

# LES RISQUES D'INONDATION SUR LES CÔNES ALLUVIAUX DANS L'EST DU QUÉBEC

Thomas Buffin-Bélanger

Section de géographie, Université du Québec à Rimouski, 300 allée des Ursulines, Rimouski, Québec, Canada, thomas\_buffin-belanger@uqar.qc.ca

Bernard Hétu

Section de géographie, Université du Québec à Rimouski, 300 allée des Ursulines, Rimouski, Québec, Canada, bernard\_hetu@uqar.qc.ca

## RÉSUMÉ

Les cônes alluviaux sont des formes d'accumulation liées à une rupture de pente lorsqu'un cours d'eau émerge d'une région montagneuse et se déverse dans une plaine alluviale. L'évolution des cônes est contrôlée par des écoulements torrentiels souvent fortement chargés en sédiments et en débris ligneux. Les risques d'inondation liés à ces formes ne peuvent être considérés à l'aide des paradigmes actuels de l'hydrologie statistique parce qu'ils dépendent fortement de la dynamique géomorphologique du cône. Les mécanismes d'avulsion et d'aggration propres aux cônes alluviaux jouent un rôle crucial dans l'évaluation des risques. Quatre cas d'inondation sur des cônes alluviaux dans l'est du Québec sont présentés pour illustrer la dynamique géomorphologique des cônes, mais aussi pour souligner des stratégies d'aménagement adéquates afin de diminuer les risques.

## ABSTRACT

Alluvial fans are depositional forms associated with the change of slope along a stream. This occurs when a stream exits a mountains dominated areas to flow in a plane surface such as an alluvial plain. The morphological development of alluvial fans is most often controlled by torrential flows heavily loaded in sediments and debris. Flood risks on these forms can not be looked at using usual hydrological approaches. Aggradation and avulsion process play a critical role in evaluating the flooding risk on an alluvial fan. Here, we present four cases of flooding that occurred on alluvial fans in eastern Quebec. These cases will illustrate the dynamics pertaining to alluvial fan flooding and will underline managing issues to diminish flooding risk on these forms.

## 1. INTRODUCTION

De nombreuses inondations ont marqué l'été et l'automne 2007 dans l'Est du Québec. Ces inondations résultaient de précipitations de forte intensité dont la quantité totale excédait les 100 mm. Les cours d'eau du Bas-St-Laurent et de la Gaspésie possèdent pour la plupart des bassins-versants de petites (~10-100 km<sup>2</sup>) et moyennes (~100-1000 km<sup>2</sup>) tailles dont une grande partie se trouve en région montagneuse. Dans ces milieux, les fortes précipitations donnent naissance à des réponses hydrologiques et morphologiques aux conséquences dramatiques pour les habitants et les infrastructures. Cette combinaison des réponses hydrologiques et morphologiques rend les paradigmes de l'hydrologie statistiques inadéquats pour la gestion et la prévention des risques d'inondation. Dans ces milieux, la gestion et la prévention des risques d'inondation passent par une évaluation adéquate de la réponse hydrologique et de la dynamique géomorphologique de l'environnement fluvial où survient l'inondation.

Les cônes alluviaux sont des formes d'accumulation très répandues dans l'Est de l'Amérique du Nord (Kochel, 1990; Boucher, 1996). Ces formes sont à l'origine de plusieurs catastrophes car les cours d'eau des cônes alluviaux sont sujets à des crues torrentielles et à des dynamiques hydromorphologiques qui provoquent des modifications rapides du cours d'eau (CGER, 1996). Un inventaire non exhaustif des enjeux dans les vallées de la Gaspésie et du Bas-St-Laurent révèle la présence de plusieurs résidences

et infrastructures sur les cônes alluviaux. Ces formes, en raison de leur position dominante par rapport aux basses plaines alluviales adjacentes, représentent un endroit qui peut paraître à l'abri des inondations engendrées par la rivière principale. Le passage des restes des ouragans Frances (2004), Rita (2005), Katrina (2005) et Noël (2007) et les événements de l'été 2007 prouvent le contraire. Ces événements ont causé des dégâts significatifs ces dernières années en provoquant des crues torrentielles souvent spectaculaires dans des cours d'eau d'ordinaire assez tranquilles.

Cet article examine des cas d'inondation sur cône alluvial dans l'Est du Québec. L'article veut souligner l'importance de ce type d'inondation au Québec et jeter les bases d'une réflexion sur la gestion et la prévention de ce type d'inondation. Nous définissons d'abord les cônes alluviaux et les crues torrentielles. Nous présentons ensuite quatre cas d'inondation survenus dans des rivières à régime torrentiel de l'Est du Québec. Nous verrons à travers ces exemples qu'une bonne compréhension de la dynamique morphosédimentaire des cônes alluviaux permet de poser un regard différent sur l'évaluation du risque d'inondation ainsi que sur sa prévention. Pour les quatre cas présentés, les inondations sont survenues dans des cours d'eau de petites et moyennes tailles et illustrent les risques liés à la torrencialité et aux inondations de cônes alluviaux. Les aléas fluviaux sont plus que jamais présents dans l'est du Québec et, vu leur intensité et leur récurrence, ils sont sources de risques majeurs pour les communautés. La prévention de

ces risques passe par une compréhension éclairée des événements passés et une évaluation cartographique des zones à risque guidant la gestion et l'aménagement du territoire.

## 2. CÔNE ALLUVIAL ET TORRENTIALITÉ

Les cônes alluviaux sont des formes d'accumulation à l'interface entre une région montagneuse et une plaine alluviale (figure 1a). Ils se forment lorsque la pente des cours d'eau diminue radicalement. Les sédiments charriés dans la portion à forte pente se déposent et s'accumulent du fait de la perte d'énergie liée à la diminution de la pente. Les cônes sont des formes très dynamiques caractérisées par des changements subits dans le tracé du chenal principal lors des crues. Les sédiments charriés s'accumulent sur le lit ce qui provoque son aggradation (élévation du niveau du lit). Le chenal n'arrive plus à contenir le débit et un débordement survient. En débordant sur le cône, l'eau peut provoquer la création de nouveaux chenaux et l'un d'eux pourra éventuellement devenir le nouveau chenal principal (avulsion). C'est par ce processus de déplacement du chenal principal que la forme en éventail du cône prend naissance (figure 1b).

