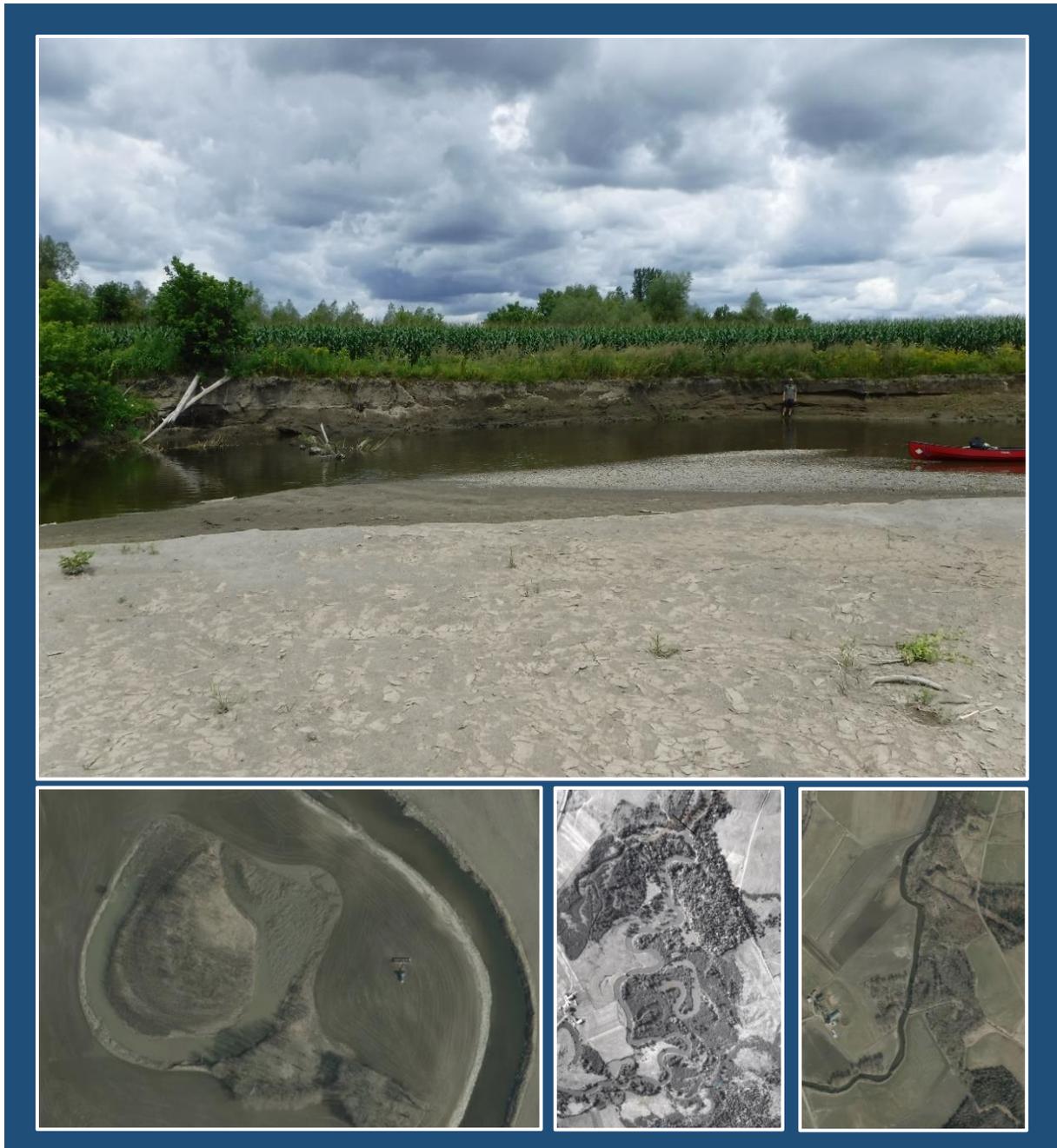


CARTOGRAPHIE DES ALÉAS FLUVIAUX DE LA RIVIÈRE COATICOOK : DIAGNOSTIC, MÉTHODOLOGIE ET RECOMMANDATIONS



Février 2018

Laboratoire de géomorphologie et dynamique fluviale
Université du Québec à Rimouski

Équipe de réalisation

Cartographie et rédaction

Sylvio Demers, agent de recherche
Laboratoire de géomorphologie et dynamique fluviale
Université du Québec à Rimouski

Simon Massé, doctorant en sciences de l'environnement
Laboratoire de géomorphologie et dynamique fluviale
Université du Québec à Rimouski

Révision du rapport

Thomas Buffin-Bélanger, professeur de géographie
Laboratoire de géomorphologie et dynamique fluviale
Université du Québec à Rimouski

Financement

Ce projet de recherche est rendu possible grâce au financement du Ministère de la Sécurité publique du Québec et du Fonds vert (PACC 2013-2020).

Référence du document

Demers S., Massé S., Buffin-Bélanger T. 2017. Cartographie des aléas fluviaux de la rivière Coaticook : diagnostic, méthodologie et recommandations. Laboratoire de géomorphologie et dynamique fluviale, Université du Québec à Rimouski. Rapport remis à la MRC de Coaticook et au Ministère de la Sécurité publique du Québec.

Introduction	1
1 Portrait et diagnostic des aléas fluviaux dans la vallée de la rivière Coaticook	3
1.1 Localisation	3
1.2 Hydrologie	4
1.2.1 Les inondations : un phénomène récurrent	4
1.2.2 Les tendances hydrologiques passées et futures.....	5
1.3 Portrait hydrogéomorphologique et diagnostic des aléas en rivières	7
1.3.1 Portrait hydrogéomorphologique	7
1.3.2 Impacts des enrochements	10
1.3.3 Impacts de la linéarisation et du remblaiement des milieux humides.....	11
1.3.4 Impacts de l'utilisation du sol sur la réponse hydro-sédimentaire des petits bassins versants	13
2 Méthodologie pour la cartographie des aléas fluviaux	17
2.1 La représentation cartographique des aléas fluviaux	17
2.2 Cours d'eau ciblés par l'étude	18
2.3 Cartographie des zones inondables	19
2.3.1 Approche hydraulique	19
2.3.2 Approche historique	22
2.3.3 Approche hydrogéomorphologique	22
2.4 Cartographie des espaces de mobilité.....	24
2.5 Cartographie des zones d'incision et de sédimentation	26
3 Recommandations	29
3.1 Recommandations relatives au cadre normatif et réglementaire pour les aléas fluviaux (plan de zonage).....	30
3.1.1 Les zones inondables	30
3.1.2 Les espaces de mobilité.....	33
3.1.3 Autres	34
3.2 Recommandations relatives à la gestion et l'aménagement des cours d'eau	34
3.2.1 Les zones de sédimentation	34
3.2.2 La gestion des eaux pluviales et des sources de sédiments	35
3.3 Recommandations générales/autres	36
3.3.1 Acquisition de connaissances	36
3.3.2 Sensibilisation.....	36
3.3.3 Recommandations relatives au cas du ruisseau Pratt.....	Erreur ! Signet non défini.
Références	39

Introduction

Mise en contexte et objectifs du projet

Dans le cadre d'un mandat du ministère de la Sécurité publique, le laboratoire de géomorphologie et de dynamique fluviale de l'UQAR travaille au développement de méthodes hydrogéomorphologiques pour la cartographie et la gestion des aléas fluviaux au Québec. Ce mandat s'inscrit dans une démarche concrète de révision de la cartographie des zones inondables de deux municipalités régionales de comté (MRC). Les deux MRC visées par le projet sont la MRC de La Mitis et la MRC de Coaticook.

Le principal objectif est de fournir une alternative méthodologique à la méthode du « pinceau large » pour procéder à la définition réglementaire des zones inondables répondant aux exigences de la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables (PPRLPI). Ce projet vise aussi à développer des méthodes de cartographie adaptées à d'autres aléas souvent moins reconnus, mais néanmoins problématiques pour l'aménagement du territoire : l'érosion des berges ainsi que les processus torrentiels caractéristiques des petits cours d'eau (figure 1).

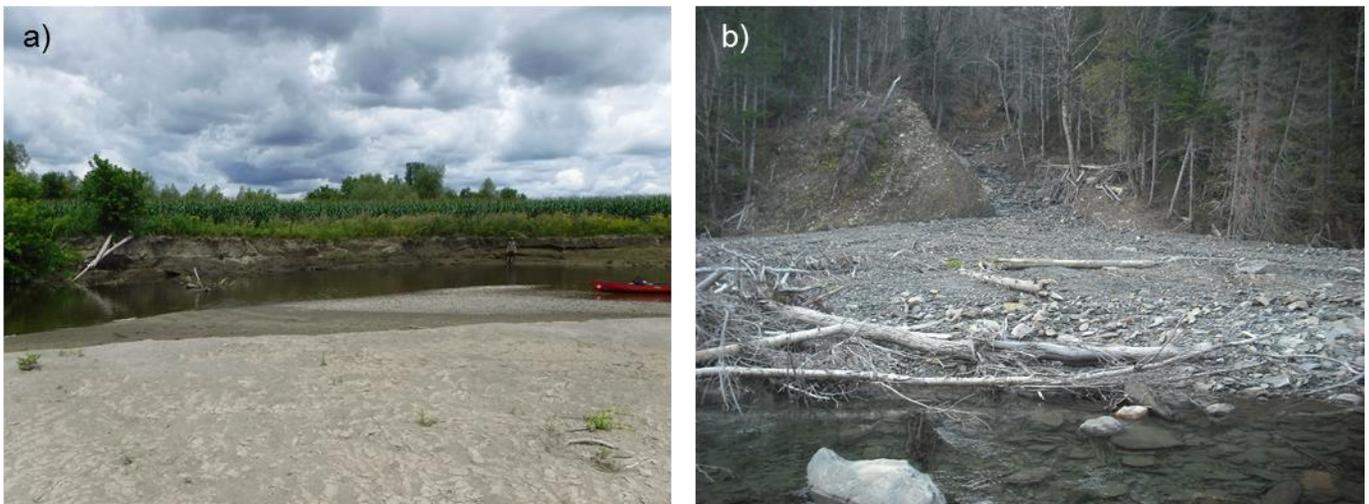


Figure 1. L'érosion des berges (a) et les inondations sur les cônes alluviaux (b): deux aléas fluviaux problématiques pour l'aménagement du territoire.

Aussi, il n'existe actuellement aucun dispositif pour évaluer, et encore moins contrôler, l'impact des facteurs affectant l'évolution du risque fluvial dans un bassin-versant (exploitation forestière, pratiques agricoles, interventions dans les cours d'eau). Un autre objectif de ce projet est de fournir aux MRC les connaissances nécessaires pour limiter l'impact des aléas sur le territoire. Ces recommandations vont au-delà de la définition d'un cadre réglementaire et concernent l'ensemble des intervenants concernés par la gestion des espaces fluviaux.

La cartographie de nouveaux aléas et leur reconnaissance dans le cadre du schéma d'aménagement de la MRC pose un défi pour la définition d'un cadre réglementaire approprié. Deux options différentes s'offrent aux MRC et aux municipalités dans cette démarche : traiter les nouveaux aléas à l'intérieur ou en dehors du cadre normatif des zones inondables de la PPRLPI.

Option 1 : À l'intérieur du cadre normatif de la PPRLPI

La PPRLPI définit déjà deux zones de contraintes associées aux zones inondables – les zones de grands et de faibles courants. Il est possible de rattacher les aléas d'érosion des berges et de torrentialité à ces deux cadres normatifs. Cette option permet de faciliter la définition du règlement, mais peut toutefois entraîner des inconvénients de par la rigidité des contraintes à l'aménagement qui sont prédéfinies.

Option 2 : À l'extérieur du cadre normatif de la PPRLPI

Une alternative est d'associer les nouveaux aléas à une zone de contrainte pour laquelle un nouveau cadre réglementaire est défini. Ce cadre réglementaire peut ainsi être adapté au processus ainsi qu'aux enjeux socio-économiques locaux. Cette option apporte une plus grande flexibilité dans la manière que les aléas sont pris en compte dans l'aménagement du territoire.

Le contenu du rapport

Ce rapport présente :

- ✓ les méthodes de cartographie des aléas fluviaux (inondation, érosion des berges, processus torrentiels) dans le bassin versant de la rivière Coaticook;
- ✓ le diagnostic des aléas et les recommandations pour aider à la gestion des aléas fluviaux sur le territoire de la MRC.

Pour une lecture rapide des conclusions de ce rapport, consultez la section relative aux recommandations (chapitre 3).

Ce rapport est aussi accompagné de deux autres documents:

- ✓ « *La représentation cartographique des processus hydrogéomorphologiques : cinq initiatives pour améliorer la gestion des aléas fluviaux au Québec* » (Demers et al, 2017). Ce document détail les bases théoriques et méthodologiques de la cartographie, tandis que le présent rapport traite plus spécifiquement de leur application au cas de la rivière Coaticook.
- ✓ Les rendus cartographiques sont présentés dans un atlas indépendant. Les cartes sont aussi disponibles en format numérique (.shp).

1 Portrait et diagnostic des aléas fluviaux dans la vallée de la rivière Coaticook

1.1 Localisation

D'une superficie de 535 km², le bassin versant de la rivière Coaticook est situé dans la région physiographique des Appalaches (figure 2). Le tiers de la superficie du bassin versant est situé dans l'État américain du Vermont. La rivière Coaticook s'écoule sur environ 67 km, à partir de l'exutoire du lac Norton Pond au Vermont jusque dans la rivière Massawippi. Le réseau de drainage est de forme allongée, caractérisé par une longue tige principale auxquelles se greffent perpendiculairement de nombreux tributaires de plus petite taille.

