Des variations d'un cours d'eau excédant 50% de sa largeur indiquent que le cours d'eau est très sensible aux perturbations et que des élargissements ou des rétrécissements majeurs sont susceptibles de se produire si la relation entre les débits solides et liquides est modifiée. Il est probable que le cours d'eau soit constamment en ajustement, ce qui le rend très dynamique. Elle obtient donc une note élevée. 5

D8 Dans l'historique récent (1960±), est-ce que le cours d'eau s'est déplacé ?

Le déplacement du cours d'eau est un excellent indicateur du dynamisme du cours d'eau. Il permet d'estimer les taux de migration moyens du chenal et de déterminer si certaines sections sont plus mobiles que d'autres. À partir de cette information, il est aussi possible de déterminer si le cours d'eau est susceptible de se déplacer dans l'avenir ou non.

Ne sais pas : Il est possible que cette information ne soit pas accessible à toutes et à tous. Il est néanmoins possible que le cours d'eau se soit déplacé dans le temps. En l'absence de données, il convient de considérer un certain niveau de mobilité, pour cette raison, une note faible y est associée. 2

Déplacement < 1 x largeur_{dpb} : Un déplacement du chenal inférieur à 1 fois la largeur du cours d'eau témoigne de la stabilité du cours d'eau, d'une migration mineure ou d'une erreur d'interprétation. Il obtient donc une note nulle. 0

Déplacement ≥ 1 x largeur_{dpb} et < 3 x largeur_{dpb} : Un déplacement du chenal de 1 à 3 fois sa largeur montre que le cours d'eau est mobile, et qu'il est possible qu'il se déplace à nouveau dans les années à venir. Il obtient donc une note modérée. 3

Déplacement ≥ 3 x largeur_{dpb} ou avulsion : Un déplacement du chenal excédant 3 fois la largeur du cours d'eau met en évidence un environnement fluvial dynamique et très mobile. Il obtient donc une note élevée. Dû à leur caractère imprévisible et rapide, les avulsions obtiennent aussi une note élevée même si le déplacement du chenal est inférieur à 3 fois sa largeur. 5

D9 Quel type de crues domine le cours d'eau?

Le type de crue peut déterminer la compétence et la capacité des cours d'eau. Elle détermine aussi le type d'ajustement morphologique possible et la puissance des aléas fluviaux. Il est possible de reconnaître le type d'écoulement en observant la superficie du bassin versant, la pente du chenal, la taille ainsi que la quantité de sédiments transportés.

Fluvial : Les écoulements fluviaux se retrouvent dans les cours d'eau alluviaux de fond de vallée et le transport de sédiments de gros calibre est limité, car la pente est généralement faible (< 1%). Le temps de concentration de l'eau jusqu'au chenal principal varie en fonction de la taille du bassin versant, mais elle nécessite plusieurs heures, voire plusieurs journées avant que le pic de crue soit atteint. Les sédiments sont transportés par suspension, saltation ou charriage et le volume de sédiments est largement inférieur aux volumes d'eau déplacés par la crue. La taille des sédiments qui composent le lit est inférieure aux galets. Ce type d'écoulement est moins rapide et l'atteinte du pic de crue se fait de façon plus progressive, il obtient donc une note nulle. 0

Torrentiel : Les écoulements torrentiels se retrouvent dans les cours d'eau pentus (>1%). Les bassins versants de ces cours sont généralement petits, le temps de concentration de l'eau est très rapide et l'atteinte du pic de crue se fait généralement en quelques heures. Les sédiments sont transportés par suspension, saltation et charriage, mais la concentration en sédiments est peut-être suffisamment élevée pour engendrer des écoulements hyperconcentrés et des laves torrentielles. Ces types d'écoulements sont destructeurs et peuvent altérer significativement la morphologie du cours d'eau. Parce que la vitesse de l'écoulement torrentiel est rapide, que le pic de crue s'atteint en peu de temps, et que la charge sédimentaire est grande, il obtient donc une note modérée. 3

Dynamique du bois en rivière

La dynamique du bois en rivière comporte plusieurs composantes. Dans cet indice, trois groupes d'indicateurs sont utilisés pour quantifier de manière relative l'intensité des trois composantes de la dynamique du bois en rivière. Ces groupes représentent : le recrutement, la mobilité et l'accumulation. Le recrutement fait référence à l'apport potentiel en bois pouvant affecter le tronçon et l'embâcle pour lequel l'indice est déterminé. La mobilité expose les variables les plus significatives reliées à la mise en transport de l'embâcle observé. Finalement, l'accumulation fait référence au potentiel d'engraissement de l'embâcle et à son effet sur la morphodynamique locale.

Pour chacune des composantes, 4 questions sont posées permettant d'apprécier son importance. Le choix des questions est basé sur la littérature et les travaux récents réalisés dans des cours d'eau du nord de la Gaspésie et du Bas-Saint-Laurent. Individuellement, ces questions expliquent une petite partie de la complexité des trois composantes de la dynamique du bois en rivière. Combinées, ces questions permettent cependant d'exposer l'intensité de la dynamique du bois en rivière, mais aussi de déterminer laquelle des composantes semble la plus dynamique.

B1-recrutement À l'échelle du tronçon fluvial, quelle proportion du linéaire de cours d'eau est caractérisée par de la végétation arborescente?

La proportion du linéaire de berge caractérisée par de la végétation arborescente renseigne sur les sources potentielles de bois en rivière, indépendamment des modes de recrutement.

< **30%** : Lorsque moins de 30% du linéaire combiné des deux berges est caractérisé par la présence de végétation arborescente, les sources de bois sont très limitées ce qui génère une note nulle. 0

> **30%** et < **60%** : Lorsqu'entre 30% et 60% du linéaire combiné des deux berges est caractérisé par de la végétation arborescente, les sources de bois sont modérées ce qui génère une note modérée. 3

> **60%** : Lorsque 60% ou plus du linéaire combiné des deux berges est caractérisé par de la végétation arborescente, les sources de bois sont riches ce qui génère une note élevée. 5

B2-recrutement Quel est le principal mode de recrutement de bois sur le tronçon et en amont?

Le mode de recrutement de bois détermine la quantité et la fréquence à laquelle le bois est introduit au chenal. Certains processus de recrutements sont lents et constants alors que d'autres permettent l'introduction massive de bois, mais se produisent peu fréquemment. Ceci renseigne sur les apports actuels et potentiels en bois dans le chenal. Plusieurs modes peuvent coexister et donc, plusieurs réponses sont possibles.

Mortalité naturelle : La mortalité naturelle des arbres contribue à introduire du bois au cours 1

d'eau de façon assez sporadique dans le temps et l'espace. Les arbres meurent à des moments et des emplacements variés en fonction de leur stade de croissance. Ce mode de recrutement se fait de manière lente et représente généralement un petit volume de bois sur le volume total de bois recruté*. Il obtient donc une note faible.

Ne sais pas : Il est possible que l'information soit difficile à obtenir. Néanmoins, la présence de bois en rivière met en évidence que du recrutement se produit quelque part dans le bassin versant. Il convient donc d'accorder de l'importance à la présence de bois. L'absence d'information obtient donc une note faible. 2

Érosion des berges (cm/an) : L'érosion des berges contribue à exposer une partie du réseau racinaire des arbres de la ripisylve et à les déstabiliser. Lorsque le support devient insuffisant, les arbres basculent dans le chenal. Ce processus contribue au recrutement d'un arbre ou deux à l'échelle décennale ce qui génère une note modérée. 3

Migration du chenal (m/an) et/ou Avulsion : La migration du chenal implique un déplacement de l'ordre du mètre/annuellement, en moyenne. La migration peut se produire lors de grandes crues ou dans des tronçons de rivières très mobiles. Des déplacements de cette ampleur peuvent déraciner plusieurs arbres lors d'un seul épisode de crues et les volumes de bois recrutés sont très significatifs grands. Ce processus contribue au recrutement de douzaines d'arbres à l'échelle décennale ce qui génère une note élevée. 5

Mouvement de masse (avalanche, glissement de terrain) : Les mouvements de masses sont généralement des processus qui se produisent peu fréquemment. Toutefois, lorsqu'ils se produisent, ils peuvent introduire au cours d'eau de très grands volumes de bois. Dans certains environnements, la présence d'un cours d'eau vient déstabiliser le bas des talus et accélérer le rythme des décrochements et des glissements. Il est aussi possible que des avalanches endommagent ou déracinent des arbres sur les versants où ils se produisent et qu'elles viennent les déposer dans les cours d'eau. Dans les cas des glissements de terrains et des avalanches, il est possible que la rivière doive connaître plusieurs crues avant de mobiliser l'ensemble des bois produits, ils représentent donc un apport ponctuel, mais dont les répercussions durent pendant quelques années. Ces modes de recrutements contribuent à intégrer de grands volumes de bois dans le chenal, ils obtiennent ainsi une note très élevée. 8

*Certains peuplements forestiers peuvent être homogènes, tant au niveau des essences que de l'âge. Il est donc possible que le volume de bois recruté par mortalité naturelle soit plus grand si le peuplement en entier arrive en fin de vie.

B3-recrutement Le bois dans l'embâcle est-il en bon état?

L'état du bois qui compose les embâcles témoigne de l'activité des processus de recrutement. Si les embâcles sont composés de bois sain*, c'est que les mécanismes de recrutements du bois sont actifs le long du corridor fluvial et que les apports sont fréquents**. Inversement, si la majorité du bois est décomposé, il est possible que les apports de bois soient plus ponctuels et moins fréquents. L'apport continu de bois met en évidence que la dynamique du bois en rivière est active et qu'une grande importance doit lui être accordée.