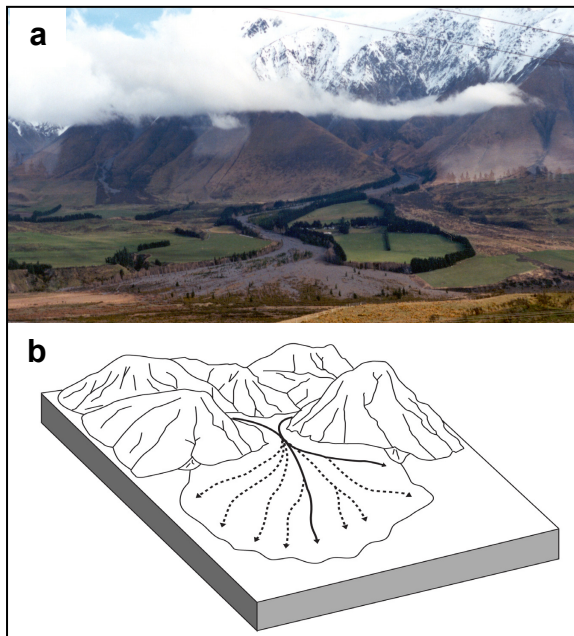


Figure 1. (a) Cône alluvial formé à l'interface d'une région montagneuse et d'une plaine alluviale, Nouvelle-Zélande. (b) La migration latérale du chenal principal (- - -), causée par l'aggradation et l'avulsion du cours d'eau, contribue à la formation en éventail.

Les cours d'eau qui traversent les cônes alluviaux sont généralement des torrents. Les torrents sont caractérisés par fortes pentes (>3%) et ne possèdent pas de plaine alluviale. En amont du cône, les versants contribuent directement au cours d'eau par le ruissellement et par l'apport de sédiments. Au Québec, les cônes alluviaux sont généralement situés en milieu forestier et la présence d'embâcles de débris ligneux y est fréquente. Ces embâcles

contribuent à faire de la rétention d'eau et de sédiments lors des crues. Les torrents ont des compétences et des capacités de transport élevées.

Les crues torrentielles surviennent dans des bassins-versants dont les pentes sont prononcées, à la fois celle du cours d'eau (>6%) et celles des versants qui s'y raccordent. Les crues torrentielles surviennent à la suite d'une précipitation de forte intensité. Elles sont fortement chargées en sédiments et en débris provenant de l'instabilité des berges. Ces crues présentent des fluctuations importantes des débits causées par l'accumulation de débris causant des embâcles partiels ou complets à l'écoulement. Les laves torrentielles surviennent lorsque les pentes du cours d'eau excèdent 20%. Ce sont des écoulements composés d'eau et de sédiments de toutes tailles dans une proportion considérable. Par définition, on parle de lave torrentielle lorsque les sédiments (boue et cailloux) occupent plus de 50% du volume total. Lors de crues ou de laves torrentielles, les berges sont soumises à des effondrements qui accroissent la proportion de sédiments et de débris ligneux.

Les inondations de cône alluvial comportent des processus hydrodynamiques et hydrauliques qui présentent un caractère torrentiel. Étant donnée la forte mobilité des sédiments, qui peut se traduire localement par l'aggradation, il est difficile d'évaluer la réaction qu'aura le cours d'eau lors d'une crue. Le cours d'eau peut facilement sortir de son lit et adopter un nouveau tracé provoquant à la fois une inondation et des engravements. Le risque associé aux cônes est souvent sous-estimé car ils sont généralement végétalisés et, de plus, ils ne s'activent pas de manière systématique lors d'une crue. Il est fréquent d'observer des résidences installées sur des cônes alluviaux à des élévations sous le niveau moyen du lit du cours d'eau. Pour ces résidences, la crise torrentielle sera doublement dévastatrice, car elles seront affectées non seulement par l'inondation, mais aussi par la migration du torrent et les engravements. Si les maisons se trouvent sur le nouveau tracé du cours d'eau, elles seront éventuellement détruites.

## 3. INONDATION SUR CÔNE ALLUVIAL DANS L'EST DU QUÉBEC

Les cas examinés illustrent à la fois la récurrence et la diversité des risques d'inondation sur cône alluvial dans l'Est du Québec. Pour chaque cas, une brève description des conditions climatiques, un aperçu des événements et une discussion des aménagements impliqués dans le sinistre sont présentés. Les cas suivent un ordre chronologique et se situent dans les régions du Saguenay, du Bas-St-Laurent et de la Gaspésie (figure 2).

### 3.1 Le déluge du Saguenay à l'Anse St-Jean 1996

Entre les 18 et 21 juillet 1996, une dépression cyclonique d'une exceptionnelle intensité en provenance du sud du Manitoba déverse des pluies diluviennes sur une large partie du sud du Québec, tout particulièrement au Saguenay

où le total des précipitations dépasse les 270 mm par endroits (Gouvernement du Québec, 1997). Ces pluies intenses, qui ont atteint jusqu'à 15 mm/heure à certains endroits, ont eu des conséquences géomorphologiques considérables. Les dégâts provoqués par la crue et la rupture des barrages sur les grandes rivières de la région ont davantage retenu l'attention (Lapointe *et al.*, 1998; Brooks et Lawrence, 2000; Eaton et Lapointe, 2001) que les petits systèmes torrentiels. Pourtant, c'est l'un d'eux qui a ravagé la rue du Coin à L'Anse-Saint-Jean.