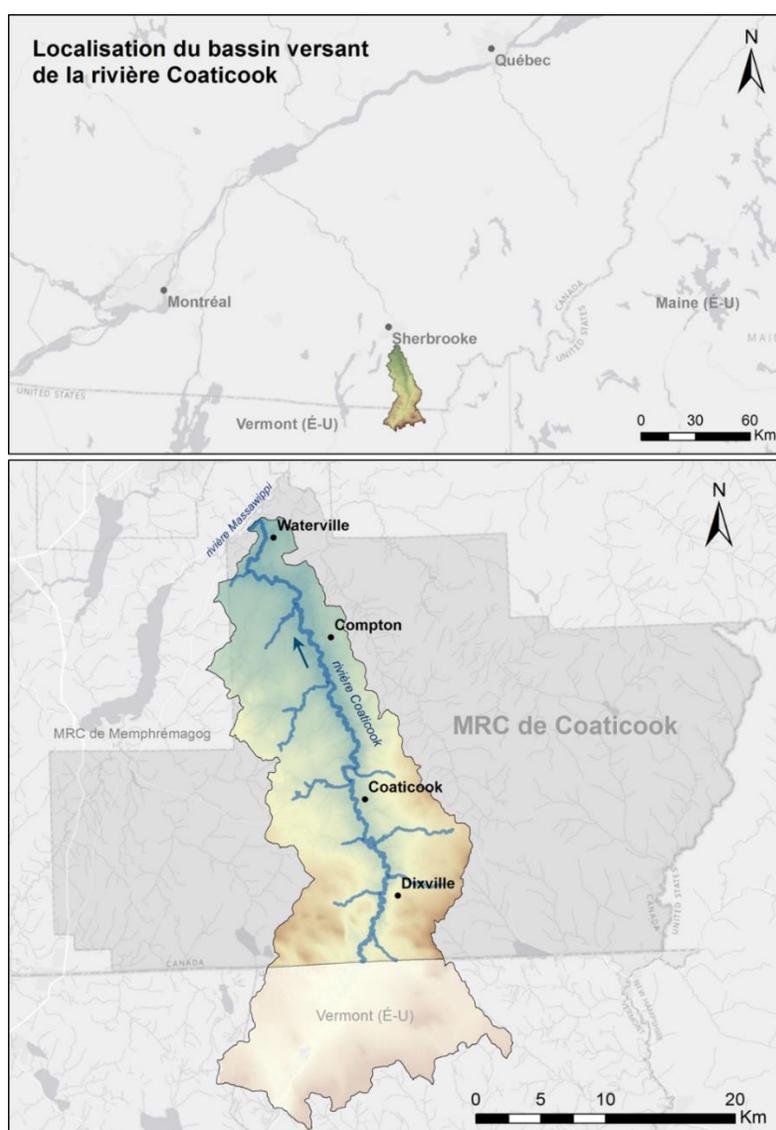


Figure 2. Localisation du bassin versant de la rivière Coaticook.

1.2 Hydrologie

1.2.1 Les inondations : un phénomène récurrent

Les inondations dans la vallée de la rivière Coaticook sont des événements récurrents et plusieurs crues marquantes ont causé des dégâts considérables aux infrastructures et aux bâtiments riverains (figure 3).

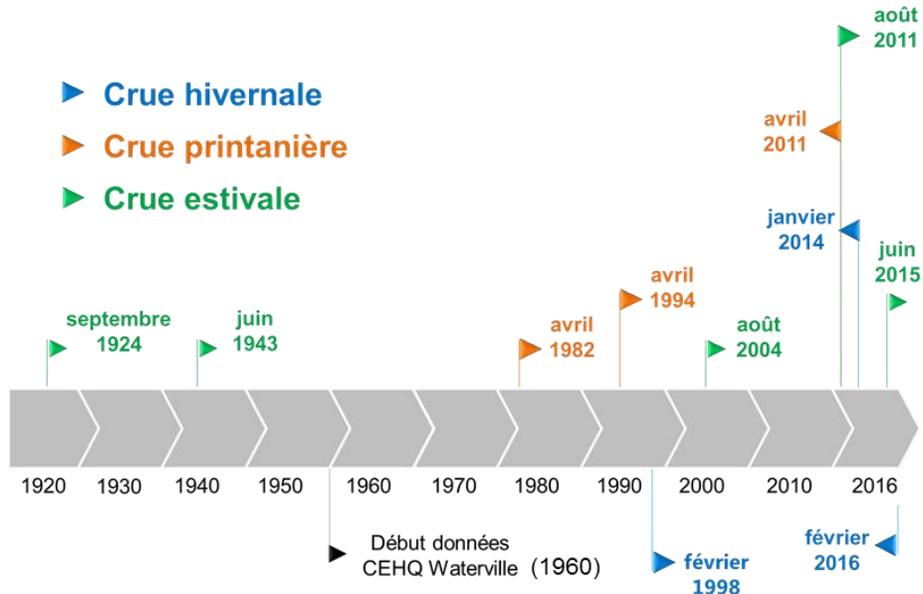


Figure 3. Principaux événements de crue hivernaux, printanniaux et estivaux dans le bassin versant de la rivière Coaticook.

Les inondations hivernales sont souvent causées par une augmentation subite du débit provoquée par un redoux des températures combiné à de la pluie. La fragmentation du couvert de glace et la dérive des blocs glaciels peut engendrer la formation d'embâcles à des endroits où la morphologie de la rivière ou la présence d'infrastructures limitent le transit des glaces. Les embâcles de glace ont pour effet d'obstruer l'écoulement et de surélever le niveau de l'eau vers l'amont. Des dommages peuvent être causés par l'accumulation ou le frottement de blocs de glace contre des infrastructures. Par exemple, l'inondation de janvier 2014 dans le centre-ville de Coaticook a été engendrée par le gonflement rapide du ruisseau Pratt en raison d'une pluie de 23,8 mm en quelques heures. La fonte rapide du manteau neigeux et le fractionnement du couvert de glace ont engendré un embâcle contre le pont de la rue Child provoquant le débordement du ruisseau.

Les inondations printanières sont principalement conditionnées par la fonte du couvert de neige dans le bassin versant. La sévérité des inondations printanières dépend de l'épaisseur du couvert neigeux et de la rapidité à laquelle s'opère la fonte. Par exemple, la crue historique d'avril 2011 s'explique par une quantité de neige exceptionnelle accumulée dans les montagnes appalachiennes, par une hausse subite des températures à la mi-avril et par une succession de systèmes dépressionnaires ayant déchargés plus de 230 mm de pluie de la mi-avril à la mi-mai, ce qui équivaut au double des précipitations normalement enregistrées pour cette période. Les inondations printanières peuvent aussi être qualifiées

d'inondation en eau libre, c'est-à-dire sans embâcles de glace et sans processus torrentiels associés à une mobilisation extrême de sédiments et de débris.

Les inondations estivales sont généralement causées par des événements de pluie subits et très intenses. Par exemple, la crue du 10 juin 2015 a été provoquée par une cellule orageuse localisée sur la vallée de Coaticook qui a déversée 94 mm de pluie en trois jours sur la région dont 76 mm en quelques heures (figure 4). Au cours de cet événement, les dommages ont été rapportés principalement aux abords des tributaires bordant la vallée, tandis que la rivière Coaticook n'a pratiquement pas débordée de son lit. En raison de leur forte pente, ces tributaires répondent très rapidement aux pluies torrentielles. Lors de l'épisode de pluie du juin 2015, la réponse hydrologique de plusieurs petits bassins versants a provoqué des dommages matériels à plusieurs propriétés situées en périphérie de la vallée. Ces dommages sont liés au charriage de quantité parfois impressionnante de boue ou de graviers qui s'accumule à l'embouchure des tributaires sur des cônes alluviaux.

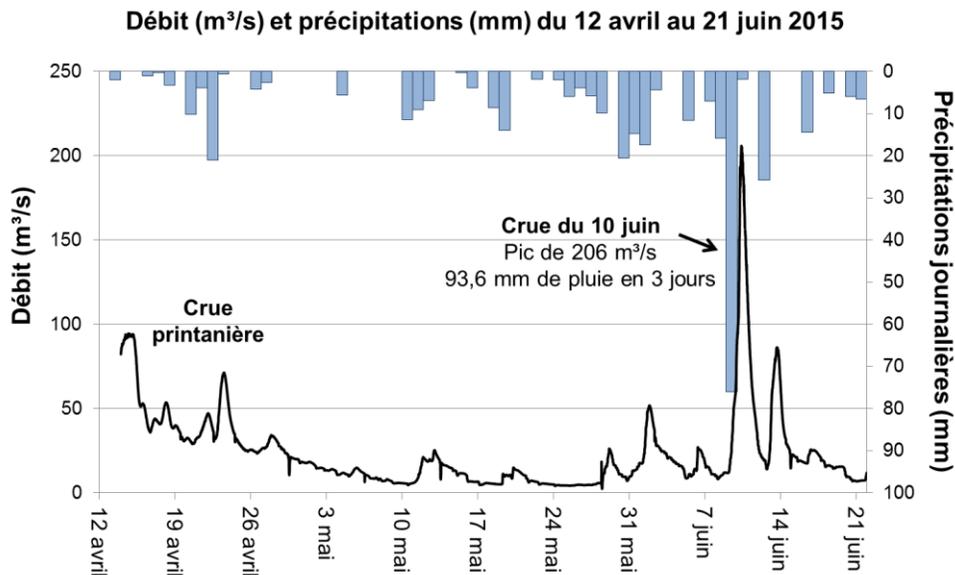


Figure 4. Précipitations et réponse hydrologique à d'avril à juin 2015.

1.2.2 Les tendances hydrologiques passées et futures

Les tendances hydrologiques historiques sont illustrées par la comparaison des débits maximums et minimums moyens entre les périodes 1960-1982 et 1983-2015 (figure 5). Les trois tendances suivantes sont clairement perceptibles :

- ✓ Augmentation des débits maximums moyens pendant l'hiver;
- ✓ Augmentation des débits maximums moyens pendant l'été et l'automne;
- ✓ Diminution des débits minimums moyens (étiage) au printemps, en été et en automne.

L'augmentation de l'hydraulicité de la rivière Coaticook durant la saison hivernale s'explique probablement en raison du réchauffement des températures et de l'augmentation des précipitations sous

forme liquide. La hausse du débit estival et automnal s'explique en partie par des systèmes dépressionnaires plus fréquents, dont plusieurs sont induits par la remontée des tempêtes tropicales en provenance du sud des États-Unis apportant des quantités de précipitations substantielles et rapides. La sévérité des débits d'étiage s'explique possiblement par le drainage des terres et la perte des milieux humides. Aucun changement n'est observé pour les débits maximums printaniers.

L'Atlas hydroclimatique du Québec méridional (MDDELCC, 2015) fait état des impacts appréhendés des changements climatiques sur les régimes de crue, d'étiage et d'hydraulicité à l'horizon 2050. Pour l'ensemble des rivières de l'Estrie, il est prévu que les tendances observées quant à l'augmentation du débit moyen et des pointes de crues en hiver, en été et à l'automne seront renforcées avec les changements climatiques. La tendance à la diminution des débits minimaux en été sera aussi amplifiée d'ici 2050 et on peut s'attendre à des étiages plus sévères pour l'ensemble des rivières du Québec.

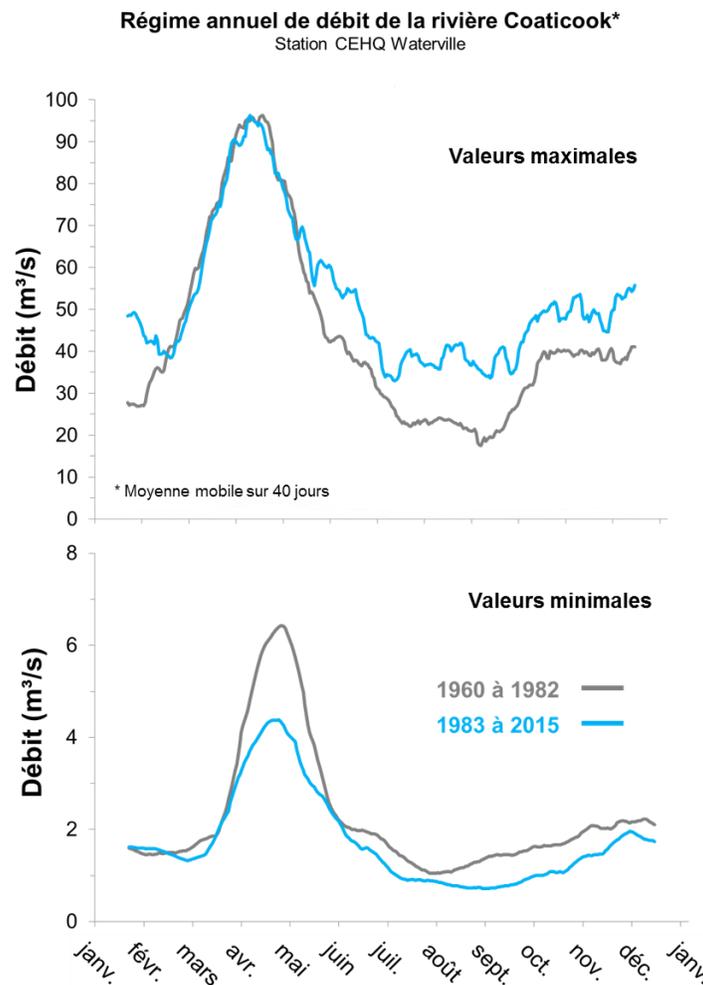


Figure 5. Comparaison du régime des débits annuels entre les périodes 1960-1982 et 1983-2015.

En résumé, la fréquence et la sévérité des événements hydrologiques extrêmes, tant les inondations que les étiages, sont en croissance. L'augmentation du débit hivernal et des épisodes de redoux favorise notamment le fractionnement du couvert de glace et la formation d'embâcles. Il est aussi attendu que les

événements de pluie torrentielle affectant particulièrement les petits cours d'eau à forte pente, à l'image de la crue de juin 2015, surviennent plus fréquemment. Toutefois, on peut présager que la sévérité des inondations printanières sera moindre avec les changements climatiques en raison de la diminution de l'épaisseur et de l'étendue du couvert de neige dans les montagnes appalachiennes.

