



# MODIFICATIONS GÉOMORPHOLOGIQUES CAUSÉES PAR UNE FORTE CRUE : EXEMPLES PHOTOGRAPHIÉS DANS LA RÉGION DU SAGUENAY, AU QUÉBEC

1998

**G.R. Brooks  
et  
D.E. Lawrence**

This document was produced  
by scanning the original publication.

Ce document est le produit d'une  
numérisation par balayage  
de la publication originale.





COMMISSION GÉOLOGIQUE DU CANADA  
RAPPORT DIVERS 62

**MODIFICATIONS GÉOMORPHOLOGIQUES  
CAUSÉES PAR UNE FORTE CRUE : EXEMPLES  
PHOTOGRAPHIÉS DANS LA RÉGION  
DU SAGUENAY, AU QUÉBEC**

G.R. Brooks et D.E. Lawrence

1998

©Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 1998

N° de catalogue M41-8/62F

ISBN 0-660-96066-4

En vente au Canada dans les  
bureaux de la Commission géologique du Canada suivants :

601, rue Booth  
Ottawa (Ontario) K1A 0E8

3303-33rd Street N.W.,  
Calgary, Alberta T2L 2A7

101-605 Robson Street  
Vancouver, B.C. V6B 5J3

Un exemplaire de dépôt légal de la présente publication peut également  
être consulté dans certaines bibliothèques publiques du Canada.

This publication is also available in English

Prix sujet à changement sans préavis

#### **Illustration de la page couverture**

Le barrage de la Chute-Garneau sur la rivière Chicoutimi, après la  
crue. Toute l'eau de la rivière a emprunté un nouveau chenal qui a été  
érodé à côté du barrage (voir la figure 16). (GSC 1997-42N)

#### **Lecture critique**

*J.J. Viellette*

#### **Adresse des auteurs**

*Commission géologique du Canada  
601, rue Booth  
Ottawa (Ontario) K1A 0E8*

*Réception du manuscrit original : 1997-07*

*Approbation de la version finale pour publication : 1997-09*

# ***Modifications géomorphologiques causées par une forte crue : exemples photographiés dans la région du Saguenay, au Québec***