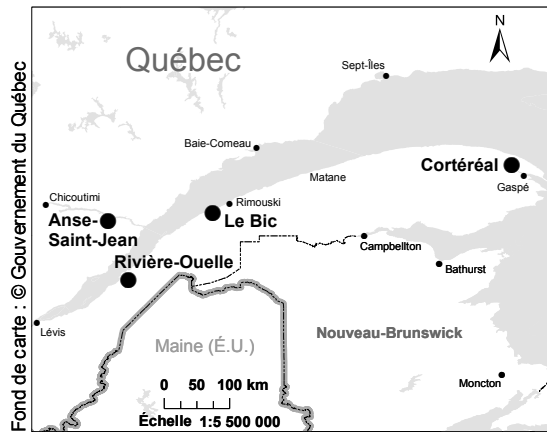


Figure 2. Carte de localisation des quatre cas examinés : Anse St-Jean, Bic, Rivière-Ouelle et Cortéreal.

La rue du Coin et les maisons qui la bordent ont été implantées sur un petit cône alluvial fortement anthropisé qui a été découpé en terrasses alluviales, puis tronqué par la rivière Saint-Jean (figure 3). Situé le long du flanc est de la vallée, à l'embouchure du ruisseau de la Muraille, ce petit cône alluvial, dont le rayon atteint environ 300 m, se déploie entre 82 et 67 m d'altitude, ce qui lui confère une pente moyenne de 5%. Large de 2 à 3 m seulement, le ruisseau de la Muraille s'y est encaissé sur une profondeur maximale de 4 m (à l'apex). La rue du Coin rejoint la route 170 à l'apex du cône, c'est-à-dire précisément dans la zone la plus exposée à l'activité torrentielle. La rue du Coin, qui suit l'un des rayons du cône, longe le ruisseau de la Muraille en rive droite, alors que la route 170 le traverse au moyen d'un ponceau, dont l'ouverture, de moins de 3 m de largeur, se révélera sous-dimensionnée au moment de la crise torrentielle.

Le bassin du ruisseau de la Muraille comporte trois branches principales alimentées par des lacs de tête, les lacs Rond, Long, Aimable et de la Muraille. La pente du ruisseau de la Muraille est relativement élevée, particulièrement entre la sortie du lac Aimable (altitude : 332 m) et la route 170 où elle atteint 15% en moyenne. Dans le dernier kilomètre, juste en amont du cône, elle est de 8%. En amont du cône, le ruisseau de la Muraille s'est profondément encaissé dans des dépôts quaternaires variés riches en blocs pluridécimétriques (terrasses fluvioglaciales, dépôts glaciomarins, till). Quand la crue s'est produite, plusieurs cours d'eau de la région hébergeaient des colonies de castors dont les digues avaient créé de nouveaux étangs ou encore contribué à

hausser le niveau de certains lacs. C'était le cas notamment du lac Aimable (superficie : 0,14 km<sup>2</sup>) dont le plan d'eau avait été haussé d'un bon mètre par une digue implantée à la sortie du lac.

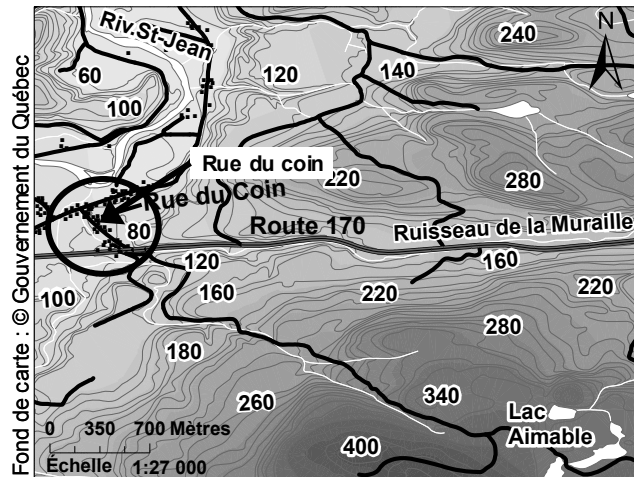


Figure 3. Carte de localisation du cône dans le secteur de L'Anse St-Jean. Le cône est localisé par le cercle noir et la rue du coin par une flèche noire.

Selon le modèle hydrologique CEQUEAU, le bassin du ruisseau de la Muraille aurait reçu du 19 au 21 juillet 1996 entre 170 et 180 mm de pluie (Gouvernement du Québec, 1997). C'est entre 18h00 et 20h00 le 19 juillet que les précipitations ont atteint leur paroxysme, soit de 10 à 11 mm/heure. Il semble, d'après les témoignages rapportés dans les journaux et par la Commission d'enquête (Gouvernement du Québec, 1997), que la rupture en cascade des barrages de castors ait joué un rôle aggravant dans le développement de la crue torrentielle, en particulier celui du lac Aimable. La rupture de ce barrage a provoqué un abaissement du plan d'eau d'environ 1 m, ce qui correspond, compte tenu de la superficie du lac, à un volume d'eau estimé à 140 000 m<sup>3</sup>. Ajoutées aux eaux tumultueuses du torrent déjà gonflé par les précipitations, les eaux provenant de la vidange partielle du lac Aimable ont engendré une crue très violente. L'onde de crue a atteint l'apex du cône après avoir dévalé une dénivellation de 250 m sur une distance de 3,3 km. À l'entrée du village, le ruisseau de la Muraille, qui n'est habituellement qu'un mince filet d'eau, s'est transformé en un véritable torrent. Les témoins ont parlé d'un 'mur d'eau' ou encore 'd'un coup d'eau' qui s'est abattu sur la rue du Coin, roulant des blocs de plus d'un mètre de diamètre. Bien que le cône alluvial soit traversé par un ravin profond de 3 à 4 m (celui qu'emprunte habituellement le ruisseau), c'est la rue du Coin qui a canalisé le gros de la crue, provoquant la destruction de 25 résidences, alors que 10 autres étaient lourdement endommagées ainsi que 6 commerces (figure 4). De toute évidence, le ponceau de la route 170, sous-dimensionné, n'a pas suffi à la tâche, d'autant plus qu'il a probablement été bouché très rapidement par les débris grossiers que charriait la crue (blocs métriques, arbres provenant du démantèlement des barrages de castors).