1.3 Portrait hydrogéomorphologique et diagnostic des aléas en rivières

1.3.1 Portrait hydrogéomorphologique

Depuis la frontière canadienne jusqu'à son embouchure, la rivière traverse trois tronçons alluviaux séparés par des gorges encaissées (figure 6). Un tronçon alluvial est caractérisé par un cours d'eau capable d'éroder des sédiments et de se déplacer dans la vallée, contrairement à un secteur de gorges où le cours d'eau est contraint par la roche en place. Aussi, les gorges rocheuses ont pour effet de fixer localement l'élévation du cours d'eau et donc la pente du chenal. Les gorges sont localisées à proximité des noyaux urbains de Dixville, de Coaticook et de Waterville (figure 7).



Figure 6. La vallée de la rivière Coaticook est caractérisée par une alternance de tronçons alluviaux (a) et de gorges rocheuses (b).

Chaque tronçon alluvial est principalement caractérisé par un style fluvial à méandres semi-alluvial, c'est-à-dire que la rivière bute périodiquement sur les parois de la vallée. Ce style fluvial est caractéristique d'une érosion des berges et une translation des méandres dans l'axe de la vallée. Aussi, chaque tronçon alluvial aboutit à une zone de sédimentation provoquée par le confinement à l'endroit des gorges encaissées. Une zone de sédimentation est caractérisée par un dynamisme accru de par la quantité des sédiments qui s'y déposent. En raison de l'interruption partielle ou totale de la charge sédimentaire à ces endroits, chaque tronçon alluvial peut donc être considéré comme une unité spatiale quasi-indépendante les unes des autres.

Pour simplifier, le cours d'eau peut être séparé en cinq segments quasi-homogènes du point de vue de la dynamique (figure 7). L'analyse de la vitesse de déplacement du cours d'eau dans le temps indique que le segment 4, située dans la municipalité de Compton, est particulièrement dynamique. L'érosion des berges est, en moyenne, de 1.7 m/année, c'est-à-dire plus de deux fois la moyenne globale de 0.8 m/année. Ce dynamisme est expliqué par une vallée plus large. Le gain d'espace permet un stockage des sédiments et une migration latérale du cours d'eau. Le stockage de sédiments est marqué par la présence de bancs sédimentaires centraux et une plus grande sinuosité. Il y a un tri rapide dans la taille des sédiments transportés par le cours d'eau (d'une dominance de graviers à une dominance en sable). Enfin, il y a aussi une diminution progressive de la puissance spécifique du cours d'eau ($<25-35 \text{ W/m}^2$). Ce seuil de puissance spécifique est d'ailleurs indicatif d'une dynamique propice au dépôt sédimentaire (Brookes, 1987). Ces observations suggèrent que le segment 4 est une zone dynamique propice à l'aggradation sédimentaire (exhaussement vertical en raison de l'accumulation en sédiments) et un secteur difficile à maîtriser par des infrastructures de protection.

CARTOGRAPHIE DES ALÉAS FLUVIAUX DE LA RIVIÈRE COATICOOK

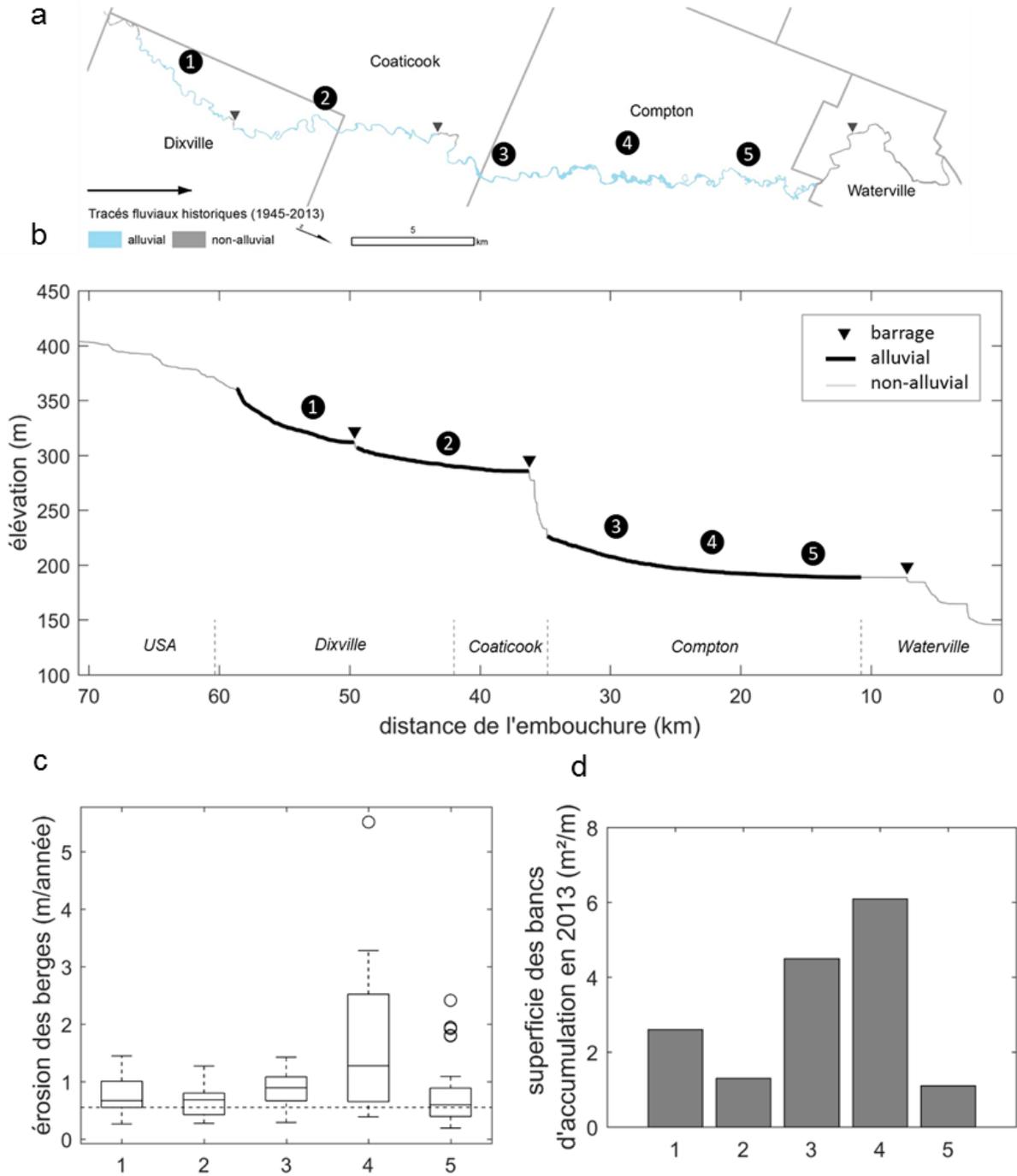


Figure 7. Segmentation hydrogéomorphologique en cinq tronçons homogènes. a) localisation géographique; b) localisation sur le profil en long; c) érosion des berges pendant la période 2009-2013; et ; d- superficie des bancs d'accumulation en 2013.

1.3.2 Impacts des enrochements

Pour limiter le recul des berges et protéger les terres en culture, les propriétaires riverains font beaucoup d'efforts pour empêcher l'érosion des berges et la migration du cours d'eau, principalement en disposant de gros blocs le long des berges (figure 8-a). Une analyse des photos aériennes de 2013 montre que la proportion des berges enrochées le long de la rivière Coaticook pour les segments 3 et 4 est particulièrement élevée (14 et 22%, respectivement) (figure 8-b).

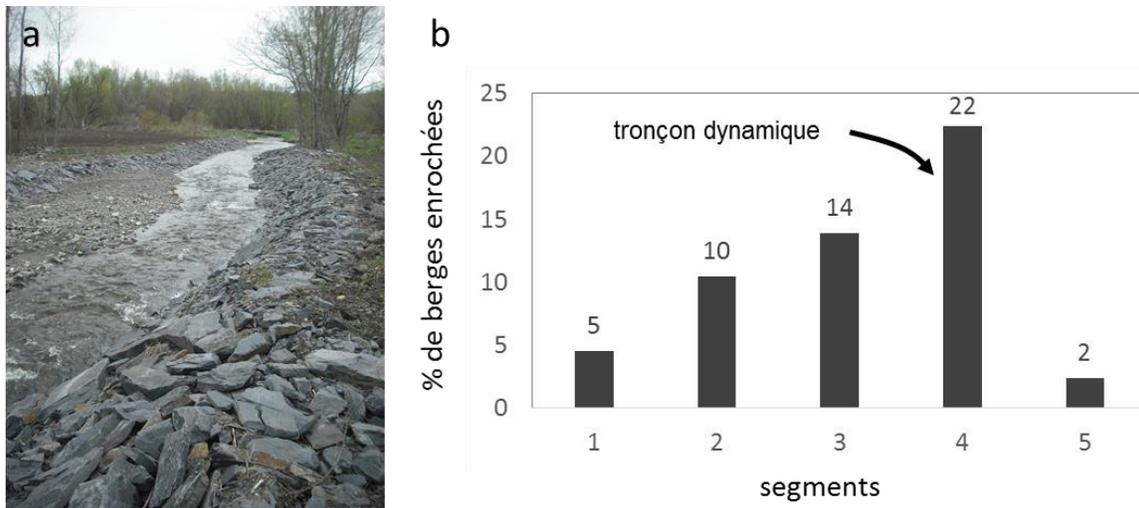


Figure 8. a) Exemple d'enrochement sur le ruisseau Vaillancourt et; b) pourcentage des berges enrochées par segment en 2013.

De façon générale, l'impact des enrochements sur la dynamique et les habitats fluviaux sont nombreux (Reid et Church, 2015). En empêchant l'érosion des berges, les enrochements limitent les apports en sédiments au chenal, ce qui conduit à l'érosion des sédiments sur le lit puis éventuellement au surcreusement de la rivière (processus d'incision). Immédiatement en aval d'un ouvrage de stabilisation, l'accélération locale des vitesses peut provoquer une érosion accrue. Ainsi, la protection d'une berge par un propriétaire en amont peut accentuer la perte de terrain chez son voisin en aval. Aussi, le matériel rocheux disposé au pied de la berge peut restreindre l'aire de la section transversale, rehausser localement la hauteur d'eau et accentuer ainsi les débordements. La lutte contre l'érosion entraîne aussi une réduction des apports en bois mort dans le cours d'eau. La présence de bois mort fournit des habitats diversifiés par la création d'abris, de fosses et de zones d'écoulement plus lentes. Le bois mort est aussi reconnu pour son rôle d'atténuation des crues, de rétention des sédiments et de protection contre l'érosion des berges.

Dans le cas plus spécifique de la zone de sédimentation située dans la municipalité de Compton (segment 4), le contrôle de l'érosion des berges par des enrochements limite la capacité à stocker les sédiments dans la plaine alluviale et accentue la problématique des inondations et la probabilité d'une avulsion (Raven et al, 2010). Aussi, la durabilité des infrastructures est compromise par l'aggradation du lit. À long terme, ce type d'intervention peut entraîner une spirale de coûts financiers pour l'entretien des infrastructures et le dragage des sédiments dans le cours d'eau.

1.3.3 Impacts de la linéarisation et du remblaiement des milieux humides

L'analyse de l'imagerie aérienne de 1945 à aujourd'hui montre que la rivière Coaticook a été profondément modifiée par les interventions anthropiques et les pratiques agricoles dans les dernières décennies. La sinuosité du cours d'eau a été drastiquement réduite par la linéarisation (figure 9). De grandes superficies autrefois occupées par des milieux humides ont aussi été remblayées afin d'accroître les terres en culture. La perte de sinuosité concerne surtout le segment 5 alors que la perte de milieux humides concerne particulièrement les segments 4 et 5 (figure 10). Une perte importante de milieux humides est aussi observée dans le périmètre urbain de la Ville de Coaticook à l'embouchure du ruisseau Pratt (figure 11). Depuis 1945, environ 5 hectares de zones humides ont été remblayées au fil de l'expansion de la zone commerciale.



Figure 9. Linéarisation et perte de milieux humides entre 1945 et 2013 dans le secteur de Compton.

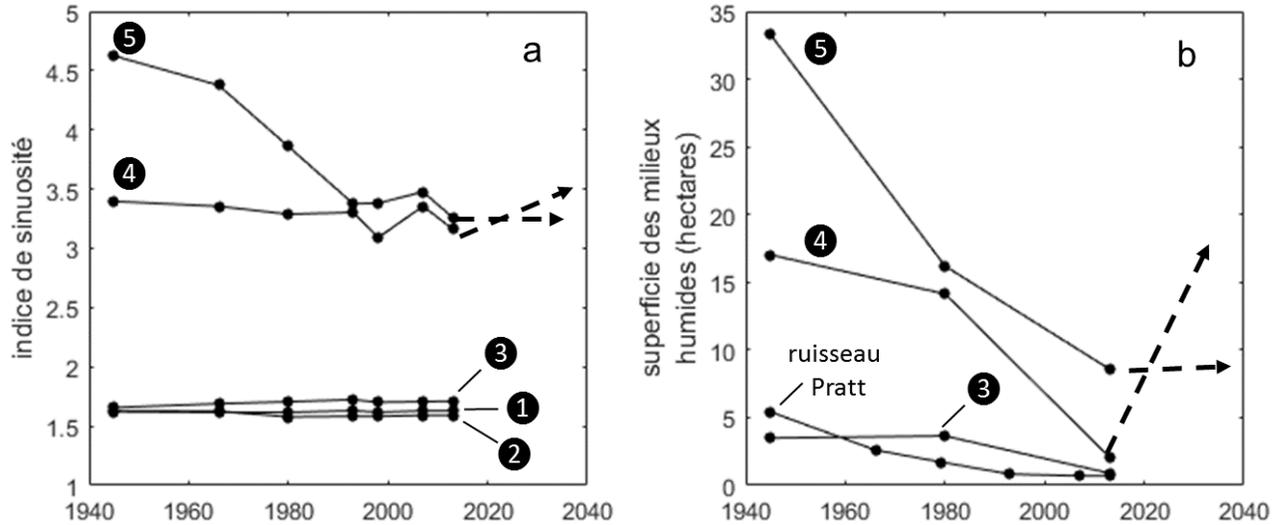


Figure 10. Évolution dans le temps de l'indice de sinuosité (a) et de la superficie des milieux humides (b) selon les segments. Le trait pointillé est une projection des tendances futures dans le cas d'un scénario où les interventions dans le cours d'eau sont abandonnées (absence d'enrochements).