***G.R. Brooks et D.E. Lawrence***

---

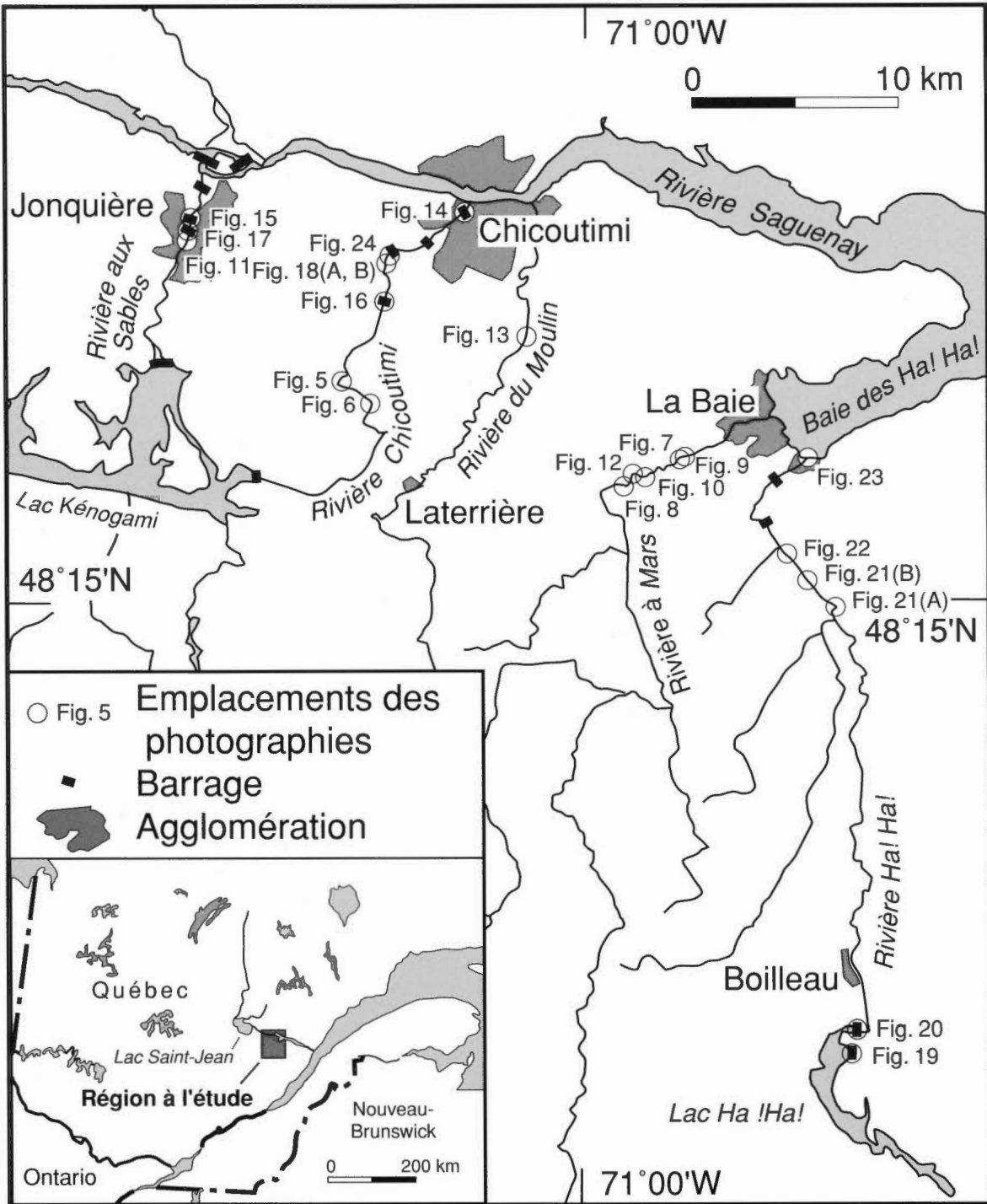
## ***Résumé***

*Des inondations graves arrivent fréquemment au Canada. Le présent rapport a pour but de sensibiliser le public à ce danger naturel. Il contient des photographies d'une gamme d'effets géomorphologiques et d'impacts sur les plaines d'inondation, les ponts et les barrages causés par les inondations catastrophiques de 1996 dans la région du Saguenay, au Québec.*

## ***Abstract***

*Severe flooding is a natural hazard that occurs regularly in Canada. This report is intended to increase public awareness of the effects of severe flooding. It presents photographically an array of geomorphic effects and impacts on floodplains, bridges, and dams using examples from the 1996 flood disaster in the Saguenay area, Quebec.*





*Figure 1. Carte de la région du Saguenay, sud du Québec, montrant où ont été prises les photographies contenues dans le présent document.*

## INTRODUCTION

Les crues de cours d'eau sont un phénomène géomorphologique fréquent lorsque le débit est supérieur à la capacité d'un chenal et que l'eau envahit la basse plaine adjacente. Au Canada, les crues sont habituellement d'origine naturelle, causées par une fonte nivale rapide, de fortes pluies ou des pluies prolongées, des débâcles printanières et, dans une moindre mesure, la création ou la rupture de barrages naturels (Andrews, 1993). Les dommages qu'entraînent l'inondation, la sédimentation ou l'érosion associées aux crues peuvent toucher les lieux habités, les terres agricoles et les infrastructures qui empiètent sur les chenaux des cours d'eau ou les plaines alluviales voisines.

Aux fins de la planification de l'aménagement des terres et des travaux techniques, les crues d'un cours d'eau sont analysées comme un problème de probabilité en utilisant les enregistrements des débits de pointe annuels. Cette analyse est basée sur la notion selon laquelle les crues sont des phénomènes aléatoires, c'est-à-dire que les crues se produisant dans un intervalle de temps donné constituent un échantillon faisant partie d'une population infiniment plus grande (Leopold et al., 1964). L'intervalle de récurrence de chaque débit maximal annuel dans l'enregistrement des débits est calculé et l'intervalle récurrence-débit de l'ensemble complet des données est tracé. Les estimations de l'intervalle de récurrence des crues de faible fréquence et de forte intensité qui excèdent les valeurs déjà enregistrées sont calculées en extrapolant une courbe ajustée aux données. Le tracé de la distribution de la fréquence-intensité des crues reflète directement l'enregistrement des débits, mais il sera modifié par les crues subséquentes, particulièrement par les plus grosses. À partir de la distribution, on peut estimer l'intensité d'une crue de probabilité donnée aux fins de la gestion ou de la conception des zones inondables (p. ex. la crue de 100 ans – débit qui correspond à un intervalle de récurrence d'une fois par siècle). Cependant, ces fréquences de crue sont des probabilités statistiques et les intervalles de récurrence ne peuvent pas servir à prévoir quand seront réellement atteints ces débits. Il existe toujours une chance qu'une crue majeure se produise à toute année et qu'elle soit supérieure à la crue «nominale» établie (p. ex. crue de 50 ans, crue de 100 ans, crue de 500 ans).