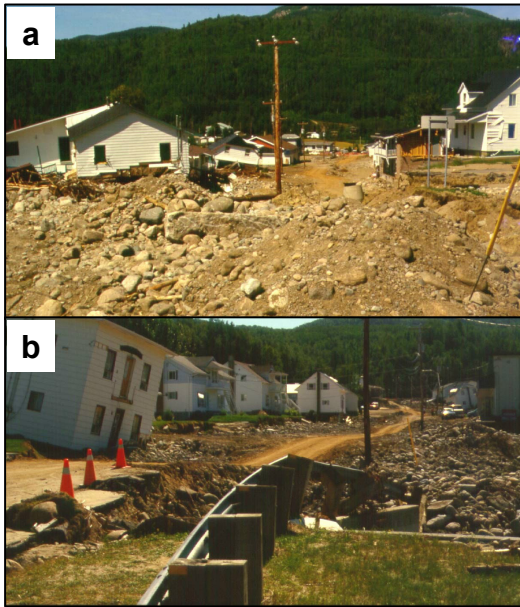


Figure 4. (a) La rue du Coin dans la partie amont du cône (apex), photographiée depuis la route 170. Plusieurs maisons ont été complètement détruites dont celle à l'avant-plan où seules les fondations subsistent. Remarquer la taille des blocs transportés par le torrent. (b) La rue du Coin dans la partie inférieure du cône, photographiée depuis la rue Saint-Jean-Baptiste. Un nouveau ravin a été creusé à l'emplacement de la rue dont l'asphalte a été arrachée.

Ce cas souligne le rôle néfaste des barrages de castor comme facteur aggravant dans le déroulement des crues torrentielles. Comme l'ont montré des observations réalisées ailleurs au Canada et aux États-Unis, la rupture des barrages de castor est un phénomène relativement fréquent qui survient le plus souvent lors des pluies intenses, des averses prolongées ou encore durant la fonte des neiges. Ce phénomène a déjà provoqué ailleurs au Canada et aux États-Unis de lourds dommages, principalement aux voies de transport (routes, chemins de fer), mais aussi quelques décès. Les témoignages recueillis par la Commission Nicolet vont dans le même sens : « L'ampleur des dégâts causés par la rupture des barrages de castor est impressionnante : on a découvert que même de petits ouvrages peuvent causer de grands dommages. » (Gouvernement du Québec, 1997). Cet exemple souligne aussi le rôle négatif joué par les ponceaux sous-dimensionnés en provoquant le débordement du cours d'eau qui s'est trouvé un nouveau lit guidé par la rue du Coin.

### 3.2 La crise torrentielle du Bic 2002

Dans la nuit du 1<sup>er</sup> juillet 2002, de violents orages ont déversé sur la région de Rimouski plus de 90 mm de pluie en moins de 4 heures (Environnement Canada), transformant de petits ruisseaux intermittents en torrents dévastateurs. Les crues torrentielles ont emporté des ponceaux, inondé de nombreuses résidences et coupé certaines routes, notamment à l'Anse-au-Sable et à Bic. Les dommages causés par le ruisseau Côté (appelé aussi

Branche Isidore), à l'ouest de Bic, étaient particulièrement spectaculaires.

Le contexte morpho-sédimentologique du ruisseau Côté est décrit par Locat (1978) et par Langlois et Dubois (1987). Après avoir pris naissance sur un bas plateau (entre 100 à 130 m d'altitude) recouvert de sédiments marins (mince couche de sables littoraux reposant sur des argiles marines de la Mer de Goldthwait), ce ruisseau intermittent, qui draine un petit bassin de moins de 4 km<sup>2</sup>, dévale un escarpement rocheux relativement raide avant de rejoindre la basse terrasse qui s'étale 30 mètres plus bas (figure 5). L'incision torrentielle postglaciaire a creusé une gorge relativement étroite dans l'escarpement dont la pente moyenne est de 25%. L'escarpement et les flancs de la gorge sont masqués par des colluvions grossières riches en blocs anguleux décimétriques. Un cône alluvial holocène d'une centaine de mètres de rayon, largement végétalisé, s'est développé à la sortie de la gorge. La partie distale du cône est occupée par deux résidences et par une entreprise de pêche dont les bâtiments sont adossés au ruisseau.

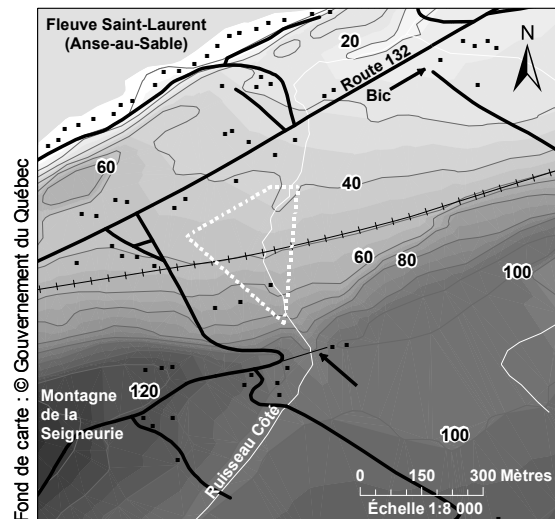


Figure 5. Carte de localisation du cône dans le secteur du Bic. Le cône est identifié par le triangle blanc et le ponceau problématique par une flèche noire.