Plus de 60% du bois est décomposé : La majorité du bois qui compose l'embâcle est décomposé, l'approvisionnement en bois se fait à un rythme inférieur à celui de la décomposition du bois. Il y'a peu de recrutement, il obtient donc une note nulle. 0

Entre 30% et 60% du bois est décomposé : Entre le tiers et le 2 tiers du bois est en décomposition. Il y'a donc des apports de bois sain à l'embâcle, mais une fraction importante est en état de décomposition, il obtient donc une note modérée. 3

Le bois est sain; < 30% du bois est décomposé : Plus du 2/3- du bois est sain, les processus de recrutement sont donc actifs et apportent du nouveau bois au cours d'eau sur une base régulière. La dynamique du bois en rivière est importante. Il obtient donc une note élevée. 5

* La notion de bois sain réfère à son état de décomposition, pas aux dommages physiques encourus (bris des branches ou des racines). Un arbre sans branche, sans racines et sans écorce peut être sain si son bois est toujours dur et dense.

**Il est aussi possible qu'une grande quantité de bois ait été introduite au cours d'eau par une crue majeure qui a forcé la migration du cours d'eau, qu'une avulsion ou un mouvement de masse soit survenu. Ces recrutements sont ponctuels et n'impliquent pas forcément un recrutement continu. Dans le doute, il devient pertinent d'établir un bilan ligneux.

B4-recrutement À l'échelle du tronçon, comment évoluent les volumes de bois

À l'échelle d'un tronçon, l'évolution des volumes de bois dans le temps renseigne sur l'intensité du recrutement et l'activation des sources de bois. Cette information permet de faire des projections et éventuellement d'identifier les éléments qui conditionnent cette évolution. La quantité de bois dans le cours d'eau peut par exemple être influencée par les variations du linéaire de bande riveraine dans le temps, les aménagements forestiers, la variabilité dans la mobilité du cours d'eau, etc. Une compréhension de cette évolution permet de mieux appréhender la trajectoire future de la dynamique du bois en rivière et l'ampleur de ses effets potentiels sur le morphodynamisme fluvial.

Ne sais pas : Il est possible que l'information ne soit pas disponible. Il est toutefois nécessaire de considérer la présence de bois dans le cours d'eau et qu'il est possible que la quantité de bois puisse être en augmentation. L'absence de données obtient donc une note faible. 2

Les volumes de bois semblent en diminution : Un bilan ligneux négatif implique que les volumes de bois évacués sont supérieurs aux volumes produits et donc que la quantité de bois est en diminution*. Ceci peut être lié à un tarissement des sources de bois ou à une atténuation des processus de recrutement en amont. La diminution des volumes de bois dans le temps implique une diminution de l'influence du bois sur le fonctionnement du cours d'eau, ce qui mène à une note nulle. 0

Les volumes de bois semblent stables : Un bilan ligneux équilibré implique que les volumes de bois produits sont équivalents aux volumes évacués et donc que les volumes stockés sont constants*. Si les volumes de bois sont constants dans le temps, on peut supposer que l'influence du bois sur le fonctionnement du cours d'eau est susceptible d'être similaire à celui du moment présent**. Il obtient donc une note modérée. 3

Les volumes de bois semblent en augmentation : Un bilan ligneux positif implique que les volumes de bois évacués sont inférieurs aux volumes de bois produits et donc que la quantité de bois est en augmentation*. Ceci peut être lié à une activation de sources de bois ou encore une intensification des processus de recrutement en amont. Si les volumes de bois sont en diminution dans le temps, l'influence du bois sur le fonctionnement du cours d'eau est susceptible d'augmenter dans le temps. Il obtient donc une note élevée. 5

*Le bilan ligneux doit être réalisé sur une longue période de temps pour affirmer que les tendances sont représentatives de la réalité.

** Des changements au niveau de la dynamique fluviale peuvent toutefois faire varier l'influence que le bois exerce sur le morphodynamisme.

B5-mobilité L'embâcle de bois montre-t-il des signes d'instabilité?

Les branches et les racines permettent d'augmenter la stabilité du bois en s'ancrant aux berges ou au lit. Les troncs seuls tendent donc à être plus mobiles que les arbres entiers. La complexité de la forme de l'arbre est déterminante pour la stabilité du bois, particulièrement dans les cours d'eau de taille moyenne (Voir Figure 3).

Des bois sont solidement fixés ou partiellement enfouis : Lorsque le bois est ancré au lit ou aux berges par de nombreux points de contact (apex de bancs d'accumulation, îlots végétalisés, végétation riveraine...) ou que le bois est partiellement enfoui, le potentiel de mobilité est très limité, le transport du bois relève d'une très grande crue ou de l'érosion majeure de la plaine alluviale, de manière à exposer le bois enfoui. Il est peu probable que ce bois soit mobilisé, il obtient donc une note nulle. 0

Des bois sont ancrés par un réseau racinaire bien développé : Lorsque le bois est ancré au chenal par un réseau racinaire, le potentiel de mobilité est largement réduit. La structure des racines est complexe et s'ancre facilement au lit. De plus, le diamètre de la couronne racinaire est largement supérieur au diamètre du tronc. La hauteur d'eau nécessaire pour lui permettre de flotter est donc beaucoup plus grande que celle requise pour mobiliser les troncs. Lors de grandes crues, il est toutefois possible que la flottaison du tronc et le houppier permettent à l'arbre de se mettre en mouvement et que la partie racinaire soit mobilisée par traction (drag) sur le lit. Il obtient donc une note modérée. 3

Les bois sont mobiles; ils se sont accumulés récemment : Lorsque le bois est accumulé depuis peu de temps, il est moins probable qu'il soit enfoui et que l'embâcle soit structuré de manière très complexe. Les crues subséquentes sont donc plus susceptibles de mobiliser le bois, surtout si celui-ci n'a pas suffisamment de points d'ancrage. Il obtient donc une note élevée. 5

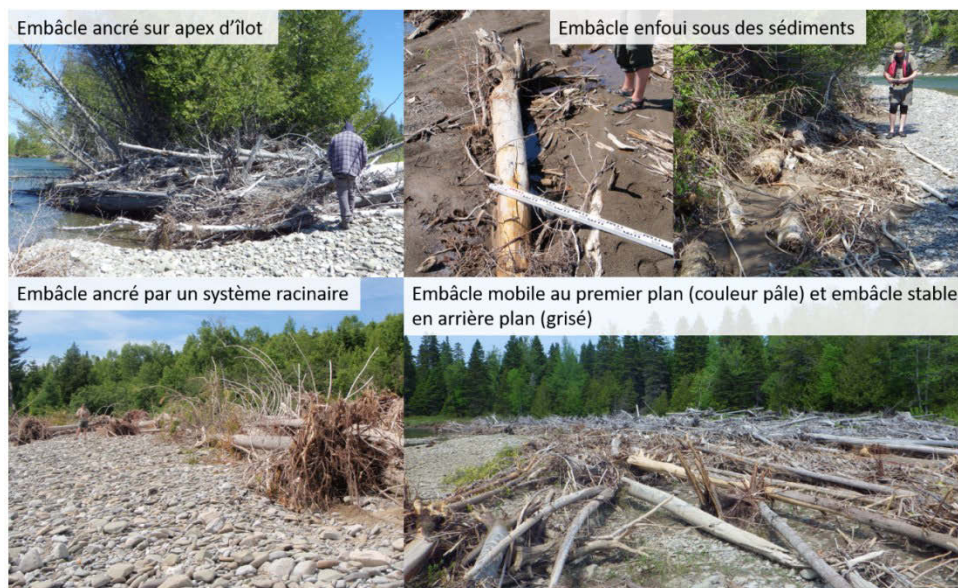


Figure 3. Signes de stabilité ou de mobilité d'embâcles de bois en rivière

B6-mobilité **Quel est le rapport entre la hauteur des arbres de la ripisylve et la largeur du chenal?**

Le rapport entre la hauteur des arbres et la largeur du chenal conditionne le transport du bois à partir de l'endroit où il est recruté sur la berge. Il détermine donc la mobilité potentielle du bois depuis de la source.

Hauteur arbres > Largeur _{d_{pb}} : Lorsque la hauteur des arbres est supérieure à la largeur du cours d'eau, il est peu probable que le bois soit transporté, car les ancrages sur les berges sont trop importants. Il est possible que le bois soit perché au-dessus du cours d'eau, formant un pont entre les deux berges ou que la majeure partie du bois se trouve sur la berge. Il est aussi possible que le bois tombe parallèlement au sens de l'écoulement, mais sa mobilité est limitée par la proximité des berges. La mobilité du bois dépend donc des processus de décomposition de la matière organique ou de la fragmentation due à la force hydraulique, le contact avec d'autres bois ou des sédiments en transport, ce qui génère une note faible. 1

Hauteur des arbres ≈ Largeur _{d_{pb}} : Lorsque la hauteur des arbres est équivalente à la largeur du cours d'eau, la mobilité du bois dépend principalement des caractéristiques du bois (taille, diamètre, densité, complexité morphologique). En fonction de ces caractéristiques, le bois peut être plus ou moins mobile, ce qui génère une note modérée. 3

Hauteur des arbres < Largeur _{d_{pb}} : Lorsque la hauteur des arbres est inférieure à la largeur du cours d'eau, le bois est plus facilement mobilisable. Il peut se trouver en entier dans le chenal et dispose de l'espace nécessaire pour pivoter, alors que les forces hydrauliques tendent à orienter le bois parallèlement à l'axe d'écoulement. Dans ce type d'environnement, les conditions hydrologiques, hydrosédimentaires et le style fluvial conditionnent la mobilité du bois, mais le potentiel de mobilité est grand, ce qui génère une note élevée. 5

B7-mobilité **À l'échelle de l'embâcle, est-ce qu'il y a des modifications en termes de volume et du nombre de morceaux de bois?**

Le bilan ligneux à l'échelle d'un embâcle permet d'estimer la mobilité des bois dans un tronçon d'une rivière. Un embâcle qui augmente en volume et en nombre montre une mobilité des bois provenant de l'amont. À l'inverse, un embâcle avec un bilan négatif montre une dynamique de mobilité qui évacue les bois vers l'aval.