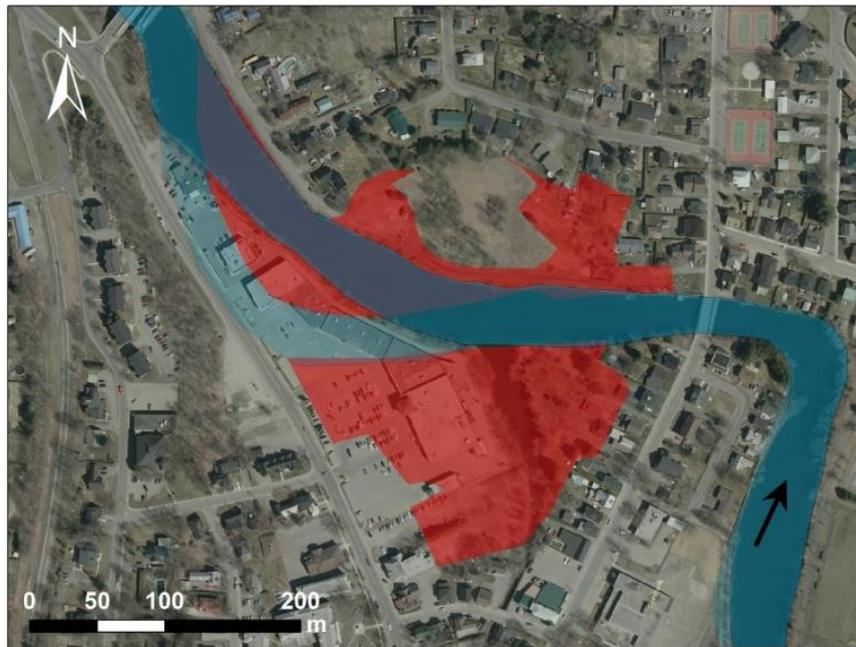


Figure 11. Perte de zones humides à l'embouchure du ruisseau Pratt entre 1945 et 2013 (en rouge).

Lors des crues, les milieux humides stockent l'eau et agissent ainsi de bassins de rétention naturels, tandis qu'en période estivale, une partie du volume d'eau stocké est transférée à la rivière et permet d'atténuer la sévérité de l'étiage. Le remblaiement des milieux humides riverains a certainement eu un impact sur la vitesse du drainage des terres agricoles de la vallée et le régime hydrologique du cours d'eau. C'est aussi une perte nette de superficies à grande valeur écologique.

Advenant l'adoption d'une politique visant à limiter les enrochements dans le cours d'eau (par exemple, selon un mode de gestion par espace de liberté), le renouvellement des milieux humides est susceptible de s'opérer à des rythmes différents selon les segments. Le segment 4 étant plus dynamique, l'érosion des berges et le recouplement des méandres permettrait de créer de nouveaux milieux humides relativement rapidement. En comparaison, le segment 5 est moins résilient; sa capacité à recréer de nouveaux milieux humides est limitée. Sans initiatives de restauration proactive, le retour des milieux humides pourrait s'échelonner sur une très longue période de temps (plus de cinquante ans et probablement plus de 100 ans).

1.3.4 Impacts de l'utilisation du sol sur la réponse hydro-sédimentaire des petits bassins versants

Lors de l'épisode de pluie torrentielle de juin 2015, la réponse hydrologique de plusieurs petits bassins versants a provoqué des dommages matériels à plusieurs propriétés situées en périphérie de la vallée (figure 12). De nombreux dommages ont été causés par le charriage d'une quantité parfois impressionnante de boue ou de graviers sur des cônes alluviaux, formes construites par l'accumulation de sédiments transportés par les petits cours d'eau.



Figure 12 : Exemple de dégâts occasionnés par le charriage de sédiments lors des pluies torrentielles de juin 2015 (source : MRC de Coaticook).

La réponse hydrologique de ces sous-bassins est déterminée par une combinaison de facteurs naturels et anthropiques. Selon les analyses hydrologiques, les épisodes de crues torrentielles sont de plus en plus fréquents et susceptibles de s'accroître encore davantage dans le futur en raison des changements climatiques (CEHQ, 2015). La réponse hydrologique et sédimentaire des petits cours d'eau est particulièrement sensible aux aménagements dans le bassin versant. La perturbation du régime hydrologique peut aussi entraîner l'incision des cours d'eau. L'incision est associée à une mobilisation excessive des sédiments du lit, provoquant une déstabilisation des berges et une accentuation de la charge sédimentaire en transit dans le cours d'eau. L'incision peut être rapide et alimenter le transfert des sédiments jusqu'à des zones occupées par des infrastructures en aval.

Lors des pluies torrentielles de juin 2015, la présence de fossés de drainage sur des sols à fortes pentes ont pu amplifier la réponse hydrologique et sédimentaire des sous-bassins et ainsi contribuer à provoquer des dommages aux bâtiments situés sur les cônes alluviaux.

Les sous-bassins dont l'exutoire se situe sur des cônes alluviaux occupés par des habitations permanentes sont identifiés à la figure 13. Pour ces sous-bassins en particulier, il est essentiel d'éviter les pratiques accentuant le ruissellement de surface (drainage et déforestation) et, en parallèle, faire la promotion de pratiques favorisant l'infiltration des eaux pluviales (voir le guide de gestion des eaux pluviales de Rivard et al., 2011). Plusieurs recommandations sont présentées en ce sens à la section **3.2.3.**

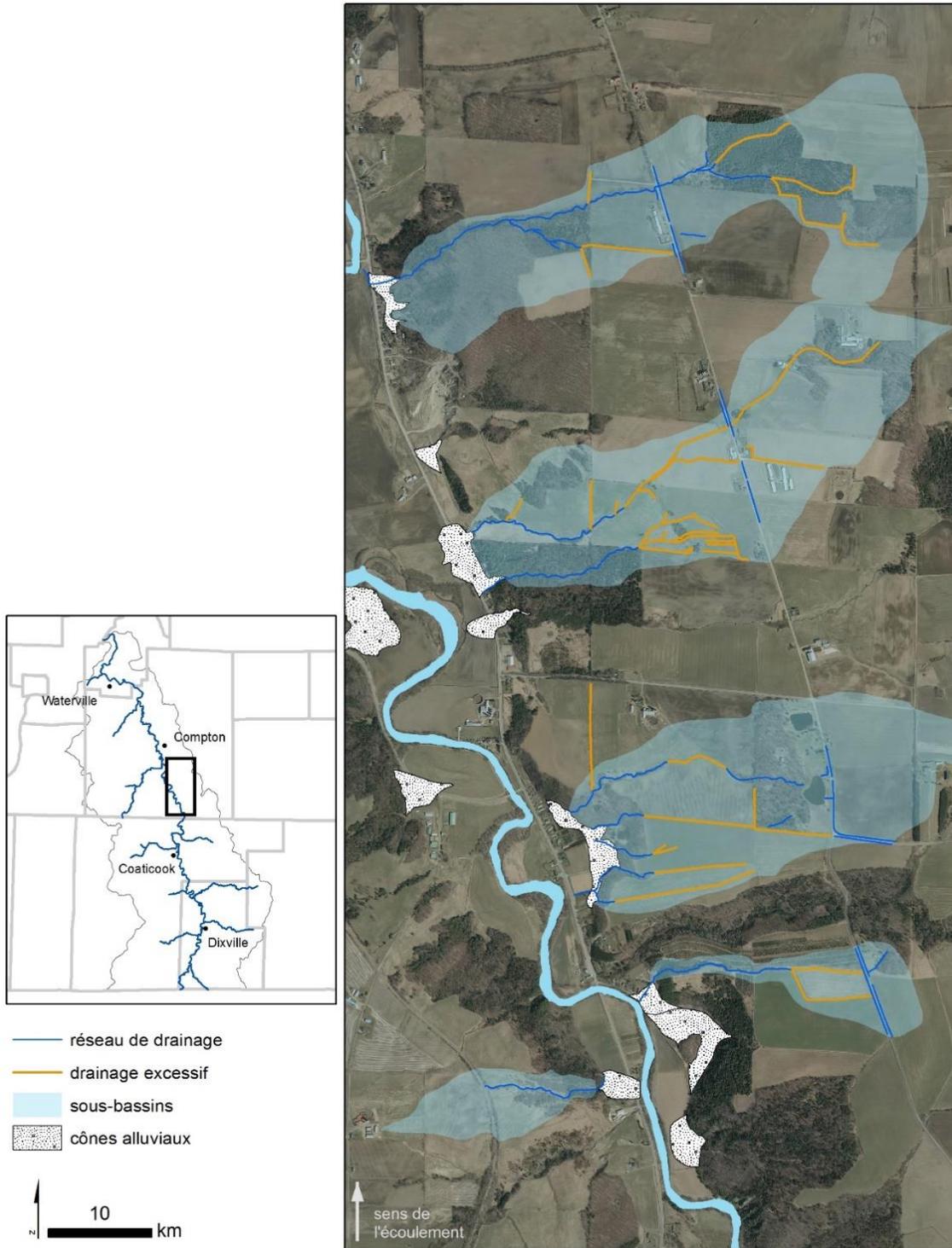


Figure 13 : Localisation des sous-bassins dont l'exutoire est un cône alluvial occupé par des habitations permanentes. Les cours d'eau linéarisés et les fossés de drainage agricoles sont indiqués en orange.

2 Méthodologie pour la cartographie des aléas fluviaux

2.1 La représentation cartographique des aléas fluviaux

La cartographie des aléas fluviaux et des processus hydrogéomorphologiques peut contribuer à plusieurs niveaux, soit celui d'identifier les zones de contraintes à l'occupation du territoire dans le schéma d'aménagement, d'apporter une information utile pour la planification des mesures d'urgence et, plus globalement, d'assurer une gestion cohérente des espaces fluviaux. La pertinence de l'information devant être représentée est spécifique à chacune de ces fonctions. Dans le cadre de ce projet, l'objectif est de valoriser la connaissance en hydrogéomorphologie pour l'ensemble de ces fonctions. Par conséquent, les cartes affichent possiblement plus d'information que celles requises pour certains usages, notamment pour l'application des exigences minimales spécifiées par la PPRLPI, laquelle se réduit en définitive à deux zones réglementaires - grands courants (GC) et faibles courants (FC).

La figure 14 présente une classification de trois types de processus et d'aléas présentés par la cartographie : 1) les processus d'inondation à l'eau libre, par embâcles ou torrentielles; 2) les espaces associés à la mobilité du cours d'eau et 3) l'équilibre géomorphologique. Ceux-ci sont décrits et expliqués plus amplement à la section 3.1.

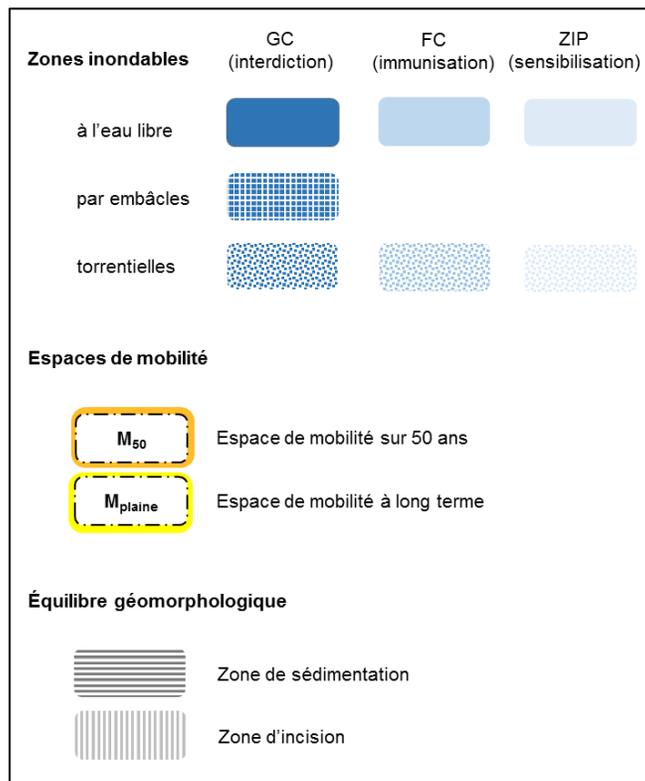


Figure 14. Représentation cartographique des processus hydrogéomorphologiques. Les acronymes et les termes employés sont expliqués plus amplement à la section 3.1.

2.2 Cours d'eau ciblés par l'étude

Cette section présente les méthodes pour parvenir à la cartographie des aléas fluviaux de la vallée de la rivière Coaticook. Les bases théoriques et méthodologiques sont décrites plus en détails dans le document : « La représentation cartographique des processus hydrogéomorphologiques : cinq initiatives pour une meilleure gestion des aléas fluviaux au Québec » (Demers et al., 2017).

Les cours d'eau visés par la cartographie incluent le tronçon principal de la rivière Coaticook ainsi que plusieurs de ses principaux affluents (figure 15). Au total, la cartographie couvre 114 km de cours d'eau : 60 km pour le tronçon principal et 54 km pour les affluents.