Entre son embouchure dans le Havre du Bic et l'extrémité nord-est de la Montagne de la Seigneurie, le ruisseau Côté est traversé par six ponts et ponceaux (route 132, voie ferrée, chemins privés). L'un d'eux s'est avéré particulièrement problématique lors de la crue. Il est situé au sommet de l'escarpement, juste en amont de la gorge (figure 5). Il s'agit en fait d'un simple remblai qui obstrue presque totalement le ravin, à l'exception d'un ponceau circulaire de moins d'un mètre de diamètre. Ce remblai – qui a été reconstruit tel quel après la crue – supporte un chemin privé qui dessert une résidence isolée au sommet de l'escarpement. Durant la crue, non seulement le ponceau s'est révélé sous-dimensionné par rapport au débit du torrent, mais il a rapidement été obstrué par des débris de différentes natures (des arbres notamment). Le remblai a dès lors fait office de barrage, jusqu'à ce qu'il soit incisé et emporté, provoquant une crue catastrophique sur le cône

alluvial en contrebas. Les conséquences géomorphologiques de cette crue sont de deux types. Elle a d'abord déposé à la sortie de la gorge une couche de blocs décimétriques dont les plus gros font de 50 à 80 cm de longueur. La zone d'accumulation, en forme de triangle, s'étirait sur une centaine de mètres de longueur environ de part et d'autre du ruisseau. Il s'agit pour l'essentiel de blocs de grès anguleux qui proviennent principalement du fond et des flancs de la gorge (colluvions remaniées), mais aussi du remblai (chemin privé) qui a été emporté par la crue. Entre le cône alluvial et la route 132, la crue a ensuite provoqué un élargissement majeur du cours d'eau. Le recul des berges dépassait 4 à 5 mètres à certains endroits.

La crue torrentielle a dévasté l'entreprise de pêche qui a été déclarée zone sinistrée. Les sédiments grossiers transportés par la crue ont envahi la cour de l'entreprise et enseveli plusieurs engins de pêche. Le recul des berges a provoqué l'effondrement du mur arrière du principal entrepôt de l'entreprise (figure 6a). Une résidence située en rive gauche près de la route 132 a perdu plusieurs mètres de terrain pendant que son système d'évacuation des eaux usées était détérioré par l'érosion (figure 6b).



Figure 6. (a) La torrent a sapé les fondations d'un entrepôt appartenant à une entreprise de pêche, provoquant l'effondrement du mur arrière. (b) Le ruisseau Côté, près de la route 132. Le recul de la berge a détruit une partie de ce terrain privé, exhumant le système de traitement des eaux usées.

### 3.3 Les embâcles de la Rivière Ouelle 2005

À St-Pacôme (figure 7), dans le Bas-Saint-Laurent, la rivière Ouelle draine un bassin-versant de plus de 800 km<sup>2</sup> en grande partie constitué de crêtes appalachiennes. Le lit de la rivière est composé de blocs décimétriques et de graviers grossiers d'héritage glaciaire, et des lits rocheux affluent en maints secteurs. En aval de St-Pacôme, la rivière Ouelle méandrent dans les argiles de la mer de Goldwaith. St-Pacôme se trouve à une rupture de pente de la rivière entre le secteur des Appalaches et celui des Basses-Terres du

St-Laurent. Le gradient granulométrique et l'ajustement morphométrique de la section transversale témoignent de cette rupture de pente marquée. À St-Pacôme, le lit de la rivière est composée de sédiments décimétriques alors que moins de 3 kilomètres en aval le lit est composé de limon argileux. La profondeur et la largeur moyenne de la rivière augmentent également de manière significative alors que la vitesse de l'écoulement diminue considérablement. L'ajustement du style fluvial souligne cette rupture de pente. En amont, la rivière est contrôlée par la lithologie et composée d'une succession de seuils et de mouilles faisant des méandres de petite amplitude alors qu'en aval elle comporte une série de méandres de forte magnitude dont la migration latérale est en partie contrôlée par la cohésion des sédiments composant les berges. La présence de chenaux multiples à l'interface entre ces deux zones souligne la perte de compétence de la rivière et l'accumulation de sédiments.

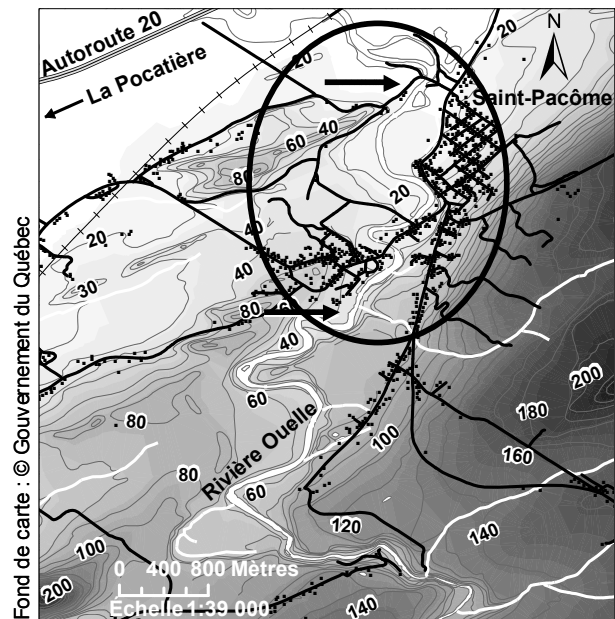


Figure 7. Carte de localisation du cône dans le secteur de St-Pacôme. Le cône est identifié par le cercle noir et la longueur approximative de l'embâcle est indiquée par les deux flèches noires.

Le cône alluvial de St-Pacôme possède deux particularités. D'abord, le régime sédimentaire de la rivière Ouelle n'est pas aussi actif qu'il a pu l'être durant la période postglaciaire (Holocène). Il n'en demeure pas moins que les sédiments actuels charriés par la rivière ont tendance à s'y accumuler ce qui provoque l'aggradation du lit. Ensuite, le cône est circonscrit entre des crêtes appalachiennes qui contraignent son développement. Cette particularité fait en sorte que la migration latérale et le changement de cours du lit de la rivière sont passablement limités.

De fortes précipitations liquides et des températures au-dessus du point de congélation au début du mois d'avril 2005 ont provoqué une débâcle printanière dans la Rivière-Ouelle dont les conséquences furent très dommageables pour les habitants de St-Pacôme. Les 2, 3 et 4 avril, plus de

80 mm de pluie sont tombés sur un couvert nival de plus de 50 cm d'épaisseur, faisant augmenter le débit de la rivière de 2 à plus de 120 m<sup>3</sup>/s (Environnement Canada). Le couvert de glace, toujours en place dans l'ensemble de la rivière, s'est rapidement disloqué et plusieurs embâcles se sont formés, dont un dans le village même de St-Pacôme. Le 5 avril, l'embâcle a provoqué un refoulement, créant une inondation majeure dans le village. Plus de 150 personnes ont été évacuées dont une cinquantaine de résidents provenant d'une vingtaine d'habitations qui se trouvaient dans la zone inondée. Des béliers mécaniques ont été utilisés pour démanteler l'embâcle que la dislocation des couvertures glacielles des tronçons amont continuait à alimenter. Le 9 avril, l'embâcle fut démantelé et l'eau a repris son cours normal.