Ne sais pas : Il est possible que l'information ne soit pas disponible. Il est toutefois nécessaire de considérer la présence de bois dans le cours d'eau et qu'il est possible que la quantité de bois puisse être en augmentation dans cet embâcle. L'absence de données obtient donc une note faible. 2

Le volume et le nombre de bois semblent en diminution : Un bilan ligneux négatif à l'échelle d'un embâcle implique que les volumes de bois évacués sont supérieurs aux volumes produits et donc que la quantité de bois est en diminution*. Ceci peut être lié à un tarissement des sources de bois ou à une atténuation des processus de recrutement en amont. La diminution des volumes de bois dans le temps implique une diminution de l'influence du bois sur le fonctionnement du cours d'eau, ce qui mène à une note nulle. 0

Le volume et le nombre de bois semblent stables : Un bilan ligneux équilibré à l'échelle d'un embâcle implique que les volumes de bois produits sont équivalents aux volumes évacués et donc que les volumes stockés sont constants*. Si les volumes de bois sont constants dans le temps, on peut supposer que l'influence du bois sur le fonctionnement du cours d'eau est susceptible d'être similaire à celui du moment présent**. Il obtient donc une note modérée. 3

Le volume et le nombre de bois semblent en augmentation : Un bilan ligneux positif à l'échelle d'un embâcle implique que les volumes de bois évacués sont inférieurs aux volumes de bois produits et donc que la quantité de bois est en augmentation*. Ceci peut être lié à une activation de sources de bois ou encore une intensification des processus de recrutement en amont. Si les volumes de bois sont en augmentation dans le temps, l'influence du bois sur le fonctionnement du cours d'eau est susceptible d'augmenter dans le temps. Il obtient donc une note élevée. 5

*Le bilan ligneux doit être réalisé sur une longue période de temps pour affirmer que les tendances sont représentatives de la réalité.

** Des changements au niveau de la dynamique fluviale peuvent toutefois faire varier l'influence que le bois exerce sur le morphodynamisme.

B8-mobilité

Au niveau du transport de bois dans le cours d'eau, quels types d'évènements hydrométéorologiques sont susceptibles d'influencer la mobilité du bois? (Plusieurs réponses possibles)

Le type d'évènement hydrométéorologique influence la mobilité du bois en mobilisant des volumes de bois différents selon l'évènement. Par exemple, une rivière avec des débâcles mécaniques des glaces pourra transporter de grands volumes de bois durant ces évènements intenses, mais de courtes durées. Ensuite, une crue torrentielle peut transporter de grands volumes de bois durant un évènement d'intensité élevé, mais peu fréquent. Finalement, une crue à l'eau claire risque de transporter du bois à chaque crue.

Absence de crue significative : Il est possible que les débits sur la rivière soient modifiés par des infrastructures (par exemple : crue écrêtée par des digues, réservoir, barrages...). Il est toutefois nécessaire de considérer la mobilité du bois en présence d'infrastructure dans le cours d'eau. L'absence de crues significatives obtient donc une note faible. 0

Crue en eau claire : Une crue en eau claire (sans glace) permet de transporter des volumes de bois durant les évènements météorologiques si du bois est disponible ou si des sources de productions sont actives en amont. Généralement, il s'agit d'évènement pouvant transporter des volumes de faible à moyen, mais sur des périodes de temps plus longues. Il obtient donc une note modérée. 2

Crue avec débâcle mécanique des glaces : Un évènement de crue avec débâcle mécanique des glaces peut transporter de grands volumes de bois en quelques heures. Il obtient donc une note modérée et doit s'ajouter aux autres types de crues sur le cours d'eau. 3

Crue torrentielle : Les crues torrentielles peuvent transporter une grande quantité de bois en peu de temps et engendrer de grandes accumulations en aval. Il obtient donc une note élevée. 5

B9-accumulation **Quelle proportion du chenal au niveau plein-bord est obstruée par un embâcle?**

La proportion du chenal obstrué par du bois indique l'ampleur des effets d'un embâcle sur l'écoulement de l'eau et la morphologie du chenal. Plus le niveau d'obstruction est élevé, plus les impacts hydrauliques et morphologiques sont grands.

Moins de 10% du chenal : Lorsque l'obstruction du chenal est inférieure à 10%, les effets hydrauliques du bois sont nuls ou non significatifs. Elle obtient donc une note nulle. 0

Entre 10% et 30% : Lorsque l'obstruction du chenal est partielle et mineure, les effets hydrauliques sont modérés. L'écoulement peut être redirigé vers la portion du chenal qui n'est pas obstruée, minimisant les impacts, mais il est aussi possible que l'eau soit redirigée vers une berge. La majorité du chenal est non obstruée. Elle obtient donc une note modérée. 3

Entre 30% et 50% : Lorsque l'obstruction couvre entre le tiers et la moitié du chenal, le bois ralentit une grande portion de l'écoulement. Les effets hydrauliques et morphologiques sont multiples, mais il peut notamment ralentir localement l'écoulement, accélérer la vitesse de sédimentation et concentrer les forces hydrauliques, ce qui augmente localement la capacité de transport du cours d'eau et peut exacerber l'érosion. Elle obtient donc une note élevée. 5

Entre 50% et 75% : Lorsque l'obstruction est majeure, l'influence sur l'écoulement et la morphologie est grande. Il est possible que la présence de bois ralentisse l'écoulement de manière suffisante pour forcer l'élévation du niveau de l'eau en amont de l'embâcle. Il est aussi possible que la vitesse d'écoulement dans la portion non-obstruée soit significativement plus grande qu'elle ne l'est dans le tronçon et que cela engendre de l'érosion. Elle obtient donc une note très élevée. 8

75% et plus : Lorsque l'obstruction excède 75% du chenal, les effets du bois sont maximaux. L'écoulement de l'eau est freiné de façon significative, il est possible que le ralentissement de l'écoulement soit suffisant pour rehausser le niveau de l'eau et potentiellement créé des inondations localisées. Il est aussi possible que l'eau soit redirigée vers la berge non obstruée et que celle-ci soit érodée de manière à augmenter l'espace disponible pour l'écoulement de l'eau ou que le niveau d'eau excède le niveau de la plaine alluviale et qu'une avulsion soit initiée. Elle obtient donc une note très élevée. 10

B10-accumulation **Est-ce que d'autres bois se situent sur ce tronçon fluvial ou sur un tronçon en amont?**

La présence de nombreux bois individuels ou d'embâcles de bois sur un tronçon fluvial témoigne, de la production et du stockage de bois en rivière. Les tronçons caractérisés par de nombreux arbres provenant des berges (présence de feuillage, de branches, de racines et d'une écorce encore en place sur le tronc) témoignent qu'il s'agit d'une zone de production de bois. De plus, la présence de nombreux embâcles indique qu'il s'agit d'une zone de stockage de bois. Dans de nombreux cas, mais pas exclusivement, les zones de stockages se

trouvent à proximité des zones de production. La quantité de bois sur un tronçon de cours d'eau témoigne donc de l'importance de la dynamique du bois.

Ne sais pas : Il est possible que cette donnée soit difficile à acquérir, il faut néanmoins considérer qu'il est possible que le tronçon du cours d'eau soit caractérisé par la présence de bois. L'absence d'information obtient donc une note modérée. 2

Aucun embâcle de bois ou bois individuel dispersés : Lorsqu'aucun bois n'est présent sur le tronçon, il est possible que la dynamique du bois en rivière soit négligeable ou qu'il s'agisse d'un tronçon propice au transport du bois. Dans les deux cas, il est peu probable que le bois ait une influence sur le morphodynamisme fluvial. Il obtient donc une note nulle. 0

Quelques embâcles par kilomètres linéaires de cours d'eau (< 10 embâcles) : Lorsque quelques embâcles sont présents sur un kilomètre linéaire de cours d'eau, certaines dispositions facilitent le stockage de bois, mais le tronçon ne contient pas suffisamment de bois pour l'identifier comme une zone de stockage majeur*. Le bois peut toutefois interagir avec l'écoulement et modifier localement la manière dont le cours d'eau se comporte. Il obtient donc une note modérée. 3

Plusieurs embâcles par kilomètres linéaires de cours d'eau (>10 embâcles) : Lorsque plusieurs embâcles sont présents sur un kilomètre de linéaire de cours d'eau, de nombreux foyers d'accumulations préférentiels favorisent l'accumulation de bois en rivière. Le tronçon contient une grande quantité de bois et agit à titre de zone de stockage de bois majeure**. L'interaction entre l'écoulement et la grande quantité de bois se fait à l'échelle locale, mais aussi à l'échelle du tronçon dans son ensemble. Il obtient donc une note élevée. 5

*À moins qu'un ou des embâcles de très grandes dimensions s'y trouvent

** Il importe ici de garder en tête le volume des embâcles. En effet, de nombreuses accumulations de bois représentent de grands volumes de bois, mais il est possible de retrouver une grande quantité d'embâcles qui atteignent tout juste la définition d'un embâcle de bois (10 centimètres de diamètre et 1 mètre de long). Dans ce cas, il faut interpréter avec prudence avant de conclure à une zone de stockage majeure.