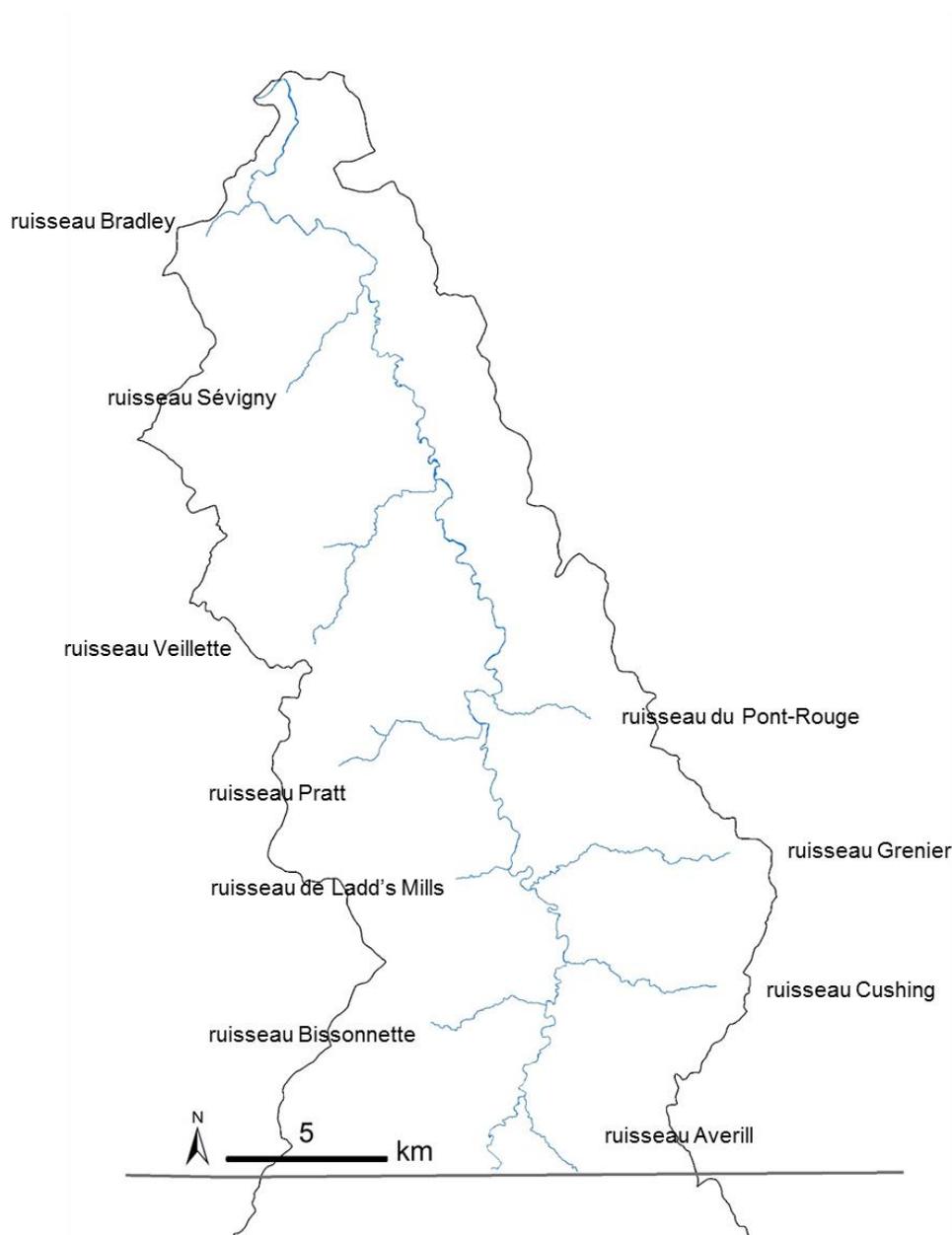


Figure 15. Cours d'eau visés par la cartographie des aléas fluviaux.

2.3 Cartographie des zones inondables

La cartographie des zones inondables combine trois approches méthodologiques : hydraulique, historique et hydrogéomorphologique. La figure 16 spatialise les sources d'information ayant contribué à la cartographie des zones inondables.

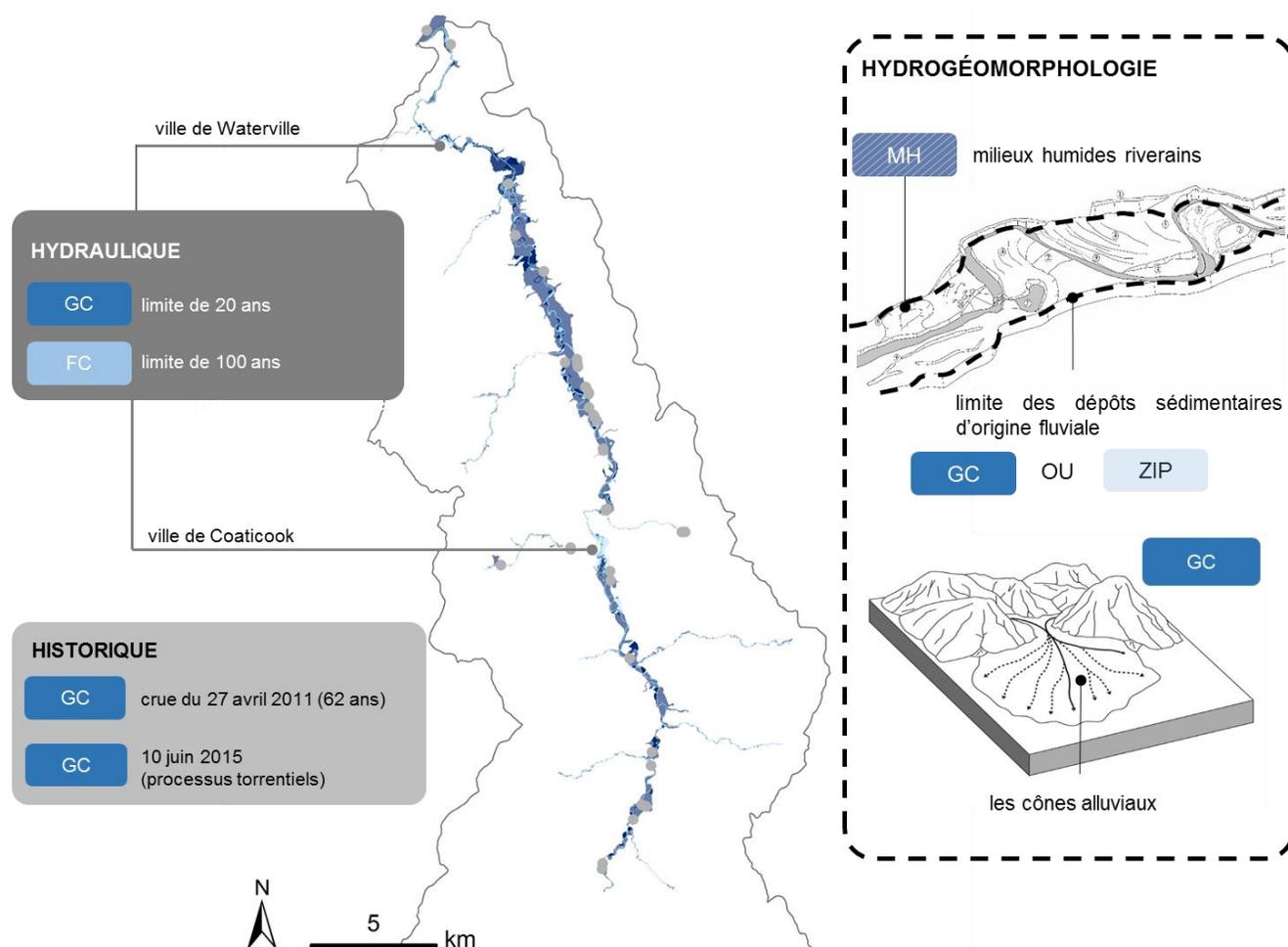


Figure 16. Spatialisation des approches méthodologiques pour la cartographie des aléas fluviaux. GC = grand courant; FC = faible courant; ZIP = zone d'inondabilité potentielle; MH = milieux humides.

2.3.1 Approche hydraulique

La cartographie des zones inondables reprend les cotes de crues de 20 et de 100 ans telles que définies par une approche hydraulique pour les secteurs urbains de **Coaticook** et de **Waterville**.

Pour le secteur urbain de **Coaticook**, les cotes de crues de 20 et de 100 ans ont été calculées à partir d'une modélisation hydraulique (CEHQ, 2008). Les cotes de crue n'ont pas été redéfinies dans le cadre

de ce projet. Mais, la délimitation spatiale des zones inondables a été revue par l'utilisation d'un modèle numérique d'élévation à haute résolution généré à partir du LiDAR de 2015 (1m x 1m). Une procédure automatisée de simplification des zones inondables a aussi été appliquée pour diminuer la fragmentation spatiale (Demers et al., 2017).

En raison du refoulement par le barrage Saint-Paul et de par sa localisation en amont d'une zone de confinement (la gorge), ce secteur présente des caractéristiques propices au dépôt des sédiments. Le rehaussement du niveau du lit pourrait avoir un impact sur l'élévation des cotes de crues de 20 et de 100 ans. Par contre, la charge sédimentaire apportée à ce secteur de la rivière Coaticook apparaît plutôt limitée. Cela s'explique en partie par un bris de la connectivité sédimentaire au niveau du barrage de Dixville, limitant les apports sédimentaires en provenance d'une partie du bassin versant. Il serait avisé de faire un suivi périodique du niveau du lit pour s'assurer que les cotes de crues de 20 et de 100 ans sont toujours valides. Dans le cas contraire, il faudrait procéder à une mise à jour de la cartographie.

Dans le cas du secteur urbain de **Waterville**, les cotes de crues de 20 et de 100 ans ont été définies par une modélisation de type niveau-débit (données fournies par la MRC de Coaticook). Deux relations niveau-débits ont été établies, l'une située en amont du barrage et l'autre en aval du barrage. Les hauteurs d'eau ont ensuite été déduites à d'autres stations par des relations niveau-niveau. Au total, les cotes de crues ont été estimées à 7 stations (figure 17).

Les cotes de crues de 20 et de 100 pour le secteur de Waterville n'ont pas été recalculées dans le cadre de ce projet. Par contre, il serait avisé de faire vérifier la procédure méthodologique par des experts en modélisation hydraulique. L'extrapolation des niveaux d'eau pour des débits de récurrence 20 et 100 ans à partir d'une modélisation statistique peut entraîner une surestimation des niveaux d'eau. Cela s'explique entre autres parce que la rugosité effective dans le chenal est moins élevée pour des débits de crues par rapport aux débits ayant servi à produire le modèle statistique. En particulier, les cotes de crues définies en amont du barrage de Waterville sont particulièrement élevées (190,22 m pour la cote de crue de récurrence 20 ans) par rapport à la cote d'exploitation normale du barrage (188,6-188,9 m) et des maximums historiques enregistrés à cet endroit (190.11 m).

Les limites spatiales correspondant aux cotes de crues ont été définies à partir des données LiDAR de 2015. Les surfaces inondées ont été déduites à partir de sections transversales localisées à chaque station où une cote est calculée (figure 17). Pour obtenir une meilleure résolution spatiale, certaines sections transversales ont été ajoutées par une interpolation linéaire des cotes de crues connues. Les cotes de crues interpolées sont présentées au tableau 1. La procédure automatisée de simplification des zones inondables a aussi été appliquée pour limiter la fragmentation spatiale excessive.



Figure 17. Localisation des sections transversales pour la cartographie des zones de grands et de faibles courants dans la Ville de Waterville.

Tableau 1. Cotes de crues de 20 et de 100 ans par sections transversales

Stations	Type de données	Cote de crue de 20 ans	Cote de crue de 100 ans
S1	niveau-débit	186.65	186.88
S2	niveau-niveau	186.69	186.92
S2-1	interpolation	186.81	187.06
S3	niveau-niveau	186.95	187.21
S4 (en bas du barrage)	niveau-niveau	190.35	190.71
S4 (en haut du barrage)	niveau-débit	190.55	190.94
S4-1	interpolation	190.72	191.14
S4-2	interpolation	187.91	188.17
S4-3	interpolation	190.22	190.55
S5	niveau-niveau	190.85	191.3
S6	niveau-niveau	190.93	191.39

2.3.2 Approche historique

Les connaissances locales ont été exploitées pour préciser certaines limites d'inondation. En particulier, deux événements de crue récents ont marqué la mémoire des riverains et des gestionnaires locaux : la crue du 27 avril 2011, dont la récurrence est estimée approximativement à 62 ans, et la crue du 10 juin 2015, associée à l'activation de plusieurs petits affluents en périphérie de la vallée.

Lors d'une campagne de terrain à l'été 2015, plus de 40 riverains ont été rencontrés pour colliger l'information sur les limites d'inondation et sur les processus en cause (inondation à l'eau libre, processus torrentiels, présence de sédiments et de débris ligneux). Le territoire a également été parcouru en compagnie des inspecteurs municipaux de Waterville (Allen Desrosiers) et de Dixville (Thomas Lepitre). Enfin, les archives photographiques de la MRC ont aussi permis de préciser les lieux où des dommages sont survenus aux infrastructures.

L'information historique a souvent permis de statuer sur le caractère actif de certains cônes alluviaux situés en périphérie de la vallée lors des fortes pluies du 10 juin 2015. C'est la prise en compte de ce type de processus qui a conduit aux principales modifications par rapport à la cartographie des zones inondables précédente.

2.3.3 Approche hydrogéomorphologique

Principes de base

L'approche hydrogéomorphologique pour la définition des zones inondables est basée sur la cartographie des formes d'origine fluviale dans la vallée. C'est donc une approche de cartographie indirecte où la présence de vestiges sédimentaires est indicative d'un agent de transport – l'eau – ayant apporté les sédiments et édifié les formes observées sur le terrain. Les formes d'origine fluviale sont donc des témoins silencieux de l'action des inondations.

Puisque cette approche ne précise pas de cotes de crues rattachées à une récurrence donnée, toutes les infrastructures (résidences principales ou bâtiments commerciaux et industriels) sont exemptées de la zone inondable de grand courant, à moins qu'elles aient été inondées dans un passé connu. C'est donc une approche de cartographie préventive (plus spécifiquement, cela correspond à une stratégie de cartographie préventive avec exemptions, telle que définie dans Demers et al. (2017). Dans le cas où il y a une superposition avec les zones de grands et de faibles courants déjà définies par des cotes de crues, la cartographie hydrogéomorphologique sert plutôt à définir une zone d'inondabilité potentielle, représentant l'étendue maximale pouvant être atteinte par des crues en surface. Cela correspond à une stratégie de cartographie détaillée, telle que définie dans Demers et al. (2017).