L'intérêt du cône de St-Pacôme ne réside pas tant dans les dynamiques sédimentaire et torrentielle du cône que dans la configuration aggravante de ces formes pour la formation des embâcles de glace. En effet, si les styles fluviaux et les sédiments évoluent de l'amont vers l'aval, il en va de même de la dynamique glacielle. Deux types de débâcle peuvent survenir au printemps. Une débâcle mécanique survient lorsque le couvert de glace en place subit une pression hydrodynamique qui le disloque et qui transporte les morceaux vers l'aval. Ce type de débâcle survient lorsque le cours d'eau subit une augmentation rapide du débit et que les vitesses moyennes dans le tronçon fluvial sont suffisamment élevées pour provoquer la migration des blocs de glace. Une débâcle thermique s'amorce quand le couvert de glace se détériore sur place du fait de l'augmentation des températures de l'air et de l'eau. Ce type de débâcle survient lorsque les températures s'élèvent tranquillement, que le débit de la rivière augmente progressivement et que le tronçon fluvial est composé de segments où la vitesse est relativement lente. Le cône alluvial de St-Pacôme s'est développé dans la zone de transition entre un secteur propice à une débâcle mécanique et un secteur propice à une débâcle thermique. Dans cette zone, les blocs de glace provenant de la dislocation mécanique risquent de s'accumuler sur le couvert de glace en décrépitude thermique, provoquant un embâcle dont l'ampleur dépend fortement de l'aire d'alimentation. Cette situation n'est pas unique et d'autres secteurs du Bas-St-Laurent présentent des configurations similaires (secteur de Fond d'Ormes sur la rivière Rimouski et la rivière Mitis près de St-Angèle).

Dans le cas de l'inondation du mois d'avril 2005 à St-Pacôme, des aménagements le long du tronçon fluvial ont aussi joué un rôle sur le sinistre. Le pont Beaulieu dont la hauteur de dégagement était faible a contribué à bloquer l'écoulement de la glace vers l'aval. Des digues construites dans les années 40 pour minimiser les risques d'inondation ont également pu être un facteur aggravant en minimisant le débordement dans la plaine inondable. L'eau et les blocs étant concentrés dans le chenal, l'augmentation du niveau d'eau et la construction de l'embâcle ont été exacerbées. À certains endroits, l'embâcle faisait plus de 3 mètres d'épaisseur (figure 8a). Suite à l'inondation, les mesures de prévention retenues ont été de démanteler le pont, de draguer une portion de la rivière, de rehausser certaines digues et d'en affaiblir d'autres pour permettre le

débordement et l'accumulation des blocs de glace sur la plaine d'inondation (figure 8b).

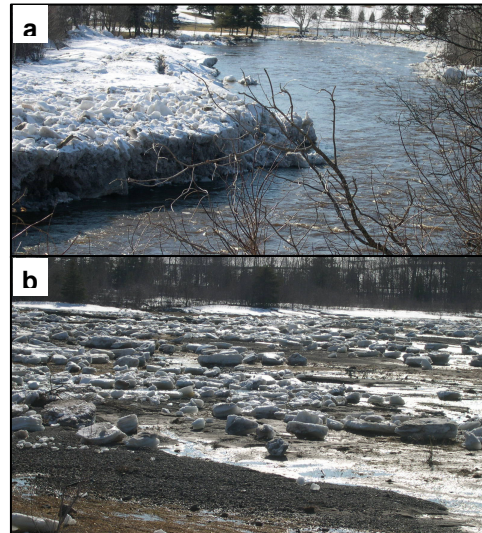


Figure 8. (a) L'embâcle de glace sur la rivière Ouelle faisait plusieurs kilomètres de longueur et atteignait jusqu'à trois mètres d'épaisseur. (b) Les glaces échouées et les dépôts de débordement sur la plaine inondable dans la portion aval du cône alluvial.

#### 3.4 Crise torrentielle et avulsion à Cortéreal 2007

Le cône de la rivière Petite Fourche se situe à sa confluence avec la Rivière Dartmouth en Gaspésie (figure 9). Dans sa portion amont, la Petite Fourche est une rivière graveleuse linéaire avec une succession de seuils et de mouilles. Des bancs d'accumulation non végétalisés et composés de sédiments décimétriques soulignent la puissance du régime sédimentaire de la rivière. Les sédiments proviennent en grande partie de l'érosion de dépôts quaternaires. Le cône se forme à l'endroit où la Petite Fourche émerge d'un segment linéaire où le contrôle lithologique est marqué et où la pente est relativement élevée (2-3%). Elle s'est incisée dans des dépôts fluvio-glaciaires de la Dartmouth créant deux terrasses fluviales. Ces terrasses bordent le cône dont le rayon est de plus de 800 mètres. Une dizaine de résidences se trouvent sur le cône et la route de la Montée de Cortéreal le traverse perpendiculairement.

Trois précipitations de plus de 100 mm sont survenues dans les secteurs de Gaspé, Percé et Matane aux mois d'août, octobre et novembre 2007. Les 8 et 9 août 2007, plus de 115 mm de pluie sont tombés sur la péninsule gaspésienne. Ces précipitations ont engendré des réponses hydrologiques dont les conséquences sur les habitants et les infrastructures se feront sentir pendant plusieurs années. À Rivière-au-Renard, près de Gaspé, une succession d'événements aggravants ont généré une inondation de grande ampleur dans la vallée provoquant deux décès, la destruction de quelques ponts et des dégâts majeurs à des dizaines de propriétés.