B11- Le bois influence-t-il la mobilité du chenal? accumulation

En faisant obstruction à l'écoulement de l'eau, le bois peut créer des zones de faibles vitesses où l'action hydraulique est insuffisante pour déloger les sédiments du lit ou de la berge. Il est aussi possible que le bois représente un obstacle physique qui bloque et dévie complètement l'écoulement. Inversement, en faisant obstruction à l'écoulement de l'eau, il est aussi possible que le bois concentre les forces hydrauliques dans la portion non obstruée du chenal, qu'il exacerbe ou engendre localement l'érosion des berges à proximité. L'ampleur de l'érosion engendrée détermine le niveau d'interaction du bois en rivière avec la dynamique hydrosédimentaire. (*Le choix de la réponse doit considérer le processus dominant.)

Le bois protège la berge : Le bois ralentit l'écoulement de l'eau ou l'obstrue complètement 0

en le déviant vers une zone où il n'y a pas de signes manifestes d'érosion. Il obtient donc une note nulle.

Le bois ne protège pas la berge, mais n'a pas d'influence sur les taux d'érosion : Le bois ne protège pas les berges de l'érosion, son action à cet effet est négligeable ou nulle. Il obtient donc une note modérée. 3

Le bois augmente les taux d'érosion localement : Le bois obstrue l'écoulement et le redirige vers une berge. La concentration de l'écoulement augmente la force érosive du cours d'eau et une ou des berges sont en érosion à proximité du bois. Il obtient donc une note élevée. 5

Le bois initie le développement d'un chenal secondaire (avulsion): Le bois obstrue l'écoulement de manière à modifier significativement la forme du chenal. Il peut forcer le développement d'un nouveau chenal, par l'occurrence d'avulsions. Il obtient donc une note très élevée. 8

B12- Le bois influence-t-il les transits sédimentaires? accumulation

En obstruant le chenal, le bois freine l'écoulement de l'eau, ce qui a pour effet de diminuer localement la capacité de transport du cours d'eau. Ainsi, des sédiments peuvent s'accumuler à proximité du bois et en fonction de la taille et de la stabilité du bois en rivière, les sédiments peuvent être stockés pour une plus ou moins longue période et la zone d'accumulation peut être plus ou moins grosse. Les embâcles les plus stables tendent à favoriser l'accumulation durable de grands volumes de sédiments, alors que les plus petits embâcles tendent à forcer le stockage de plus petits volumes de sédiments ou de manière moins durable. Il est aussi possible que le bois permette l'accumulation de sédiments plus fins que ceux qui composent autrement le lit du cours d'eau. Les formes d'accumulations peuvent se situer en amont, en aval ou sur le côté du bois en rivière.

Aucune influence sur le transit sédimentaire : Aucune forme d'accumulation de ne développe à proximité du bois et la taille des sédiments est équivalente à celles retrouvées ailleurs sur le lit du cours d'eau. Il obtient donc une note nulle. 0

Des sédiments plus fins que ceux qui composent le lit se déposent à proximité du bois : Lorsque des sédiments plus fins que ceux qui composent le lit se déposent à proximité du bois, il est probable qu'ils soient facilement mobilisés lors de la prochaine crue et que d'autres viendront prendre leur place lors de l'abaissement des niveaux d'eau. Ils sont peu susceptibles formées des bancs d'accumulations de taille significative et de modifier la dynamique du cours d'eau. Ils obtiennent donc une note faible. 1

Des bancs d'accumulations se forment à proximité du bois, dans un secteur où les bancs sont fréquents : Lorsque des bancs d'accumulations se forment à proximité du bois, dans des secteurs où des bancs d'accumulations se forment même sans obstruction (ex. tronçon divagant ou à méandres dynamiques), il est difficile de déterminer si le bois cause la présence du banc ou si le banc a initié la formation de l'embâcle. Comme il est attendu que des bancs d'accumulations se forment dans ces secteurs, ils obtiennent une note modérée. 3

Un ou plusieurs bancs d'accumulations se forment à proximité du bois, dans un secteur où les bancs sont rares ou absents : Lorsque des bancs d'accumulations se forment à proximité du bois, dans des secteurs où peu ou pas de bancs sont présents, il est raisonnable de croire que le bois a initié la formation du banc d'accumulation*. Le développement de bancs d'accumulations dans un secteur sans banc est susceptible d'altérer le fonctionnement du cours d'eau à l'échelle locale ou à celle du tronçon homogène, il obtient donc une note élevée. 5

*Il s'agit d'une généralisation, il est aussi possible que le banc se soit formé dû à une grande charge sédimentaire lors d'une crue, de l'activation d'une nouvelle source sédimentaire ou autre. Il faut interpréter la relation entre la présence de bois en rivière et de bancs d'accumulations avec prudence et établir un suivi au besoin.

Enjeux de sécurité

S1 Existe-t-il un espace où le cours d'eau serait libre de se déplacer sans nuire aux infrastructures (routes, maisons, ponts...)?

Les espaces non aménagés sur la plaine alluviale permettent à l'ensemble des processus fluviaux de s'activer sans affecter les personnes ou les infrastructures. Ces corridors de mobilité permettent la migration du chenal sans affecter les personnes ou les bâtiments riverains (voir figure 4). Dans les cas où ces espaces sont occupés, des enjeux de sécurité apparaissent et les aléas fluviaux apparaissent comme des risques naturels. Comme le bois en rivière peut exacerber l'érosion des berges dans certains contextes, il convient de s'intéresser à l'espace disponible et à la migration du cours d'eau. Comme les cours d'eau existent en de nombreuses tailles et styles fluviaux, il convient de rapporter la largeur du corridor de mobilité à celle du cours d'eau. De plus, les avulsions sont associées à certains types de cours d'eau, notamment les cours d'eau divagants, et impliquent un changement rapide de la position du chenal. Il est donc nécessaire d'identifier le style fluvial pour évaluer la largeur du corridor.

Corridor large sur la longueur du tronçon : Lorsqu'un corridor large est présent sur la majorité du tronçon, il est peu probable que la mobilité du chenal nuise aux propriétés ou aux activités humaines. Un corridor large correspond à environ une fois la largeur du chenal, dans le cas de cours d'eau linéaires et à méandres stables ou à deux fois la largeur du chenal dans le cas de cours d'eau à méandres dynamiques et divagants. Le risque d'affecter la vie humaine est minime, le corridor large obtient donc une note faible. 1

Corridor étroit sur la longueur du tronçon : Lorsqu'un corridor étroit est présent sur la majorité du tronçon, il est possible que la mobilité du chenal nuise aux propriétés ou aux activités humaines, mais surtout lors de grandes crues. Un espace étroit représente tout de même un espace tampon bénéfique. Un corridor étroit est de largeur inférieure à une fois la largeur du chenal, dans le cas de cours d'eau linéaires et à méandres stables ou à deux fois la largeur du chenal dans le cas de cours d'eau à méandres dynamiques et divagants. Le risque d'affecter la vie humaine est présent, le corridor étroit obtient donc une note modérée. 3

Aucun corridor sur la longueur du tronçon : Lorsqu'aucun corridor n'est présent sur la majorité du tronçon, il est probable que la mobilité du chenal nuise aux propriétés ou aux activités humaines, même lors de crues de fortes récurrences, car aucun ou peu d'espace tampon n'existe. L'absence de corridor est identifiée si sa largeur est inférieure à une demie largeur de chenal, dans le cas des cours d'eau linéaires et à méandres stables ou une fois la largeur dans le cas de cours d'eau à méandres dynamiques et divagants. Le risque d'affecter la vie humaine est considérable, l'absence de corridor obtient donc une note élevée. 5

*Méthode préconisée : 1 à 2 fois la largeur du cours d'eau à partir de la berge de chaque côté.

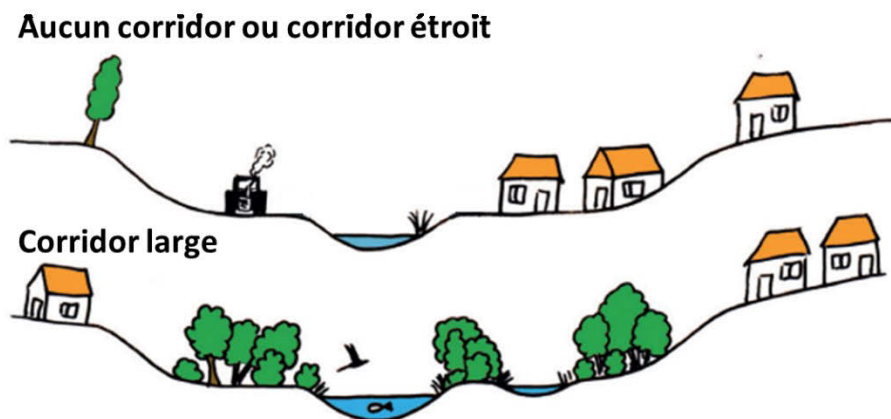


Figure 48. Représentation d'un environnement fluvial avec aucun corridor ou un corridor étroit pour la mobilité du cours d'eau et exemple avec un corridor large où la rivière peut se déplacer sans nuire aux infrastructures (modifiée de France Nature Environnement Languedoc-Roussillon, 2016)

S2 Des infrastructures sont-elles susceptibles d'être endommagées par le bois en rivière? (routes, pont, ponceau, habitation, enrochement)

La présence de bois en rivière est susceptible d'engendrer des bris matériels sur les infrastructures qui se situent au sein même du chenal ou sur la plaine alluviale. Ces dommages peuvent se manifester de plusieurs manières, en provoquant des inondations, lorsque le bois en transport percute des infrastructures ou lorsque les effets hydrauliques du bois accumulé viennent affouiller et déchausser des ouvrages. Dans tous ces cas de figure, la proximité entre le bois en rivière et les infrastructures est déterminante et conditionne le risque potentiel*.