En 1996, des crues importantes ont eu lieu sur un certain nombre de cours d'eau en Colombie-Britannique, en Alberta, en Saskatchewan et au Manitoba. La plus désastreuse, cependant, s'est produite dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean dans le sud du Québec (fig. 1), après des averses surabondantes tombées entre le 18 et le 21 juillet 1996 (voir les témoignages recueillis dans Germain, 1997, et Grescoe, 1997). Les crues ont causé dans la région du Saguenay de graves inondations et une vaste érosion le long de certains tronçons de cours d'eau, entraînant un élargissement important des chenaux et l'érosion des berges, la rupture de barrages et de digues et des dommages aux ponts et aux routes. Les zones commerciales et industrielles longeant les cours d'eau ou qui en dépendent ont été gravement touchées. Les inondations ont forcé l'évacuation de 16 000 personnes et causé la destruction ou l'endommagement

d'environ 1 350 maisons (Emergency Preparedness Digest, 1997). Miraculeusement, deux personnes seulement ont perdu la vie dans cette région (à cause d'un petit glissement de terrain déclenché par les eaux de pluie plutôt que par les eaux de crue) sur les dix personnes tuées dans le sud du Québec durant ces violentes précipitations. L'ensemble des dommages subis par le sud du Québec et attribuables aux pluies tombées entre le 18 et le 21 juillet et aux inondations associées sont évalués à au moins 800 millions de dollars (Emergency Preparedness Digest, 1997), ce qui en fait un des désastres naturels les plus coûteux du Canada.

Il est essentiel de sensibiliser et d'informer le grand public sur les risques naturels afin de réduire les répercussions que peuvent avoir les catastrophes naturelles. Bien qu'elle soit aiguë immédiatement après un désastre important, cette prise de conscience s'atténue plus on s'éloigne du lieu d'un désastre et plus le temps passe. Le présent rapport a pour but de présenter des exemples (photographies) d'une gamme de modifications géomorphologiques causées par les fortes crues survenues dans la région du Saguenay. Nous espérons que ce document et l'ensemble de 35 diapositives qui l'accompagnent (vendu séparément) contribueront à sensibiliser et à informer le public sur les fortes crues et à réduire ainsi les désastres qui en découlent.