La rivière Petite Fourche (figure 9) a réagi tout aussi violemment à ces précipitations du mois d'août par le biais d'une inondation de cône alluvial. L'inondation de la rivière

Petite Fourche est d'abord le résultat d'une aggradation majeure en amont du pont, provoquant l'élévation du lit de la rivière (figure 10a). L'aggradation provient du refoulement de l'eau par le pont dont la section transversale était insuffisante pour assurer la libre circulation. Le surcreusement et l'affaissement du pont dans la rivière ont exacerbé le refoulement et l'aggradation du lit. L'effondrement du pont isolait plusieurs habitants en rive droite. L'eau a alors débordé sur le cône, car elle ne pouvait plus être contenue dans la section transversale. Une partie de l'eau a été canalisée par la route et plusieurs habitations sur le cône ont été inondées. Une autre partie de l'eau a provoqué une érosion régressive à partir de la Petite Fourche et un nouveau chenal s'est formé contournant le pont. L'érosion régressive a débuté en aval du pont et a fini par rejoindre le cours d'eau en amont après avoir sectionné la route (figure 10b).

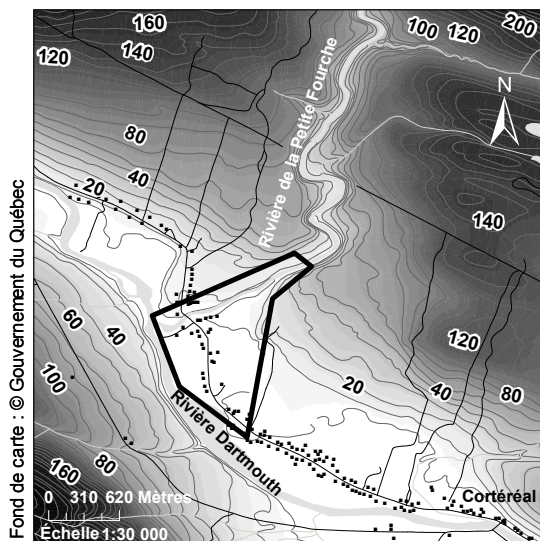
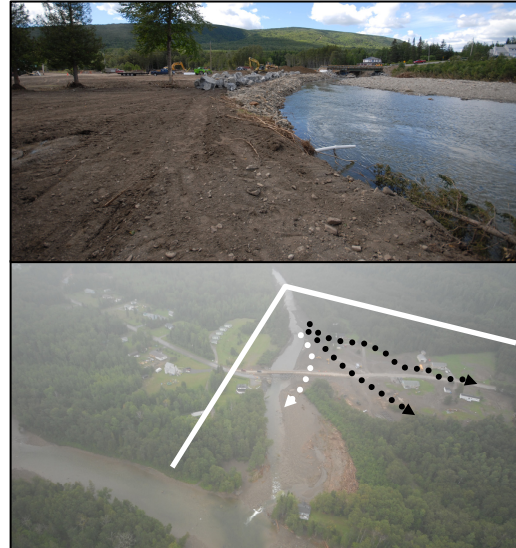


Figure 9. Carte de localisation du cône dans le secteur de Cortéreal. Le cône est identifié par le polygone noir.

L'inondation de ce secteur de Cortéreal diffère de manière significative des inondations de plaine. Elle souligne de manière dramatique qu'une onde de crue se propageant sur un cône alluvial comporte un double aléa : à l'inondation s'ajoutent la migration latérale du chenal et l'avulsion de nouveaux chenaux. Sur ces formes, la délimitation d'une zone d'inondation utilisant l'hydrologie statistique est inadéquate, car elle ne considère d'aucune manière la dynamique d'érosion et d'accumulation qui la caractérise. Sur ces formes, les cours d'eau doivent être plus qu'ailleurs considérés comme des convoyeurs d'eau et de sédiments. Une altération dans l'écoulement de l'eau provoque un ajustement au niveau de la dynamique sédimentaire comme ce fut le cas à Cortéreal.

À Cortéreal, le pont devra être remplacé. La construction de ce nouveau pont représente une opportunité pour mettre en place une approche tenant compte du régime hydrologique et sédimentaire des rivières sur cône alluvial. Sur ces formes, des ponts plus larges permettant le passage de l'eau tout en minimisant le refoulement et l'aggradation

devraient être envisagés. Cette approche est aussi valable pour les ponceaux. Les précipitations du mois de novembre dans la région de Percé ont provoqué des situations similaires. Des ponceaux sous-dimensionnés, combinés à une aggradation du lit des cours d'eau, ont causé des débordements et du ruissellement par canalisation routière, endommageant des dizaines de maisons.



Photographie : © Ministère sécurité publique du Québec

Figure 10. (a) Vue de l'amont vers l'aval en regardant le pont. Le banc de gravier sur la droite représente la hauteur atteinte par le lit de la rivière suite au refoulement et à l'aggradation du lit. La hauteur atteinte rejoint celle de la plaine alluviale à gauche. (b) Délimitation du cône et du tracé emprunté par la rivière lors de l'avulsion. Il est à noter qu'au moment des photos des travaux de dragage et de canalisation avaient déjà été réalisés.

#### 4. DISCUSSION

Nous avons utilisé quatre cas récents d'inondation pour illustrer à la fois la récurrence et la diversité des risques d'inondation sur les cônes alluviaux de l'Est du Québec. Ces quatre cas suggèrent plusieurs éléments de réflexion. D'abord, ils soulignent que les schémas de sécurité publique incorporant les risques d'inondation doivent considérer de manière distincte les inondations de plaine et les inondations de cône alluvial dans l'Est du Québec. La nature particulière des risques d'inondation sur les cônes alluviaux doit être reconnue au Québec comme elle l'est dans d'autres régions de l'Amérique du Nord (CGER, 1996).