Aucune infrastructure : Lorsqu'aucune infrastructure ne se trouve sur le cours d'eau ou à proximité, il est impossible qu'elles soient endommagées par le bois en rivière. La note est donc nulle. 0

Des infrastructures se situent à quelques kilomètres en aval : Lorsque des infrastructures se situent à quelques kilomètres en aval du bois, il est peu probable qu'elles soient endommagées par le bois en rivière, car la distance à parcourir pour l'atteindre est très grande. La note est donc faible. 1

Des infrastructures se situent à quelques centaines de mètres en aval : Lorsque des infrastructures se situent à quelques centaines de mètres en aval du bois, il est possible qu'elles soient endommagées par le bois en rivière. S'il est mobilisé, le bois pourrait parcourir cette distance et atteindre l'infrastructure. Toutefois, il est aussi possible que des foyers d'accumulations soient localisés entre les deux et que le bois s'y accumule avant d'atteindre l'ouvrage. La note est donc modérée. 3

Des infrastructures se situent à quelques dizaines de mètres : Lorsque des infrastructures se situent à quelques dizaines de mètres en aval du bois, il est possible qu'elles soient endommagées par le bois en rivière. S'il est mobilisé, le bois peut facilement parcourir cette distance et atteindre l'infrastructure. La quantité de foyers d'accumulations est risquée d'être limitée dû à la courte distance qui sépare le bois et l'infrastructure. La note est donc élevée. 5

Le bois est en contact avec une infrastructure : Lorsque les infrastructures sont déjà en contact avec le bois, les dommages sont potentiellement déjà faits ou le risque est augmenté. Les possibilités de bris par contact ou d'affouillement peuvent être sérieuses. La note est donc très élevée. 10

*L'emphase est mise sur les risques potentiels de bris d'infrastructure dû à la présence de bois en rivière. Pour évaluer l'imminence des risques, la distance qui sépare le bois et l'infrastructure sont utilisées. Or, il est aussi possible que du bois ne cause aucun dommage aux structures. Lorsque du bois en rivière est soupçonné d'altérer l'intégrité d'un ouvrage, il est recommandé de conduire une étude spécifique à cet enjeu.

S3 **Des infrastructures limitent-elles la mobilité du bois? (ex. : ponts, ponceaux)**

Pour estimer la capacité d'un cours d'eau à mobiliser du bois, le rapport entre la largeur du chenal et la hauteur des arbres est utilisé. Cependant, la largeur des ponts et ponceaux est parfois inférieure à la largeur du chenal. Pour évaluer les possibilités d'obstruction du chenal au niveau des infrastructures, il convient de s'intéresser au rapport entre la largeur de celles-ci et la hauteur des arbres qui se situent près des sources de bois (ripisylve, haut de talus et versants pour les mouvements de masse, peuplements en fin de vie). Si des ponts sont conçus avec un ou plusieurs piliers centraux, il est nécessaire de considérer l'espace qui sépare chacun d'eux et non la largeur totale de l'infrastructure.

Largeur des infrastructures > hauteur des arbres : Lorsque la largeur des infrastructures est supérieure à la hauteur des arbres, les possibilités d'obstructions sont grandement diminuées. À moins que de nombreux arbres transitent simultanément et bloquent complètement le passage, les risques d'accumulation de bois sont faibles. Il obtient donc une note faible. 1

Largeur des infrastructures ≈ hauteur des arbres : Lorsque la largeur des infrastructures est similaire à la hauteur des arbres, les possibilités d'obstructions augmentent considérablement. Le bois est généralement transporté parallèlement au sens de l'écoulement dans le chenal, mais si plusieurs bois sont mobilisés simultanément ou s'il est transporté perpendiculairement à l'écoulement, il est **possible** qu'il obstrue l'infrastructure et accumule d'autres bois en transit. Il obtient donc une note modérée. 3

Largeur des infrastructures < hauteur des arbres : Lorsque la largeur des infrastructures est inférieure à la hauteur des arbres, les possibilités d'obstruction sont grandes. Le bois est généralement transporté parallèlement au sens de l'écoulement dans le chenal, mais si plusieurs bois sont mobilisés simultanément ou s'il est transporté perpendiculairement à l'écoulement, il est **probable** qu'il obstrue l'infrastructure et accumule d'autres bois en transit. Il obtient donc une note élevée. 5

S4 **Quel est le niveau d'aménagement du tronçon fluvial?**

Le niveau d'aménagement du tronçon de cours d'eau renseigne sur l'exposition potentielle de la communauté à l'occurrence d'aléas fluviaux. Le bois peut localement exacerber l'érosion ou les inondations, mais si ces processus s'activent dans des secteurs non occupés ou non aménagés, les enjeux apparaissent mineurs.

Le tronçon est principalement naturel : Lorsque le tronçon est aménagé sur 15% ou moins du linéaire de cours d'eau, l'exposition des biens et des personnes aux aléas fluviaux est très faible, elle obtient donc une note nulle*. 0

Le tronçon est partiellement aménagé : Lorsque le tronçon est aménagé entre 15% et 40% du linéaire de cours d'eau, l'exposition des biens et des personnes aux aléas fluviaux augmente, elle obtient donc une note modérée. 3

Le tronçon est fortement aménagé : Lorsque le tronçon est aménagé entre 40% et 70% du linéaire de cours d'eau, l'exposition des biens et des personnes aux aléas fluviaux est grande, elle obtient donc une note élevée. 5

Le tronçon est en milieu urbain : Lorsque le tronçon est aménagé sur plus de 70% du linéaire de cours d'eau, l'exposition des biens et des personnes aux aléas fluviaux est très grande, elle obtient donc une note élevée. 8

*À moins que les portions urbanisées ne se situent dans des secteurs sensibles comme des cônes alluviaux.

S5 **Quelle proportion du chenal au niveau plein-bord est obstruée par un embâcle?**

Quand le bois obstrue le chenal, il est possible que l'eau qui s'écoule soit déviée vers une portion non obstruée, vers une berge ou vers l'amont, en créant un effet de refoulement. Plus la proportion du chenal obstruée est grande, plus les possibilités que (1) l'écoulement soit influencé par la présence de bois et (2) l'ampleur des effets du bois sur l'hydraulique soient grandes*.

Moins de 10% du chenal : Une obstruction égale ou inférieure à 10% du chenal est peu susceptible de rediriger l'écoulement de manière à concentrer les forces hydrauliques ou à dévier l'écoulement vers la berge opposée. De plus, une obstruction inférieure à 10% de la largeur du chenal n'a pas d'effets significatifs sur l'hydraulique. Elle obtient donc une note nulle. 0

Entre 10% et 30% : Une obstruction qui couvre entre 10% et 30% de la largeur du cours d'eau est susceptible d'avoir une influence sur l'écoulement de l'eau. Le bois peut rediriger l'eau vers le centre du chenal ou permettre d'éroder la berge à proximité, mais la majorité du chenal reste non obstrué et la libre circulation de l'eau n'est pas trop compromise. Elle obtient donc une note modérée. 3

Entre 30% et 50% : Une obstruction qui couvre entre 30% et 50% de la largeur du chenal a un impact direct sur l'écoulement de l'eau. Localement, il est possible que le niveau d'eau soit rehaussé en amont du bois ou que l'eau soit redirigée vers une berge. La majorité du chenal reste non obstrué, mais la section disponible à l'écoulement de l'eau est grandement réduite. Elle obtient donc une note élevée. 5

Entre 50% et 75% : Une obstruction qui couvre entre 50% et 75% du cours d'eau impacte grandement l'écoulement de l'eau. Il est probable que des zones d'érosion soient créées sur les berges et que du refoulement soit perceptible en amont de l'embâcle. Le bois peut rediriger l'écoulement de manière à exacerber l'érosion et la concentration des forces hydrauliques, peut engendrer une augmentation de la vitesse d'écoulement et la puissance du cours d'eau. Il est donc possible que la capacité de transport augmente localement et que des sédiments de plus gros calibre soient mobilisés. De plus, le refoulement peut forcer l'élévation du niveau d'eau de manière à provoquer des débordements au-dessus du niveau plein bord. Si des inondations surviennent, il est possible que l'écoulement exploite des voies d'écoulement préférentielles sur la plaine et que des avulsions surviennent si le contexte le permet. Elle obtient donc une note très élevée. 8

75% et plus : Une obstruction qui couvre plus de 75% du cours d'eau impacte grandement l'écoulement de l'eau. Il est très probable que des zones d'érosion soient créées sur les berges à proximité et que du refoulement soit perceptible en amont de l'embâcle. Le bois redirige probablement l'écoulement de manière à exacerber l'érosion et la concentration des forces hydrauliques, peut engendrer une augmentation de la vitesse d'écoulement et la puissance du cours d'eau. Il est donc possible que la capacité de transport augmente localement et que des sédiments de plus gros calibre soient mobilisés. De plus, le refoulement peut forcer l'élévation du niveau d'eau de manière à provoquer des débordements au-dessus du niveau plein bord. Si des inondations surviennent, il est possible que l'écoulement exploite des voies d'écoulement préférentielles sur la plaine et que des avulsions surviennent si le contexte le permet. Elle obtient donc une note extrême. 10

*Le pourcentage d'obstruction est utilisé comme référence pour estimer l'ampleur des effets du bois sur l'écoulement de l'eau. Ce rôle est toutefois aussi largement conditionné par la porosité des embâcles et leur capacité à laisser l'eau s'écouler dans les interstices entre le bois. Le niveau de porosité est toutefois plus difficile à évaluer, pour cette raison, il n'est pas considéré ici. Toutefois, il est pertinent de s'interroger sur la question lors de l'évaluation du rôle du bois en rivière et de conduire des études spécifiques au besoin.