La cartographie des zones de torrencialité est basée exclusivement sur la cartographie des cônes alluviaux. Les infrastructures situées dans les cônes alluviaux sont aussi exemptées de la zone de grand courant, à moins qu'elles aient été inondées dans un passé connu.

Vérification des prémisses

L'une des prémisses centrales à l'approche hydrogéomorphologique est la représentativité des formes géomorphologiques par rapport aux processus d'inondation actuels. L'âge de formation des formes sédimentaires reste souvent incertain et, par conséquent, la probabilité d'occurrence des inondations demeure indéterminée. Cette prémisse est plus ou moins applicable selon les environnements en fonction de l'équilibre passé et actuel du cours d'eau et le niveau d'altération par les facteurs anthropiques.

Selon la classification de Nanson et Croke (1992), la plaine alluviale est caractérisée par une topographie dominante de crêtes et de sillons (B3b). C'est une plaine combinant un stockage de sédiments grossiers par migration latérale et le stockage de sédiments fins par construction verticale lors d'épisodes de débordement. Ce type de cours d'eau présente généralement beaucoup de reliefs et présente donc un certain contraste au niveau de l'exposition face aux inondations. Toutefois, la plaine alluviale présente une morphologie parfois drastiquement simplifiée par les pratiques agricoles. Ces altérations ont pour conséquence de niveler le relief et homogénéiser les contrastes (figure 18-a). Aussi, le cours d'eau est parfois endigué, faisant ainsi obstacle à l'expansion de l'eau dans la plaine lors des crues. Ces digues sont toutefois discontinues et leur impact est probablement limité aux faibles crues relativement fréquentes. Dans le périmètre urbain de la Ville de Coaticook, la plaine alluviale est presque entièrement remblayée et les niveaux d'eau sont contrôlés par la présence du barrage. La représentativité des formes sédimentaires est donc plus qu'incertaine.

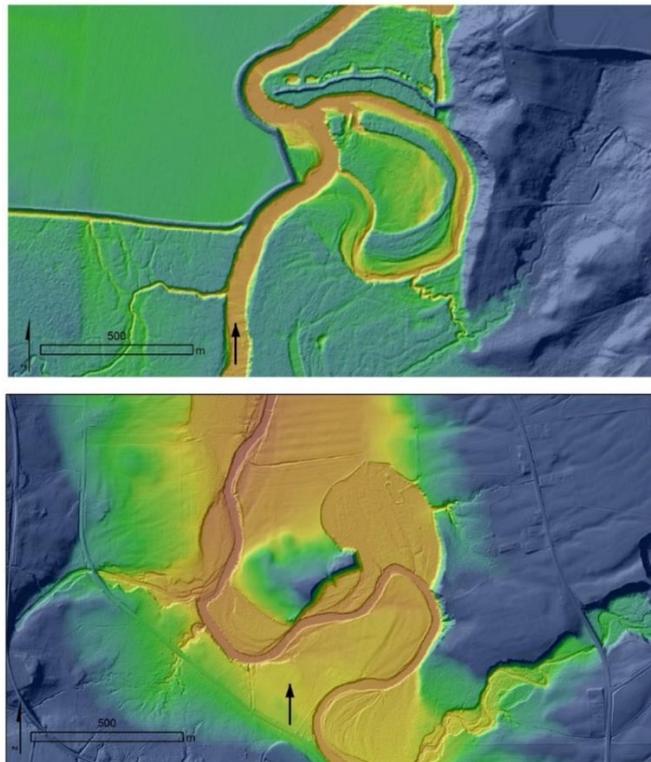


Figure 18. Éléments morphologiques dans la plaine alluviale de la rivière Coaticook (LiDAR, 2015) : contraste du relief entre les surfaces cultivées et non cultivées ainsi que la présence de digues en bordure du chenal (a); dépôt d'origine glaciaire isolé au centre de la plaine alluviale (b).

La plaine alluviale est confinée par des dépôts d'origine glaciaire (fluvio-glaciaires ou glacio-lacustres). Ces dépôts sont fortement disséqués par des tributaires chargés en sédiments. Ceux-ci déposent parfois les sédiments sous formes de cônes alluviaux. Il y a très peu de terrasses alluviales et celles-ci sont concentrées dans un seul secteur de la vallée où on retrouve également des dépôts d'origine glaciaire isolés à l'intérieur de la plaine alluviale (figure 18-b). Un autre secteur où la plaine alluviale n'est pas entièrement moderne se situe dans la municipalité de Dixville, aux alentours de la rue Howe. Dans ces deux secteurs, la cartographie peut représenter des limites d'inondations trop larges. Si nécessaire, les limites pourraient donc être révisées ultérieurement par une approche de cartographie hydraulique classique. Cette configuration semble indiquer que l'ajustement vertical du cours d'eau par incision est encore récent et peut-être encore actuel. De fait, depuis le retrait de la marge glaciaire, les cours d'eau sont généralement en incision et épuisent les sources sédimentaires situées à proximité du cours d'eau. Localement, l'incision est contrainte par un substrat rocheux ou par un pavage de blocs difficile à mobiliser. Dans ce cas, les échanges sédimentaires avec la plaine alluviale sont limités et il y a une certaine déconnexion avec le niveau de la plaine inondable. Ces lambeaux de plaines alluviales sont probablement touchés moins fréquemment et moins sévèrement par les crues. Autrement, il y a très peu d'ambiguïtés dans la différenciation entre les formes héritées et les formes qui sont « en équilibre avec le régime hydroclimatique actuel » (Nanson et Croke, 1992). L'absence de paléofformes est un facteur favorable à la cartographie hydrogéomorphologique : les dépôts ont été construits par des processus relativement récents et sont donc représentatifs des aléas actuels.

2.4 Cartographie des espaces de mobilité

Deux espaces de mobilité sont définis : M_{50}) l'espace exposé à un risque élevé d'érosion ou d'avulsion dans un horizon de 50 ans et M_{plaine}) l'espace qui sera à long terme occupé par la migration latérale de la rivière (Biron et al., 2014; Buffin-Bélanger et al., 2015).

M_{50} → Risque élevé d'érosion ou d'avulsion dans un horizon de 50 ans

L'identification de l'espace de mobilité à court terme (M_{50}) s'effectue par l'analyse de l'évolution temporelle du tracé fluvial (Piégay et al., 2005). La superposition de photographies aériennes historiques dans un système d'information géographique selon la méthode présentée par Downward et al. (1994) permet d'extraire les surfaces érodées entre différentes dates, le taux d'érosion, la direction du mouvement et la largeur du chenal actif.

Les photographies aériennes de 1945, 1966, 1980, 1993 et 1998 ainsi que les orthophotographies de 2001 et de 2013 ont pu être obtenues pour la région à l'étude. Les photographies aériennes ont été géoréférencées à partir des orthophotographies. Un minimum de 10 points de contrôle a été positionné pour chaque séquence et une moyenne quadratique (RMS) maximale de 5 m a été préconisée afin d'optimiser la précision du positionnement géographique. La superposition dans un système d'information géographique des sept séries d'images aériennes permet de visualiser l'évolution du tracé fluvial (figure 19). Pour chaque année disponible, la superficie couverte par le chenal actif au niveau plein-bord a été numérisée. Ensuite, les surfaces ont été chevauchées pour visualiser les zones en érosion et les zones en accumulation. Les taux annuels de migration latérale ont été obtenus à partir du

calcul des superficies érodées par unité de longueur. Enfin, le taux d'érosion moyen est projeté sur un horizon de 50 ans afin de représenter la position que pourrait occuper le cours d'eau si le taux d'érosion et la direction du déplacement se maintenaient dans le temps. L'analyse des relevés topographiques LiDAR à haute résolution permet d'intégrer dans la zone M_{50} les zones où des recouvrements de méandres sont en cours et les modèles d'érosion caractéristiques des tronçons dynamiques propices aux avulsions (figure 20).

La marge d'erreur liée au géoréférencement des photographies aériennes et à la numérisation des tracés historiques est d'environ 5 m. Pour les tronçons de rivière relativement stables où l'analyse des tracés historiques ne permet pas de confirmer ou d'infirmer le déplacement de la rivière, une marge de sécurité de 5 m correspondant à la marge d'erreur a été tracée à partir du haut du talus de la berge.

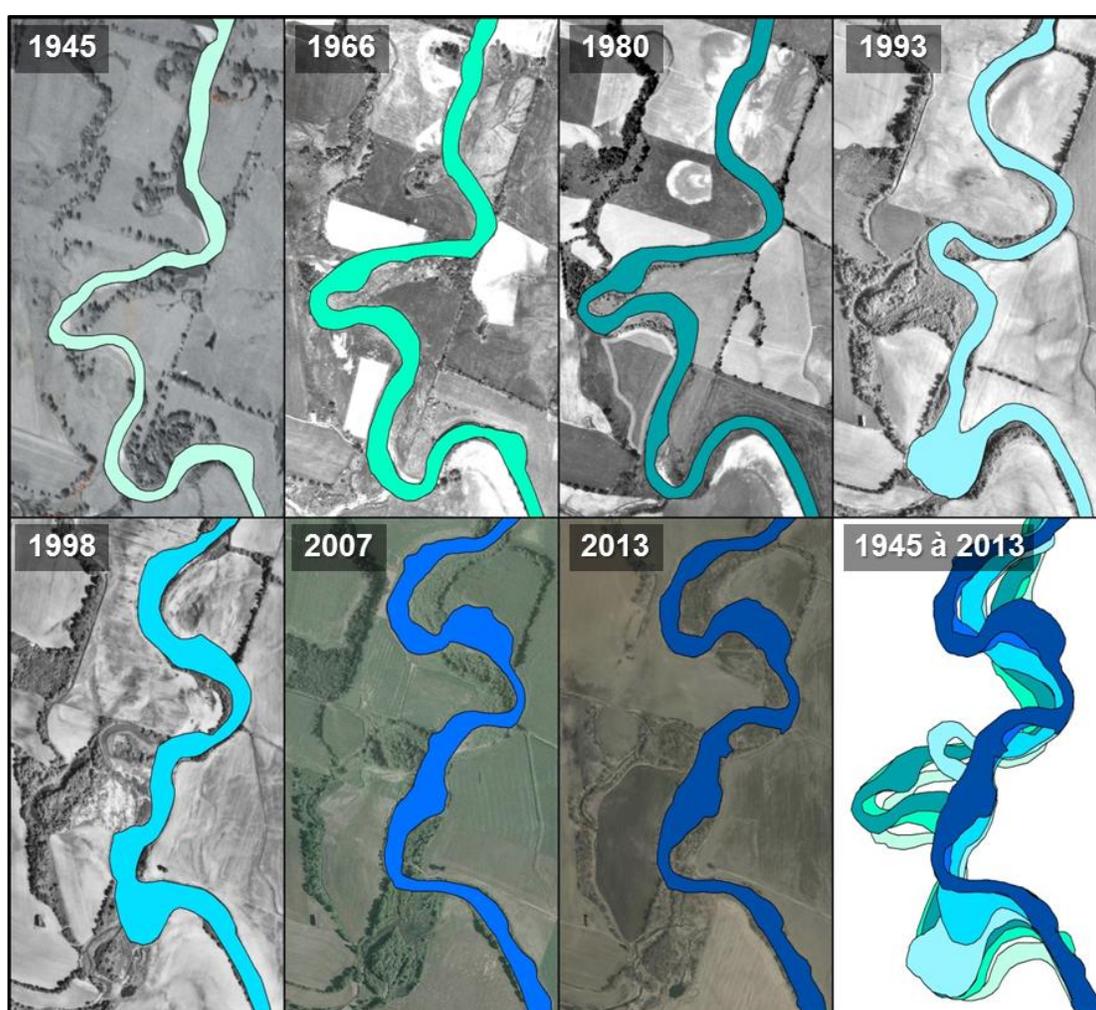


Figure 19. Migration latérale d'un tronçon de la rivière Coaticook entre 1945 et 2013.

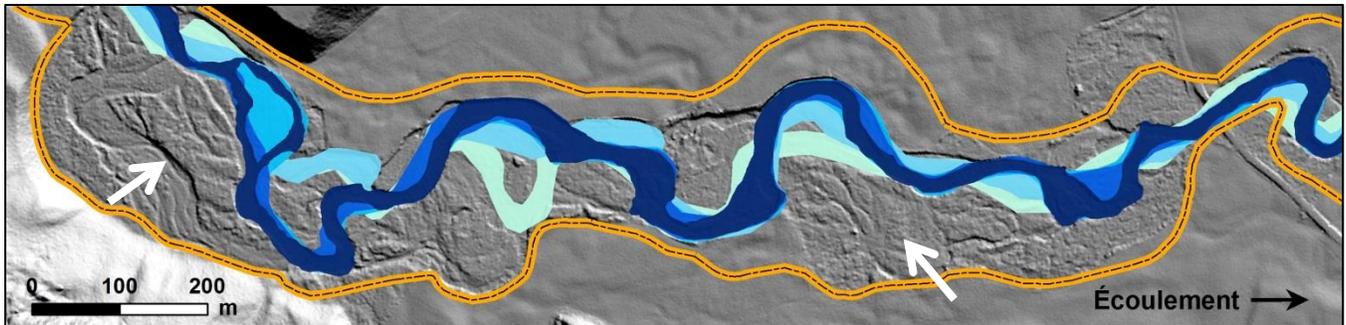


Figure 20. Espace de mobilité M_{50} pour un tronçon de la rivière Neigette. Les flèches indiquent des modèles d'érosion caractéristiques des zones dynamiques qui sont intégrées dans l'espace M_{50} .

M_{plaine} → Espace où la rivière peut potentiellement migrer à long terme

La première étape pour l'identification de l'espace de mobilité à long terme (M_{plaine}) consiste à générer un corridor englobant l'amplitude maximale des méandres actuels et passés pour chaque tronçon homogène. Le corridor est ensuite restreint par l'extension de la plaine alluviale dont les limites sont établies par des dépôts non érodables ou des versants rocheux (figure 21). L'interprétation du relief et de la topographie à partir des relevés LiDAR facilite la délimitation de l'étendue de la plaine alluviale.