Ensuite, ces événements accentuent le besoin d'une réflexion quant aux rôles des aménagements dans l'accroissement des risques d'inondation sur ces formes. Par exemple, l'installation d'un ponceau dans le fond d'un ravin de cône alluvial est une pratique courante. Le problème est que souvent le ponceau a un diamètre bien inférieur à la section du ravin qu'il a pour but de drainer. Pour permettre de franchir le ravin, on construit souvent des remblais qui se transforment en véritables barrages en cas d'obstruction du ponceau. L'eau et les sédiments s'accumuleront derrière jusqu'à sa rupture, ce qui

provoquera un coup d'eau beaucoup plus puissant que la crue elle-même, ou encore jusqu'à ce que le cours d'eau soit canalisé dans une autre direction par la création d'un nouveau chenal. Dans cette dernière situation, les routes et les drains routiers sur cône alluvial deviennent des canalisations efficaces qui peuvent tout simplement déplacer le problème de débordement dans un secteur distant du cône.

Troisièmement, ces événements renforcent la nécessité d'un programme de recherche sur la torrencialité et la dynamique des cônes alluviaux au Québec. Contrairement à certains autres phénomènes, les cônes alluviaux sont aisément repérables sur le terrain et par photo-interprétation. Les zones concernées par le risque torrentiel et les inondations de cône alluvial sont donc relativement faciles à délimiter. La récurrence, l'intensité et la réponse morphologique des événements sont des données plus délicates à quantifier. L'étude de la stratigraphie des cônes – et tout particulièrement la datation des restes organiques qu'ils contiennent (sols enfouis, troncs d'arbres, charbons) –, la dendrochronologie et les enquêtes historiques (archives, journaux, témoignages) permettraient de préciser la fréquence des crises torrentielles antérieures (avulsions et engravements) et donc de mieux cerner le risque torrentiel.

Finalement, les événements de l'été 2007 et les cas présentés soulèvent la question des tempêtes dont on se demande si elles ne sont pas plus fréquentes qu'auparavant. La crise torrentielle de 1996 est due à une tempête en provenance de l'Ouest canadien qui s'est arrêtée sur l'est du Québec. Les tempêtes tropicales Frances en 2004, Katrina et Rita en 2005, puis Noël en 2007 ont elles aussi provoqué des crises torrentielles sur la Côte-Nord et en Gaspésie. Faut-il y voir la conséquence des tendances climatiques récentes? Le réchauffement climatique, en provoquant une hausse des températures océaniques dans la zone inter-tropicale, pourrait, à terme, se traduire au Québec par une augmentation de la fréquence des pluies extrêmes. Si le réchauffement climatique se traduit par une augmentation de la fréquence des ouragans, les risques liés à l'activité des torrents pourraient s'accroître. Les cônes alluviaux et les risques qui y sont associés devront être intégrés aux schémas d'aménagement des régions concernées.

## 5. CONCLUSION

Les cas présentés illustrent la diversité des dynamiques morphologiques et torrentielles de cônes dans l'Est du Québec :

- la crue torrentielle aggravée par les barrages de castors et le transport de sédiments et de débris menant au débordement et à la canalisation de l'eau dans un nouveau chenal à l'Anse St-Jean;
- le refoulement du ruisseau Côté par dessus un remblai provoquant son incision et le transport massif de sédiments déposés sur le cône au Bic;
- la mise en place à la rupture de pente d'un cône d'un embâcle de glace sur la rivière Ouelle provoquant une inondation majeure dans le village de St-Pacôme;

- l'aggradation massive aggravée par l'effondrement d'un pont, le débordement et l'avulsion dans la rivière Petite Fourche.

Ces cas soulignent l'importance de revoir la conception des infrastructures (ponts, ponceaux, et drains routiers notamment) implantées sur des cours d'eau de cône alluvial. Ces cours d'eau sont associés à des transferts d'eau, de sédiments et de blocs de glace. Toute infrastructure permettant le passage de l'eau doit aussi considérer le passage d'une quantité significative de sédiments, de blocs de glace et de débris de grande taille tels des arbres et des blocs métriques. Les cas analysés soulignent à l'évidence que les infrastructures doivent être ajustées en fonction des particularités qui caractérisent les inondations sur cône alluvial.

## 6. REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier André Robert et François Petit pour l'évaluation de l'article et pour les commentaires et suggestions qui ont permis d'améliorer la qualité de ce dernier. Nous remercions également Jérôme Dubé pour la cartographie.

## 7. RÉFÉRENCES

- Boucher, D., 1996. Analyse morphométrique des cônes de déjection dans le Bas-Saint-Laurent-Gaspésie, Québec, et dans les Alpes du sud, France. *Mémoire de baccalauréat, Université du Québec à Rimouski*, 15 p.
- Brooks, G. R. et Lawrence, D. E., 2000. Geomorphic effects of flooding along reaches of selected rivers in the Saguenay region, Québec, July 1996. *Géographie physique et Quaternaire*, 54 (3): 281-299.
- Eaton, B. C. et Lapointe, M. F., 2001. Effects of large floods on sediment transport and reach morphology in the cobble-bed Sainte Marguerite River. *Geomorphology*, 40: 291-309.
- Commission on Geosciences, Environment, and Resources, National Research Council, 1996. Alluvial fan flooding. *National Academy Press*, Washington, 182 p.
- Gouvernement du Québec, 1997. Rapport de la Commission scientifique et technique sur la gestion des barrages. 2 tomes : rapport + annexes.
- Kochel, R.C., 1990. Humid fans of the Appalachian Mountains. In: Rachochi, A.H., Church, M. (Eds.), *Alluvial Fans: A Field Approach*. *John Wiley and Sons*, Chichester, pp. 109-129.
- Langlois, C. et Dubois, J. M. M., 1987. Interprétation géomorphologique d'une photographie aérienne d'un littoral de relief appalachien (région de Bic, Québec, Canada). Photo-interprétation, 3, fascicule 2.
- Lapointe, M. F., Secretan, Y., Driscoll, S. N., Bergeron N. et Leclerc M., 1998. Response of the Ha! Ha! River to the flood of July 1996 in the Saguenay Region of Quebec: Large-scale avulsion in a glaciated valley. *Water Resources Research*, 34 (9): 2383-2392
- Locat, J., 1978. Le Quaternaire de la région de Baie-des-Sables-Trois-Pistoles. Ministère des Richesses naturelles, Québec, DPD-605, 64 p.