S6 Le bois représente-t-il un danger lors de l'accès au cours d'eau?

Certains cours d'eau sont utilisés pour leur potentiel récréotouristique. Lorsque des embâcles se forment sur ces cours d'eau, ces derniers peuvent représenter un danger lors de l'accès au cours d'eau. Ils peuvent notamment bloquer partiellement ou complètement un sentier d'accès au cours d'eau ou empêcher les usagers de traverser le chenal dans un lieu sécuritaire.

Aucun danger : Le bois en rivière ne pose pas de problème d'accès au cours d'eau, il ne compromet pas la sécurité des individus. S'il obstrue l'accès, il est possible de le contourner sans danger. Il obtient donc une note nulle. 0

Le bois entrave l'accès au cours d'eau, mais il est possible de le contourner : Le bois nuit à l'accès au cours d'eau. Il est possible de le contourner, mais cette action implique un niveau de danger faible ou modéré pour les usagers*. Il obtient donc une note modérée. 1

Il est nécessaire d'enjamber le bois pour accéder au cours d'eau : Le bois nuit grandement à l'accès au cours d'eau. Il n'est pas possible de le contourner, l'embâcle doit être enjambé pour être franchi. Si un contournement est possible, il implique un niveau de danger élevé pour les usagers*. Il obtient donc une note élevée. 3

*Pour évaluer le niveau de danger, il convient de s'attarder aux activités réalisées par les usagers. Un détour peut *a priori* sembler anodin, mais s'il est nécessaire de circuler pour un court moment dans la forêt avec cannes à pêche, hameçons, canots ou kayak, le niveau de danger augmente.

S7 **Le bois représente un danger pour les usagers du cours d'eau?**

Lorsque les cours d'eau sont utilisés pour leur potentiel récréotouristique, des questions de sécurité apparaissent. Au-delà de l'accès, il convient de s'attarder aux dangers que peut représenter le bois en rivière durant la pratique d'une activité (pêche, canoë, kayak). Le bois peut notamment représenter un danger lors des déplacements sur le cours d'eau sur différents types d'embarcation, endommager le matériel ou causer des blessures s'il est percuté ou si une manœuvre complexe est nécessaire pour le contourner.

Aucun danger : Le bois ne compromet pas la sécurité des usagers sur cours d'eau, il représente un obstacle mineur qui peut être évité sans manœuvre particulière. Il obtient donc une note nulle. 0

Danger modéré; il peut être contourné et évité : Le bois représente un obstacle qui doit être contourné. Des manœuvres sont nécessaires afin de contourner l'embâcle. Si la manœuvre échoue, le contact avec l'embâcle pourrait occasionner des bris d'équipements ou des blessures. Il obtient donc une note faible. 1

Grand danger, les usagers doivent l'enjamber pour poursuivre leur activité : Le bois représente un obstacle qui ne peut pas être contourné ou un contournement exige des manœuvres complexes et dangereuses. Si ces manœuvres sont requises ou qu'il est nécessaire d'enjamber l'embâcle pour le franchir, le danger est grand. Il obtient donc une note élevée. 5

S8 **Est-ce qu'une personne/communauté se retrouve isolée en cas de bris d'infrastructure provoquée par le bois?**

Certaines communautés, ou municipalités ne sont desservies que par un nombre limité de routes. Il est possible que des aléas fluviaux soient exacerbés par la présence de bois en

rivière et qu'ils endommagent des chemins d'accès essentiels à ces communautés. Lorsque des bris de routes ou de ponts surviennent, ces communautés peuvent se retrouver isolées.

Non : La communauté n'est pas isolée. Malgré le bris éventuel d'infrastructures routières, elle a accès aux soins d'urgence dans un délai raisonnable, elle peut être approvisionnée en eau et en denrées alimentaires*, les individus sont en sécurité. Elle obtient donc une note nulle. 0

Oui : La communauté est isolée. Les bris éventuels d'infrastructures routières la privent de soins d'urgence dans un délai raisonnable, elle ne peut être approvisionnée en eau et en denrées alimentaires*, les individus ne sont pas en sécurité. Elle obtient donc une note élevée. 5

*Exemples à titre indicatif, d'autres facteurs peuvent être pris en compte. Au besoin, consulter les plans de mesures d'urgence de la municipalité ou de la MRC.

Habitat

H1 L'embâcle de bois force-t-il la présence de fosses?

En altérant l'écoulement de l'eau, le bois peut concentrer les forces hydrauliques et provoquer l'accélération des vitesses du courant. Cette concentration des forces hydrauliques permet localement d'augmenter la capacité de transport du cours d'eau. Lorsque l'écoulement est redirigé vers le lit ou concentré entre le bois et le lit, des fosses peuvent se développer. Ces fosses représentent des refuges thermiques et hydrauliques pour la faune et la flore aquatique. Une fois la fosse formée, la hauteur d'eau est supérieure à celle retrouvée en périphérie. L'écoulement est ainsi ralenti et des algues peuvent venir se développer sur le bois. Ces algues servent d'aliments à différentes espèces de macroinvertébrés qui servent à leur tour de source de nourriture aux poissons. Les fosses sont aussi utilisées par les poissons comme refuge thermique, car l'eau y est généralement plus fraîche que dans les secteurs moins profonds. Enfin, la vitesse réduite des courants permet aux poissons de s'y réfugier en limitant leur dépense énergétique.

Le bois ne crée aucune fosse : Aucune fosse ne se trouve à proximité du bois, il obtient donc une note nulle. 0

Le bois crée une fosse, mais d'autres sont présentes : Le bois crée une fosse et potentiellement les services écosystémiques qui y sont associés. Cependant si d'autres embâcles créent des fosses ou si des fosses sans bois se retrouvent en grand nombre sur le tronçon, l'importance relative de son rôle diminue. Il obtient donc une note modérée. 3

Le bois crée une des rares fosses : Le bois crée une fosse et potentiellement les services écosystémiques qui y sont associés. Comme il s'agit d'une des seules fosses retrouvées sur le 5

tronçon, son rôle est très important, voire essentiel au maintien de l'écosystème. L'importance relative de son rôle est grande. Il obtient donc une note élevée.

H2 L'embâcle de bois est-il une source d'ombre dans le cours d'eau?

Le bois en rivière agit à titre de refuge thermique pour les populations de poissons. En plus de permettre la formation de fosses, ils peuvent représenter une source d'ombre qui protège les poissons eux-mêmes du rayonnement solaire et qui crée des zones plus fraîches où ils peuvent s'abriter. Ce rôle est particulièrement important en période d'étiage sévère, alors que la faible profondeur d'eau permet un réchauffement rapide et que les sources d'eau fraîches sont plus rares*.

Le bois ne crée pas d'ombre : Lorsque le bois ne crée pas d'ombre sur le cours d'eau, il obtient une note nulle. 0

Le bois crée une source d'ombre parmi d'autres : Le bois crée une zone d'ombre au sein du chenal. Cependant, si d'autres embâcles créent des zones d'ombre ou si d'autres zones d'ombre se retrouvent en grand nombre sur le tronçon, l'importance relative de son rôle diminue. Il obtient donc une note modérée. 3

Le bois crée une des rares sources d'ombre : Le bois crée une zone d'ombre au sein du chenal. Comme il s'agit d'une des seules zones d'ombre retrouvées sur le tronçon, son rôle est très important, voire essentiel au maintien de l'écosystème. L'importance relative de son rôle est grande. Il obtient donc une note élevée. 5

*À cet effet, les embâcles qui couvrent une grande superficie sont beaucoup plus efficaces que les très petits embâcles ou les bois individuels. Il n'est toutefois pas exclu qu'un gros tronc puisse remplir ce rôle.

H3 L'embâcle de bois favorise-t-il la création d'habitats riverains?

Le bois en rivière est aussi favorable au développement d'habitat riverain. Si le bois est positionné sur une berge, il agit à titre d'élément de rugosité additionnelle et peut ralentir les vitesses d'écoulement, en cas d'inondation et de préserver les espèces en place qui auraient autrement pu être arrachées par la crue. De plus, lorsqu'il se situe sur des bancs d'accumulations, où la profondeur d'eau peut être faible même en période de crue, il peut créer des zones abritées où la végétation pionnière est libre de se développer. Ce type de manifestation peut conduire à la colonisation, donc la stabilisation d'un banc d'accumulation par la végétation ou à la formation éventuelle d'un îlot végétalisé.