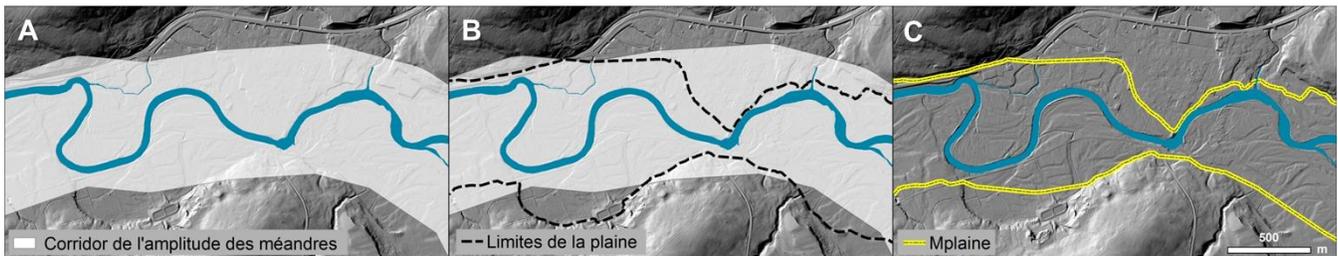


Figure 21. Exemple du processus de délimitation de la zone M_{plaine} pour un tronçon de la rivière Mitis.

2.5 Cartographie des zones d'incision et de sédimentation

Aucun cours d'eau en incision n'a été observé *de visu* sur le terrain. Par contre, plusieurs affluents de la vallée principale sont suspectés d'être en incision en raison d'un drainage agricole excessif (se référer au diagnostic pour plus de détails).

En revanche, plusieurs zones de sédimentation ont été identifiées. Les zones de sédimentation sont déduites par le cumul d'indicateurs hydrauliques et géomorphologiques :

- ✓ un style fluvial typique des cours d'eau avec une charge élevée en sédiments (styles divagants, à anabranes ou à tresses);
- ✓ une réponse géomorphologique particulièrement sensible aux variations hydrologiques;
- ✓ une diminution de la capacité de transport de l'amont vers l'aval;

- ✓ la présence d'une surélévation localisée dans le profil longitudinal;
- ✓ la présence d'un obstacle limitant le transit sédimentaire (confinement de la vallée, infrastructures ou autres).

Analyse de la sensibilité géomorphologique

Les fluctuations de la largeur du cours d'eau dans le temps ont été utilisées comme indicateur de la sensibilité géomorphologique du cours d'eau (écart-type). La largeur du cours d'eau est estimée à des intervalles systématiques de 300 mètres pour les périodes de 1945, 1966, 1980, 1993, 1998, 2007 et 2013.

Analyse de la puissance spécifique

La présence d'une zone de sédimentation peut être due à une perte de capacité de transport de l'amont vers l'aval. La capacité de transport peut être exprimée à partir du paramètre de la puissance spécifique (Bagnold, 1966). La puissance spécifique est une mesure d'énergie fournie par l'écoulement d'un cours d'eau par unité de surface (W/m^2) :

$$\omega = \rho g Q S w$$

où ρ est la densité de l'eau (1000 kg/m^3), g est l'accélération gravitationnelle (9.81 m/s^2), Q est le débit (m^3/s), S est la pente d'énergie (m/m), estimée par la pente du cours d'eau et w est la largeur du chenal (m). Les valeurs de puissance spécifique sont initialement définies à des intervalles systématiques de 300 mètres. À titre indicatif, les zones de sédimentation sont associées à des segments de cours d'eau où il y a une diminution subite vers l'aval ($< 50\%$, Parker et al, 2015) ou dont la valeur de puissance spécifique est inférieure à $25\text{-}35 \text{ W/m}^2$ (Brookes, 1987).

3 Recommandations

Cette section présente trois catégories de recommandations :

3.1 Les recommandations relatives au **cadre normatif et réglementaire** applicable aux zones de contraintes identifiées dans le schéma d'aménagement de la MRC. Ces recommandations rencontrent les exigences minimales spécifiées par la PPRLPI, mais explorent également plusieurs avenues innovatrices pour une meilleure considération des aléas fluviaux dans la définition des zones de contraintes du schéma d'aménagement de la MRC. La MRC est donc invitée à s'impliquer dans la spécification des modalités qu'elles jugent appropriées.

3.2 Les recommandations orientées sur les **pratiques de gestion et d'aménagement** ont pour objectif de promouvoir des pratiques pouvant limiter la problématique des aléas sur le territoire.

3.3 Les **recommandations générales** identifient les lacunes actuelles de la cartographie et les initiatives pour y remédier. Certaines mesures de sensibilisation sont également identifiées.

Pour assurer la diffusion de l'information à qui de droit, chaque recommandation cible les acteurs concernés :

MRC- ZONAGE	MRC – aménagement du territoire	OBV	Organisme de bassin versant
MRC- GESTION	MRC – gestionnaire de cours d'eau	MSP	Ministère de la Sécurité publique
MUN	Municipalités	CITOYEN	Citoyens résidents ou non-résidents
MAPAQ	Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec	MTMDET	Ministère du transport, du développement durable et de l'électrification des transports

Note concernant l'arrimage avec le concept d'espace de liberté

Ce projet de recherche est financé par une subvention du ministère de la Sécurité publique et du Fonds vert (PACC 2013-2020). Son objectif est de promouvoir l'approche de cartographie hydrogéomorphologique appliquée à la gestion des risques fluviaux au Québec. Ce projet survient en parallèle à un autre projet piloté par Simon Massé, étudiant au doctorat à l'UQAR, dont l'objectif est d'évaluer les défis et les limites pour la mise en œuvre du concept d'espace de liberté dans les pratiques de gestion des cours d'eau au Québec. Le projet « espace de liberté » est une démarche de réflexion consultative sans avoir pour finalité la mise en œuvre de ce mode de gestion sur le territoire. Néanmoins, plusieurs concepts rattachés à l'espace de liberté sont inclus dans les recommandations. En particulier, nous recommandons une reconnaissance plus explicite des

milieux humides riverains et des processus de mobilité du cours d'eau. Cependant, les modalités de gestion ne sont pas toujours équivalentes à celles qui ont été discutées dans le cadre des groupes de travail sur l'espace de liberté.

MRC-
ZONAGE

3.1 Recommandations relatives au cadre normatif et réglementaire pour les aléas fluviaux (plan de zonage)¹

Dans le cadre de ses responsabilités en matière d'aménagement du territoire, le milieu municipal doit assurer la protection des milieux riverains et des plaines inondables en fonction des orientations et des normes minimales définies par la PPRLPI. Celle-ci propose actuellement un cadre normatif distinguant deux types de zones inondables : la zone de grand courant où l'aménagement est sévèrement contraint et la zone de faible courant où l'aménagement est permis, mais soumis à des exigences d'immunisation.

La prise en compte de nouveaux aléas fluviaux sur le territoire – érosion des berges, avulsion, inondations par embâcles et processus torrentiels – force la nécessité de définir les modalités de gestion devant leur être rattachées. Le cadre normatif et réglementaire de la PPRLPI est ainsi revisité de façon à suggérer des modalités de gestion adaptées à chacun des aléas. Cette révision du cadre normatif et réglementaire préserve un lien explicite avec les exigences actuelles de la PPRLPI; ainsi il demeure possible de faire la distinction entre ce qui est exigé et « réglementaire » de ce qui est « facultatif » lors de la démarche d'intégration de la cartographie dans le schéma d'aménagement et de développement (SAD) par les MRC.

3.1.1 Les zones inondables

Zones inondables réglementaires

La PPRLPI spécifie deux classes de zones inondables pour lesquelles un cadre normatif est défini : la zone de grand courant et la zone de faible courant (PPRLPI, section 4.2 et 4.3).

GC

Zone de grand courant (GC) : Cette zone correspond à la partie d'une plaine inondable qui peut être inondée lors d'une crue de récurrence de 20 ans.

FC

Zone de faible courant (FC) : Cette zone correspond à la partie de la plaine inondable au-delà de la limite de la zone de grand courant, qui peut être inondée lors d'une crue de récurrence de 100 ans.

Dans les circonstances où les zones de grand et de faible courant ne peuvent être distinguées, la PPRLPI réfère de façon plus générale à la « plaine inondable » :

¹ Cette section est tirée du document : Représentation cartographique des processus hydrogéomorphologiques : cinq initiatives pour une meilleure gestion des aléas fluviaux au Québec (Demers et al., 2017).

« Dans la zone de grand courant d'une plaine inondable ainsi que dans les plaines inondables identifiées sans que ne soient distinguées les zones de grand courant de celles de faible courant sont en principe interdits toutes les constructions, tous les ouvrages et tous les travaux, sous réserve des mesures prévues aux paragraphes 4.2.1 et 4.2.2. » (PPRLPI, p. 119).

La zone de grand courant se différencie donc de la plaine inondable d'un point de vue méthodologique, mais dans les faits, ces deux espaces réfèrent aux mêmes modalités de gestion. Cette distinction ne clarifie pas le phénomène d'inondation en lui-même, mais représente plutôt une distinction méthodologique. Pour simplifier, toutes les « plaines inondables » définies par des approches alternatives sont aussi désignées par une zone de grand courant. L'intention est d'axer la représentation cartographique des inondations sur le processus plutôt que sur sa définition méthodologique.

Dans la foulée des initiatives européennes dans le domaine de la gestion du risque d'inondation (Directive n° 2007/60/CE du Parlement européen), une troisième zone inondable rattachée aux crues extrêmes est définie. Cette troisième zone inondable peut être définie sur la base d'un débit de crue de récurrence rare, supérieure à 100 ans. Dans le cadre de ce document, cette troisième zone inondable est définie selon une approche hydrogéomorphologique et est désignée comme une zone d'inondabilité potentielle (ZIP).

ZIP

Zone d'inondabilité potentielle : Cette zone correspond à la partie d'une plaine inondable au-delà de la limite de la zone de grand courant ou de faible courant, qui peut potentiellement être inondée par une crue. Cette zone représente l'emprise maximale des crues telle que définie par les limites géomorphologiques de la plaine inondable.

Au Québec, il n'existe aucun cadre normatif défini pour la zone d'inondabilité potentielle. Pour la MRC, cette information peut servir pour l'élaboration des plans d'intervention en situation de sinistres ou pour le choix de la localisation de bâtiments dont la vocation relève de la sécurité collective (p.ex. industries associées à des risques technologiques, service d'incendie, centre pour la coordination en période de sinistres, établissements d'éducation et de santé). Il est essentiel de reconnaître la possibilité d'une inondation dans cette zone puisqu'elle pourrait affecter ou même paralyser les fonctions d'intervention de la communauté. Au niveau individuel, elle permet la responsabilisation et la sensibilisation de l'individu face à l'éventualité d'une inondation majeure. Cette information peut être transmise de diverses manières (p. ex. lors de l'achat d'une propriété, distribution de brochures, journaux, diffusion des cartes sur internet). Globalement, ce type d'initiative renforce la sensibilité de la communauté face à l'éventualité d'une inondation.

Typologie des processus d'inondation

Dans le cadre de la planification des mesures d'urgence ou pour la spécification de mesures d'immunisation et de sensibilisation appropriées pour les riverains, il est pertinent de faire la distinction entre certains types d'inondations : à l'eau libre, par embâcles (de bois, de glace ou de débris) et torrentielles (ou zone de torrentialité).

- Les zones inondables à l'eau libre réfèrent ici à des inondations connectées à la rivière. Les inondations urbaines associées à l'inefficacité du réseau d'évacuation des eaux pluviales ou les inondations provoquées par le ruissellement sur des surfaces saturées ne sont pas incluses dans cette catégorie.
- Les inondables par embâcles sont provoquées par le refoulement de l'eau derrière un amoncellement de glaces, de frasil, de bois ou de débris divers.
- Les zones d'inondation torrentielles se démarquent par la rapidité de la réponse hydrologique, par la vitesse de l'écoulement ainsi que par le transport de sédiments et de débris. Dans le cadre de ce document, les zones de torrentialité sont définies sur une base hydrogéomorphologique par l'identification des cônes alluviaux, mais des critères hydrauliques pourraient également être appliqués.

Le croisement entre ces trois processus d'inondations et les trois zones inondables (GC, FC et ZIP) multiplie le nombre de zones pouvant être représentées par la cartographie (en théorie, 9 classes) (figure 22). Par exemple, on peut parler d'une zone de torrentialité de grand courant, de faible courant ou une zone potentielle de torrentialité.

La pertinence d'identifier une zone de faible courant et une zone d'inondabilité potentielle pour les zones d'embâcles est questionnable. Seule une zone de grand courant est jugée pertinente : premièrement, ce type d'inondation est considérée problématique pour l'aménagement indépendamment de sa probabilité d'occurrence et, deuxièmement, il n'est pas certain que des cotes de crues puissent être définies spécifiquement pour les inondations par embâcles de glace avec une confiance suffisante pour spécifier des mesures d'immunisation adéquate.

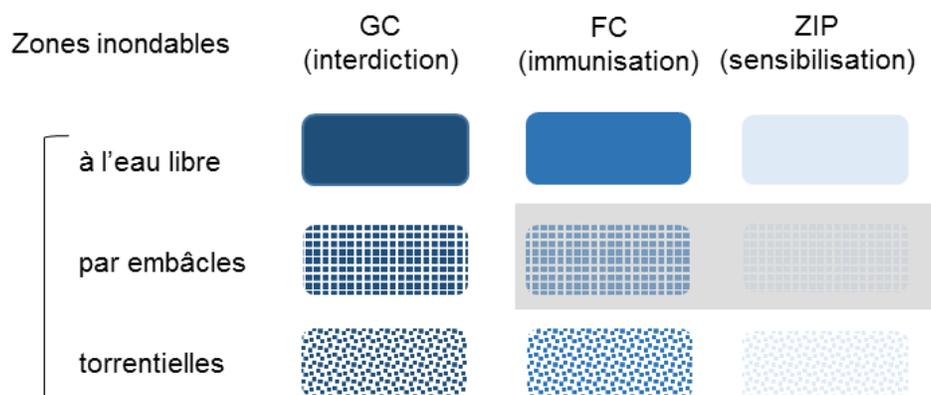


Figure 22. Zones inondables définies par le croisement des processus d'inondation et de leur récurrence. En gris : processus jugés inadéquats pour la gestion des aléas.