L'embâcle est submergé à l'étiage : l'embâcle n'a aucune influence sur l'habitat riverain, car il se situe dans le lit actif du chenal. Il obtient donc une note nulle. 0

L'embâcle est en contact avec la berge ou sur un banc en accumulation, mais aucune végétation ne s'y développe : L'absence de végétation limite le développement d'habitats riverains à court terme. Son influence sur l'habitat riverain est donc limitée. Il obtient une note modérée. 3

L'embâcle est en contact avec la berge ou sur un banc en accumulation et de la végétation se développe sur ou à proximité de l'embâcle (quelques mètres) : Son influence sur la création et le maintien d'un habitat riverain est donc élevée. Il obtient donc une note élevée. 5

H4 **Quelle serait l'ampleur des impacts d'un démantèlement sur la dynamique sédimentaire et l'habitat à court terme**

Le démantèlement d'embâcle peut rapidement devenir un processus complexe et couteux. À moins qu'il ne soit absolument nécessaire de procéder à une telle intervention, il est recommandé d'éviter ces démarches. Toutefois, certaines circonstances peuvent imposer une intervention. Les interventions peuvent être variées et impliquent des niveaux de dommages ou de risques écosystémiques différents.

Minime : Les interventions non mécanisées ont généralement des impacts plus faibles sur la qualité des écosystèmes et sur la dynamique sédimentaire. Elles sont souvent réalisées sur des embâcles de petite taille, car il est possible de déplacer le bois avec la force des personnes. Ces embâcles ont généralement un rôle moins structurant sur la dynamique du cours d'eau et sur la qualité de l'habitat. De plus, il devrait être possible de réaliser les interventions manuelles sans altérer la bande riveraine pour frayer un chemin vers le chenal. L'habitat riverain demeure donc intact. Elles obtiennent donc une note faible. 1

Modérée : Les interventions non mécanisées ont généralement des impacts plus faibles sur la qualité des écosystèmes et sur la dynamique sédimentaire. Elles peuvent être réalisées sur des embâcles de tailles moyennes s'il n'est pas nécessaire de démanteler complètement l'embâcle. Il est possible de déplacer certains troncs plus problématiques ou de venir ancrer des bois plus solidement. Ces embâcles peuvent toutefois avoir un rôle structurant sur la dynamique des cours d'eau et la qualité de l'habitat. Les interventions manuelles peuvent être réalisées sans altérer la bande riveraine pour frayer un chemin vers le chenal. L'habitat riverain demeure donc intact. Elles obtiennent donc une note modérée. 3

Importante : Les interventions mécanisées sont généralement réalisées sur des embâcles de tailles moyennes ou grandes, car les volumes de bois à mobiliser sont grands et il serait très exigeant ou dangereux de procéder manuellement à ces travaux. Elles peuvent avoir un impact significatif sur la dynamique hydrosédimentaire et la qualité de l'habitat. Le retrait ou le déplacement d'une grande quantité de bois est susceptible de rapidement remettre en circulation des sédiments dont l'accumulation avait été engendrée par la présence du bois. Ces sédiments, fins ou grossiers peuvent modifier les conditions environnementales nécessaires à certaines espèces qui avaient colonisé le bois, les fosses ou les seuils qu'il avait créés. L'acheminement de matériel au chenal implique souvent la destruction d'une partie de la bande riveraine et l'ouverture d'un chemin. Ce chemin en soit réduit la qualité de l'habitat riverain, mais le déboisement et la mise à nu de la berge peut aussi initier localement de l'érosion au cours des crues subséquentes. L'érosion de la berge peut être indésirable si les terres avoisinantes sont privées et représentent un apport additionnel en sédiments au cours d'eau. Enfin les embâcles moyens ou grands peuvent avoir un rôle structurant sur la dynamique fluviale et la qualité de l'habitat, les interventions obtiennent donc une note élevée. 5

Très élevée : Les interventions mécanisées sont généralement réalisées sur des embâcles de tailles moyennes ou grandes, car les volumes de bois à mobiliser sont grands et il serait très exigeant ou dangereux de procéder manuellement à ces travaux. Elles ont généralement un très grand impact sur la dynamique hydrosédimentaire et la qualité de l'habitat. Le retrait ou le déplacement d'une grande quantité de bois est susceptible de rapidement remettre en circulation des sédiments dont l'accumulation avait été engendrée par la présence du bois en rivière. Ces sédiments, fins ou grossiers peuvent modifier les conditions environnementales nécessaires à certaines espèces qui avaient colonisé le bois, les fosses ou les seuils qu'il avait créés. Lorsqu'il est nécessaire d'introduire des véhicules dans le cours d'eau, le pavage du lit est déconstruit. Le pavage est un positionnement naturel des cailloux qui permet de résister le mieux possible à l'écoulement. S'il est altéré, une grande quantité de sédiments devient mobilisable. Il contribue au pulse sédimentaire associé au démantèlement d'embâcles. L'acheminement de matériel au chenal implique souvent la destruction d'une partie de la bande riveraine et l'ouverture d'un chemin. Ce chemin en soit réduit la qualité de l'habitat riverain, mais le déboisement et la mise à nu de la berge peut aussi initier localement de l'érosion au cours des crues subséquentes. L'érosion de la berge peut être indésirable si les terres avoisinantes sont privées et représentent un apport additionnel en sédiments au cours d'eau. De plus, les outils mécanisés peuvent introduire des fluides nocifs et nuire à la qualité de l'eau. Enfin les embâcles moyens ou grands peuvent avoir un rôle structurant sur la dynamique fluviale et la qualité de l'habitat, les interventions obtiennent donc une note extrême. 10

H5 **L'embâcle de bois crée-t-il des zones de vitesses contrastées?**

La présence de bois en rivière peut forcer des zones de vitesses contrastées. L'obstruction peut créer un ralentissement d'une part et l'accélération du courant ailleurs. La diversité des conditions hydrauliques peut favoriser de multiples espèces, de nombreux stades de développements ou des environnements favorables pour différentes occupations par la faune (prédation, repos, reproduction...). Il est donc favorable de retrouver des environnements avec des vitesses variées afin de complexifier l'habitat et favoriser la faune et la flore aquatique.

Aucune variabilité dans la vitesse d'écoulement : Le bois ne cause pas de variabilité dans les vitesses d'écoulement. Il obtient donc une note nulle. 0

Vitesse d'écoulement faiblement influencée par le bois : Le bois cause une petite variabilité dans les vitesses d'écoulement. Cette variabilité peut se manifester par un faible contraste des vitesses à proximité du bois, avec des zones d'écoulements lents, ou de refoulement près de zones un peu plus rapides ou par des zones d'écoulement rapide près de zones d'écoulements un peu plus lents. Le contraste est faible, il obtient donc une note modérée. 3

Vitesse d'écoulement fortement influencée par le bois : Le bois cause une grande variabilité dans les vitesses d'écoulement. Cette variabilité peut se manifester par un fort contraste des vitesses à proximité du bois. Avec des zones d'écoulement lent près de zones d'écoulements rapides. Le contraste est fort, il obtient donc une note élevée. 5

H6 Les sédiments qui composent le lit sont-ils de taille hétérogène?

À l'échelle d'un tronçon fluvial, l'hétérogénéité granulométrique est fonction des conditions hydrauliques. L'hétérogénéité génère une diversité d'habitats, certains propices à l'établissement de frayère avec une granulométrie moyenne ou encore d'autres portions avec des particules grossières avec un bon potentiel d'alimentation pour certaines espèces de petits poissons. Les sites d'accumulations de sédiments fins peuvent être riches en matière organique et profiter aux alevins. Il est donc favorable de retrouver une granulométrie hétérogène afin de favoriser la complexité de l'habitat, car les secteurs qui manifestent différentes caractéristiques peuvent être favorables à un plus grand nombre d'espèces ou à la même espèce, mais à des stades de vie variés.

Granulométrie homogène : La granulométrie du lit est homogène, le lit du cours d'eau est susceptible de servir à une plus faible diversité d'espèces ou de stades de développements. Elle obtient donc une note nulle. 0

Granulométrie hétérogène, sans influence de bois : La granulométrie est hétérogène, mais cette diversité ne semble toutefois pas être causée par la présence de bois. Le lit du cours d'eau est susceptible de servir une plus grande variété d'espèces ou de stades de développement. L'hétérogénéité de la granulométrie ne semble pas causée par la présence du bois. Elle obtient donc une note modérée. 3

Granulométrie hétérogène influencée par le bois : La granulométrie est hétérogène et cette diversité semble être causée par la présence de bois. Le lit du cours d'eau est susceptible de servir une plus grande variété d'espèce ou de stade de développement. L'hétérogénéité de la granulométrie est causée par la présence du bois et son retrait peut avoir comme effet d'homogénéiser la taille des sédiments. Elle obtient donc une note élevée. 5

H7 Est-ce que d'autres embâcles de bois se situent sur ce tronçon fluvial?

La rareté ou l'abondance de bois dans un tronçon fluvial détermine l'importance relative d'un habitat créé par du bois en rivière. Un habitat rare est de très grande valeur, alors qu'un habitat retrouvé à de nombreuses reprises est moins vital pour les espèces aquatiques, car des conditions similaires se retrouvent à proximité.

Plusieurs embâcles par kilomètres linéaires de cours d'eau (plus de 10 embâcles/km) : 0
Lorsqu'il est possible de retrouver plusieurs embâcles par kilomètre linéaire, la quantité et la diversité des habitats sont grandes. Le rôle relatif d'un embâcle de bois est réduit. Il obtient donc une note nulle.