Dans le cas de la zone de faible courant pour la zone de torrentialité, des mesures d'immunisation devraient être réfléchies spécifiquement pour ce type de processus. La *Federal Emergency Management Agency* (FEMA) aux États-Unis fournit plusieurs pistes de réflexion en ce sens, telles que : 1) d'éviter la présence d'ouvertures (portes et fenêtres) exposées aux écoulements en provenance du cours d'eau et 2) dans la partie exposée aux écoulements en provenance du cours d'eau, de privilégier des matériaux

de construction ayant la capacité à résister aux impacts provoqués par les sédiments et les débris ligneux (p. ex : le béton) (voir FEMA, 1989, p. 10).

3.1.2 Les espaces de mobilité

Les espaces de mobilité représentent les zones exposées à l'érosion des berges et aux phénomènes d'avulsion des cours d'eau.



Cet espace est susceptible d'être occupé par le cours d'eau dans un horizon de 50 ans ou moins.



Cet espace est susceptible d'être occupé par le cours d'eau à long terme.

Modalités de gestion

L'espace de mobilité à court terme (M_{50}) devrait être considéré d'une façon similaire à la zone de grand courant, interdisant toutes les constructions, ouvrages et travaux (section 4.2 de la PPRLPI). Il faudrait examiner avec attention la pertinence d'appliquer certaines des exceptions et des dérogations admissibles telles que spécifiées aux sections 4.2.1 et 4.2.2 de la PPRLPI, notamment :

- c) les installations souterraines linéaires de services d'utilité publique telles que les pipelines, les lignes électriques et téléphoniques ainsi que les conduites d'aqueduc et d'égout ne comportant aucune entrée de service pour des constructions ou ouvrages situés dans la zone inondable de grand courant;*
- d) la construction de réseaux d'aqueduc ou d'égout souterrains dans les secteurs déjà construits mais non pourvus de ces services afin de raccorder uniquement les constructions et ouvrages déjà existants à la date d'entrée en vigueur du premier règlement municipal interdisant les nouvelles implantations;*
- e) les installations septiques destinées à des constructions ou des ouvrages existants; l'installation prévue doit être conforme à la réglementation sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées édictée en vertu de la Loi sur la qualité de l'environnement (chapitre Q-2);*

Idéalement, ces infrastructures devraient être exclues de l'espace de mobilité à court terme. Sinon, il faudra envisager des mesures de protection contre l'érosion des berges pour en éviter l'endommagement.

L'espace de mobilité à plus long terme (M_{plaine}) est fourni à titre informatif. Il s'agit d'une information complémentaire pouvant aider à réfléchir à des enjeux d'occupation du territoire sur des horizons de temps plus longs.

3.1.3 Autres

Les milieux humides riverains

MRC-
ZONAGE

- ✓ Reconnaître la cartographie des milieux humides riverains dans le SAD.
- ✓ Examiner la possibilité d'intégrer la cartographie des milieux humides produite par Canards Illimités Canada dans le SAD (cartographie en cours de réalisation).

La bande riveraine

MRC-
ZONAGE

MUN

OBV

MAPAQ

- ✓ Informer et sensibiliser les riverains à l'importance de préserver une bande riveraine telle que spécifiée par la PPRLPI, en particulier en milieu agricole (par exemple, par l'envoi d'une lettre informant sur les bénéfices associés à la bande riveraine et une carte indiquant les cours d'eau visés par la PPRLPI). Un effort particulier devrait être déployé pour sensibiliser les propriétaires responsables de l'aménagement de fossés de drainage situés en amont des zones affectées par des processus torrentiels lors des pluies d'août 2015.
- ✓ Dans les zones de sédimentation, réfléchir à une stratégie d'action pour encourager l'élargissement progressif de la bande riveraine pour permettre les fonctions naturelles d'érosion et de sédimentation.

3.2 Recommandations relatives à la gestion et l'aménagement des cours d'eau

3.2.1 Les zones de sédimentation

Une zone de sédimentation est une zone de stockage en sédiments. C'est aussi une zone névralgique de la dynamique fluviale où converge une gamme de processus tels que l'érosion des berges, les variations verticales du lit, les mécanismes d'avulsion ainsi que les processus d'embâcles de bois ou de glace. Dans le cas d'une sédimentation rapide, l'amplitude des inondations, le taux d'érosion et la probabilité d'une avulsion augmentent.

MRC-
GESTION

- ✓ Limiter les interventions visant à freiner l'érosion des berges (enrochements, gabions, murets) ou les inondations (digues). Si un aménagement de protection contre l'érosion des berges est néanmoins prévu, le design devrait tenir compte de la dynamique de transport sédimentaire en plus des contraintes hydrauliques.

MUN

MTMDET

- ✓ Éviter la mise en place de nouvelles traverses de cours d'eau (ponts et ponceaux). Si la rénovation ou la construction d'une traverse de cours d'eau est néanmoins prévue, le design devrait tenir compte de la dynamique du transport sédimentaire. En particulier, la largeur entre les culées ou la largeur du ponceau devrait être maximisée pour faciliter le transit efficace des sédiments, des glaces et des débris (noter que les critères de conception actuels du MTMDET et des firmes d'ingénierie au Québec sont axés sur des critères hydrauliques seulement). Dans le cas des ponceaux, certaines techniques visant à simuler les caractéristiques naturelles du cours d'eau dans la structure facilitent le transit sédimentaire en plus de favoriser la connectivité des habitats aquatiques (FSSSWG, 2008).

MUN

- ✓ Dans le cas des zones de sédimentation situées à proximité d'enjeux de sécurité civile, procéder à un suivi systématique de l'accumulation de sédiments dans le cours d'eau. Ce suivi devrait être réalisé à des intervalles réguliers (annuels) ainsi que avant et après chaque événement de pluie particulièrement intense.

3.2.2 La gestion des eaux pluviales et des sources de sédiments

Ces recommandations concernent plus spécifiquement, sans toutefois s'y limiter, les sous-bassins prioritaires concernés par des enjeux de sécurité civile (ces sous-bassins sont localisés sur une carte à la figure 13).

MRC-
GESTION

MAPAQ

MUN

MTMDET

CITOYEN

OBV

- ✓ Réfléchir à des outils – règlementaires ou autres – pour freiner l'expansion des réseaux de fossés de drainage agricole.
- ✓ À moins d'une menace imminente à la sécurité des biens et des personnes (article 105 de la loi sur les compétences municipales), maintenir la végétation, les sédiments et les débris ligneux dans les cours d'eau. Ces obstructions contribuent à dissiper l'énergie de l'écoulement, à ralentir le transit des sédiments et à protéger les berges et le lit contre l'érosion. Encourager l'agriculteur à ne pas procéder au nettoyage et à l'entretien des cours d'eau et fossés de drainage, en particulier les fossés de drainage de pentes fortes (> 3%).
- ✓ Initier des actions de sensibilisation, d'accompagnement et de financement auprès des agriculteurs pour encadrer les pratiques ayant un impact sur le ruissellement de surface (p. ex : encourager la mise en œuvre d'aménagements hydro-agricoles favorables à l'infiltration de l'eau dans le sol).

- ✓ Éviter toutes interventions anthropiques pouvant activer des sources de sédiments, par exemple la mise à jour de dépôts meubles pouvant être mobilisés par le cours d'eau (déforestation, excavation, autres).

3.3 Recommandations générales/autres

3.3.1 Acquisition de connaissances

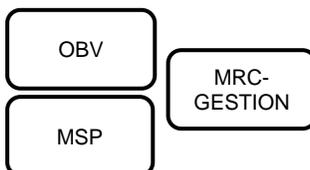
Le risque évolue constamment en réponse aux fluctuations climatiques, mais aussi en réponse aux changements dans l'utilisation du territoire (p. ex : pratiques agricoles, déboisement, étalement urbain, gestion des cours d'eau, stabilisation des berges). En ce sens, il importe de procéder régulièrement à la mise à jour des connaissances du territoire et, lorsque nécessaire, à la révision de la cartographie des aléas.



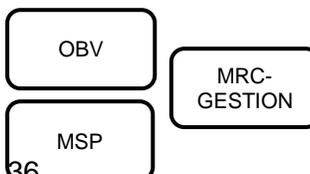
- ✓ Procéder à une mise à jour systématique de la banque de données relative à l'historique des inondations sur le territoire. Cette information doit être datée, géolocalisée et documentée au niveau des processus (inondation à l'eau libre, par embâcles de glace ou par des processus torrentiels). Cette information est centrale pour une cartographie des aléas fluviaux à jour et complète.

3.3.2 Sensibilisation

La gestion du risque sur le territoire est une responsabilité partagée. Il est nécessaire d'informer et de sensibiliser l'ensemble des acteurs, incluant les citoyens, au sujet de la dynamique des cours d'eau et des risques pour favoriser les comportements minimisant la vulnérabilité et pour prévenir les actions pouvant exacerber les aléas fluviaux.

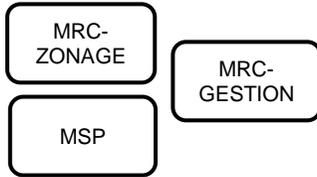


- ✓ Encourager la connaissance du territoire et de ses dynamiques naturelles et anthropiques notamment par le biais de conférences, d'expositions, de documents vulgarisés, de rencontres publiques et d'activités de sensibilisation dans les écoles.

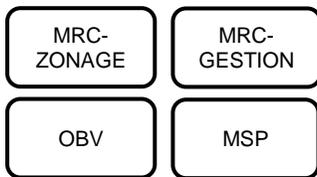


- ✓ Informer les agriculteurs dont les pratiques ont été identifiées comme un facteur aggravant au niveau des processus torrentiels (viser en priorité les sous-bassins identifiés à la figure 13). Cette sensibilisation

devrait être accompagnée d'un soutien technique et financier pour mettre en œuvre des solutions pouvant atténuer les impacts sur les régimes hydrologiques et sédimentaires.



- ✓ Informer la population du processus de révision de la cartographie des aléas fluviaux, en particulier les résidents situés à l'intérieur des zones à risque nouvellement identifiées. Cette information devrait inclure les mesures et les interventions permises ou prohibées, mais aussi lister les actions et les comportements à adopter en préparation et en réaction aux sinistres.



- ✓ Favoriser la diffusion et la consultation des cartes d'aléas fluviaux et de milieux humides, des données hydrologiques et des alertes hydrométéorologiques (p. ex : le site web de la MRC).

Références

- Bagnold, R. A. (1966). An approach to the sediment transport problem from general physics. US government printing office.
- Biron, P.M., Buffin-Bélanger, T., Larocque, M., Choné, G., Cloutier, C-A., Ouellet, M-A., Demers, S., Olsen, T., Desjarlais, C. et Eyquem, J. (2014). Freedom space for rivers: a sustainable approach to enhance river resilience, *Environmental Management*, 54(5), 1056-1073.
- Brookes, A. (1987). The distribution and management of channelized streams in Denmark, *River Research and Applications*, 1 (1), 3-16.
- Buffin-Bélanger, T., Biron, P., Laroque, M., Demers, S., Olsen, T., Cholé, G., Ouellet, M.-A., Cloutier, C.-A., Desjarlais, C. et Eyquem, J. (2015). Freedom space for rivers: an economically viable river management concept in a changing climate, *Geomorphology*, 251, 137-148.
- Centre d'expertise hydrique du Québec (2008). Rivière Coaticook, Ville de Coaticook – Détermination des cotes de crues, PDCC 05-001. Gouvernement du Québec, Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ), Direction de l'expertise et de la gestion des barrages publics, 40 pages.
- Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) (2015). Atlas hydroclimatique du Québec méridional – Impact des changements climatiques sur les régimes de crue, d'étiage et d'hydraulicité à l'horizon 2050. Québec, 81 pages.
- Demers S., Massé S., Besnard C., Buffin-Bélanger T. (2017). La représentation cartographique des processus hydrogéomorphologiques : cinq initiatives pour une meilleure gestion des aléas fluviaux au Québec, *Laboratoire de géomorphologie et dynamique fluviale, Université du Québec à Rimouski*. Rapport remis au Ministère de la Sécurité publique, 73 pages.
- Downward, S.R., Gurnell, A.M. et Brookes, A. (1994). A methodology for quantifying river channel planform change using GIS: variability in stream erosion and sediment transport. In *Proceedings of the Canberra Symposium, Canberra, 1994*. Olive LJ, Loughran RJ, Kesby JA (eds). International Association of Hydrological Sciences, Publication 224; pp. 449–456.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA) (1989). Alluvial Fans : hazards and management. Federal insurance administration office of loss reduction, 17 pages.
- Forest Service Stream-Simulation Working Group (FSSSWG) (2008) – Stream Simulation: An ecological approach to providing passage for aquatic organisms at road-stream crossings. National Technology and Development Program, San Dimas, CA, U.S. Department of Agriculture, Forest Service National Technology and Development Program.
- Nanson, G. C., & Croke, J. C. (1992). A genetic classification of floodplains, *Geomorphology*, 4(6), 459-486.
- Parker, C., Thorne, C. R., & Clifford, N. J. (2015). Development of ST: REAM: a reach-based stream power balance approach for predicting alluvial river channel adjustment. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40(3), 403-413.
- Piégay, H., Darby, S.E., Mosselman, E. & Surian, N. (2005). A review of techniques for delimiting the erodible river corridor: a sustainable approach to managing river bank erosion, *River Research and Applications*, 21, 773-789.
- Raven, E. K., Lane, S. N., & Bracken, L. J. (2010). Understanding sediment transfer and morphological change for managing upland gravel-bed rivers, *Progress in Physical Geography*, 34(1), 23-45.
- Reid, D., & Church, M. (2015). Geomorphic and ecological consequences of riprap placement in river systems, *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 51(4), 1043-1059.
- Rivard, G. (2011). Guide de gestion des eaux pluviales. Ministère du Développement Durable Environnement et Lutte contre les Changements Climatiques: Quebec, QC, Canada, 386 pages.