Quelques embâcles par kilomètres linéaires de cours d'eau (2 à 10 embâcles/ km) : 3
Lorsqu'il est possible de retrouver quelques embâcles par kilomètre linéaire, la quantité et la diversité des habitats peuvent varier en fonction des conditions locales. Toutefois, les habitats créés par la présence de bois existent, malgré qu'ils ne soient pas abondants. Ils obtiennent donc une note modérée.

Aucun embâcle de bois ou bois individuel dispersés (0 ou 1 embâcle/ km) : 5
Lorsque le bois

est rare sur un tronçon fluvial, l'importance de la contribution d'un embâcle à la formation d'habitat de qualité est décuplée. Il représente un des rares environnements offrant une grande diversité morphologique et une grande complexité de l'habitat. Il obtient donc une note élevée.

H8 Quel est le volume de l'embâcle? (La taille influence la superficie d'habitat potentiel).

Le volume d'un embâcle va influencer et déterminer sa zone d'influence sur l'habitat en rivière. Ainsi, un embâcle de taille supérieure permettra la création d'une fosse plus grande qu'un embâcle de petite taille. Généralement, les embâcles de tailles supérieures seront plus durables dans le temps, s'assurant d'une durée plus élevée pour le maintien de l'habitat. Il est donc essentiel de mesurer le volume et la superficie d'un embâcle afin d'estimer son influence sur la création d'habitats en rivière*.

Embâcle de 0.1m³ à 5 m³ : Influence faible sur la superficie d'habitat potentielle, il obtient donc une note nulle. 0

Embâcle de 5m³ à 100 m³ : Influence importante sur la superficie d'habitat potentielle, l'embâcle permet de créer un habitat d'une superficie considérable. Il obtient donc une note modérée. 3

Embâcle de 100m³ et plus : Influence très importante sur la superficie d'habitat potentielle, l'embâcle permet de créer un habitat d'une superficie élevée et est essentiel au maintien de cet habitat. Il obtient donc une note élevée. 5

* Voir chapitre VIII a pour les mesures de volume en bois d'un embâcle.

Annexe 3 : Exemple d'une fiche de caractérisation des embâcles de bois en rivière

Identifiant:	GPS:		
	Date:		
# Photos:	Localisation:		

<u>CARACTÉRISTIQUES DE L'EMBÂCLE</u>			
Type:			
Position:	Chenal	Banc	Plaine
Obstruction du chenal (%):			
Provenance du BM:			
Longueur (m):			
Largeur (m):			
Hauteur (m):			
Densité:			
Stabilité:	Part. enfoui	Ancré	Déposé
Composition (%):	Troncs	Branches	Racines
	RG	Centre	RD
Fosse:			
Commentaires:	<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>		

Annexe 4 : Glossaire géomorphologique

Aggradation du lit :

Élévation graduelle ou progressive du lit d'un cours d'eau par accumulation de sédiments.

Amont :

Partie d'un cours d'eau comprise entre un lieu déterminé et sa source.

Anastomosé :

Se dit d'un ensemble de chenaux qui s'entrecroisent dans un large lit majeur, ou un delta, bien pourvu en défluent de toute sorte et de bras séparés par des hauts fonds. Le terme, emprunté au langage médical, n'est utilisé en hydrologie que sous forme d'adjectif : rivière anastomosée (Office national de l'eau et des milieux aquatiques, 2010).

Aval :

Partie d'un cours d'eau comprise entre un lieu déterminé et son embouchure.

Bassin versant hydrographique

Le bassin versant est une unité géographique naturelle recueillant, à travers le réseau hydrographique, les eaux qui y ruissellent. Il correspond à la surface d'alimentation d'un cours d'eau. Le bassin versant est délimité par la ligne de partage des eaux, c'est-à-dire la ligne de crête de part et d'autre de laquelle l'eau de pluie ruisselle. Les eaux d'un même bassin versant alimentent un exutoire commun (cours d'eau, lac, mer, océan). Dans un bassin versant, il y a continuité : - longitudinale, de l'amont vers l'aval (ruisseaux, rivières, fleuves) ; - latérale, des crêtes vers le fond de la vallée ; - verticale, des eaux superficielles vers des eaux souterraines et vice versa. (Office national de l'eau et des milieux aquatiques, 2010).

Cohésif

Propriété d'un sol pourvu de cohésion. Les argiles et les limons sont des sols cohésifs ; sables et les graviers propres (c'est-à-dire dépourvus de particules fines) sont non cohésifs (ou pulvérulents). (Office national de l'eau et des milieux aquatiques, 2010).

Débit liquide

Le débit liquide correspond au volume d'eau qui traverse une section transversale d'un cours d'eau par unité de temps. Les débits des cours d'eau sont exprimés en m³/s avec trois chiffres significatifs (ex : 1,92 m³/s, 19,2 m³/s, 192 m³/s), ou pour les petits cours d'eaux, en l/s. (Office national de l'eau et des milieux aquatiques, 2010).

Débit morphogène :

Débit qui a la capacité de modifier les formes d'une rivière par l'érosion et le transport des sédiments. Au Québec, ces débits se produisent surtout durant la crue printanière (avec la fonte des neiges), mais aussi lors d'événements de précipitation intense.

Débit solide

Le débit liquide correspond à la masse des matières solides traversant une section donnée d'un cours d'eau par unité de temps. Il comprend les matières en solution, les matières en suspension et les matériaux de fond. Ces matériaux sont déplacés dans le lit du cours d'eau selon différentes lois de transport : charriage, suspension, saltation. (Office national de l'eau et des milieux aquatiques, 2010).

Érosion des berges

L'érosion est un phénomène naturel. Généralement provoquée par le courant, elle participe au transport de la charge solide et à la recharge sédimentaire du cours d'eau. Les érosions de berges sont à l'origine des migrations de méandres (cf schéma). Elles garantissent le fonctionnement dynamique du cours d'eau. (Office national de l'eau et des milieux aquatiques, 2010).

Géomorphologie

Discipline qui étudie les formes de relief et leur mobilité, leur dynamique. Dans le cadre des hydrosystèmes, l'analyse porte sur la géométrie du lit des cours d'eau et les causes de ses transformations spatiales (de l'amont vers l'aval) ou temporelles en relation avec la modification des flux liquides et solides, la dynamique de la végétation riveraine, les interventions humaines. Il s'agit donc d'une science d'interface et de synthèse qui fait appel à des données naturalistes et expérimentales (hydraulique et hydrologie notamment) et à des données issues des sciences humaines (histoire, économie agricole...). (Office national de l'eau et des milieux aquatiques, 2010).

Géomorphologie fluviale (hydrogéomorphologie)

Science qui cherche à comprendre et décrire la structure du cours d'eau. Elle étudie les formes des cours d'eau et les conditions de leur formation. (Office national de l'eau et des milieux aquatiques, 2010).

Lit mineur d'un cours d'eau

Partie du lit compris entre des berges franches ou bien marquées dans laquelle l'intégralité de l'écoulement s'effectue, la quasi-totalité du temps en dehors des périodes de très hautes eaux et de crues débordantes. Le lit mineur englobe le lit d'étiage. Sa limite est le lit de plein bord. (Office national de l'eau et des milieux aquatiques, 2010).

Lit majeur d'un cours d'eau

Le lit majeur constitue l'espace riverain d'un cours d'eau dans lequel l'écoulement ne se fait que temporairement lors des débordements des eaux hors du lit mineur. Ses limites externes sont déterminées par la plus grande crue historique. Le lit majeur du cours d'eau permet le stockage des eaux de crues débordantes. (Office national de l'eau et des milieux aquatiques, 2010).

Migration latérale :

La migration latérale est créée par le déplacement du tracé d'une rivière à l'intérieur de sa vallée. L'érosion des berges est le processus qui permet année après année le mouvement latéral d'un cours d'eau. Les taux de migration sont très variables d'une rivière à l'autre, d'une section à l'autre et annuellement selon les crues.

Puissance spécifique d'un cours d'eau

La puissance spécifique correspond sommairement au produit de la pente X le débit, qui caractérise les potentialités dynamiques du cours d'eau. Les capacités d'ajustement du cours d'eau sont en grande partie fonction de la puissance spécifique. (Office national de l'eau et des milieux aquatiques, 2010).

Ripisylve

Le terme ripisylve vient du latin « Ripa » qui veut dire la rive et « Sylva » la forêt. La ripisylve est une formation végétale, naturelle et riveraine d'un milieu aquatique située dans la zone frontière entre l'eau et la terre (écotones). On distingue : - le boisement de berge (généralement géré dans le cadre des programmes d'entretien des rivières) situé à proximité immédiate du lit mineur. - la forêt alluviale qui s'étend plus largement dans le lit majeur. La nature de la ripisylve est étroitement liée aux écoulements superficiels et souterrains. Elle exerce une action sur la géométrie du lit, la stabilité des berges, la qualité de l'eau, la vie aquatique, la biodiversité animale et végétale (Office national de l'eau et des milieux aquatiques, 2010).

Substrat

Matériaux formant le lit de la rivière (Office national de l'eau et des milieux aquatiques, 2010).

Tête de bassin versant

Parties amont des bassins versants et par extension tronçon amont des rivières qui, en zone de relief notamment, sont le plus souvent moins exposées aux pressions anthropiques que les parties aval (mais restent très fragiles) et qui de ce point de vue constituent des secteurs de référence tout à fait importants et donc à préserver. (Office national de l'eau et des milieux aquatiques, 2010).