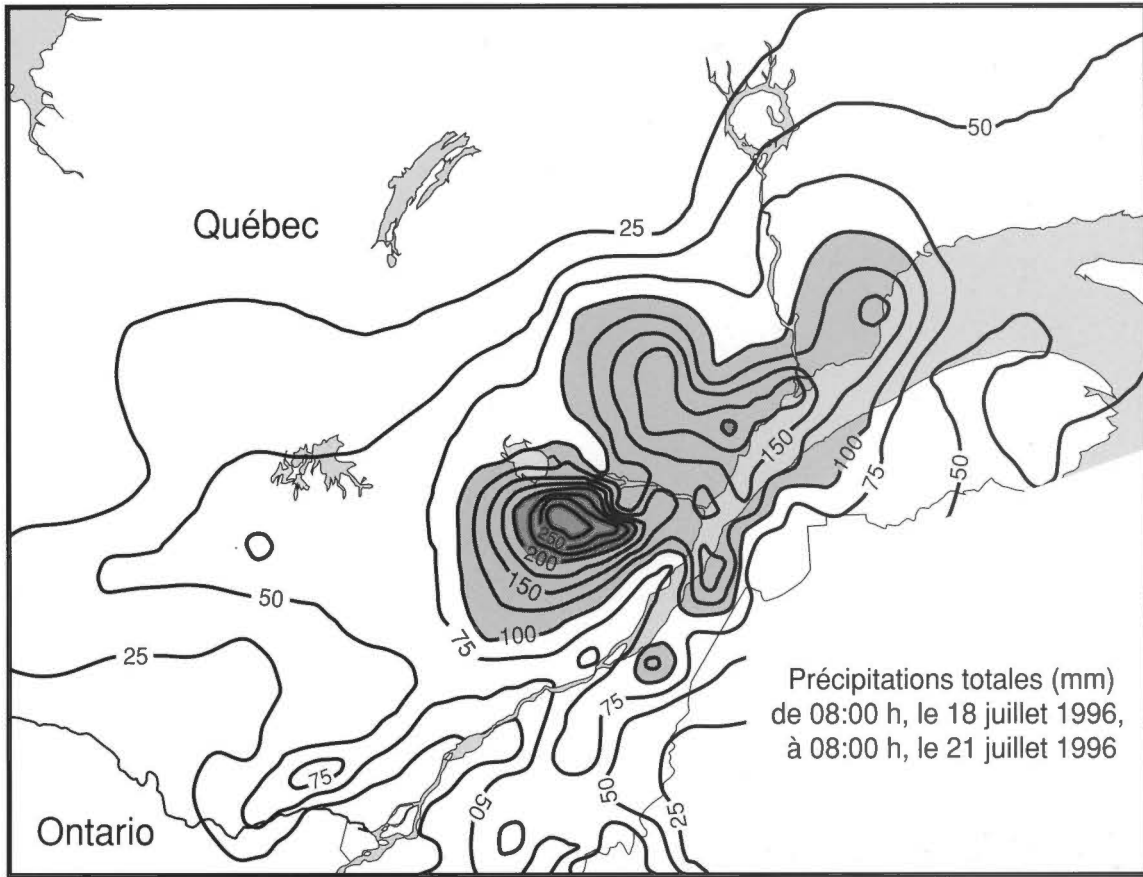
## **CONTEXTE**

### **Le déluge**

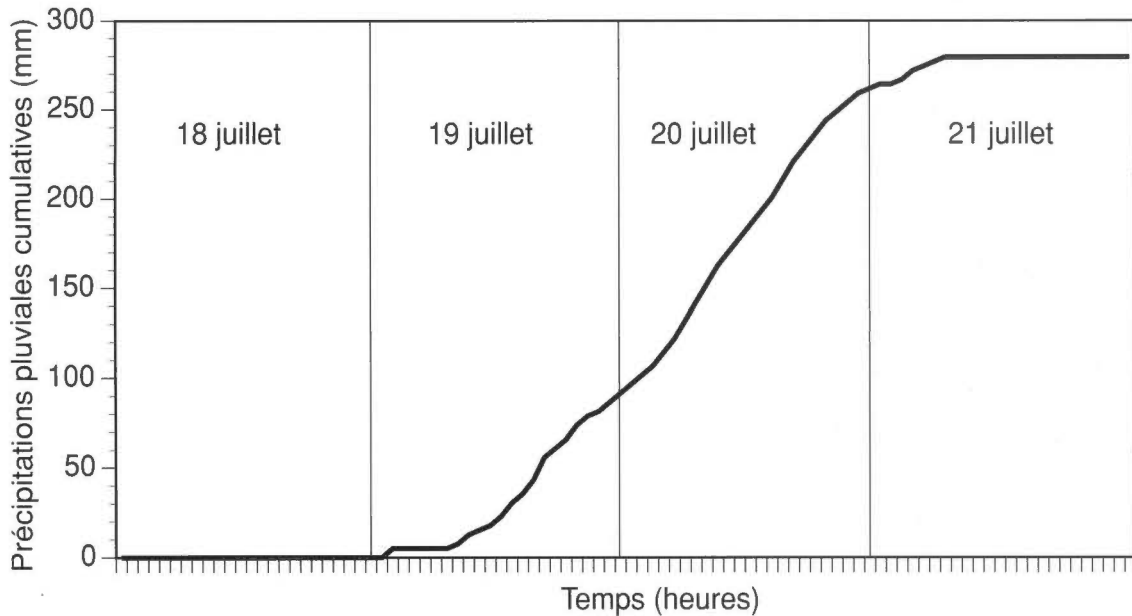
Les crues de la région du Saguenay ont été causées par un important système dépressionnaire qui s'était immobilisé au-dessus de l'embouchure du fleuve Saint-Laurent du 18 au 21 juillet 1996 et qui a déversé des volumes records d'eau pluviale (Environnement Canada, 1996). Comme le montre la figure 2, plus de 50 mm d'eau de pluie sont tombés sur une vaste région du sud du Québec durant cette tempête. La zone où les précipitations ont été les plus abondantes se trouve au sud de la région de Jonquière–Chicoutimi–La Baie dans la vallée du Saguenay où la hauteur des pluies a dépassé 200 mm. C'est ainsi qu'à certaines stations de cette zone, les précipitations ont atteint 210,9 mm (Portage-des-Roches), 271,9 mm (Pikauba) et 279,4 mm (Rivière-aux-Écorces) (Environnement et Faune Québec, 1996; Milton et Bourque, 1997). Même si ces précipitations s'échelonnent sur une période de quatre jours, la plus grande partie est en fait tombée en moins de 36 heures débutant à environ 8 h, le 19 juillet, et se terminant à environ 20 h, le 20 juillet (fig. 3; Environnement et Faune Québec, 1996).

Les averses abondantes du 18 au 21 juillet, combinées à la quasi-saturation du sol par les pluies précédentes de juillet (Environnement Canada, 1996) et à la couverture relativement mince et discontinue de sédiments qui repose sur le substratum rocheux des hautes terres laurentiennes, ont causé les vastes inondations de la rive nord du Saint-Laurent dans le sud du Québec. L'inondation la plus dévastatrice a eu lieu le long des rivières se déversant vers le nord dans la vallée du Saguenay et dont le cours supérieur





**Figure 2.** Carte montrant les hauteurs des pluies tombées sur le sud du Québec entre 8 h, le 18 juillet, et 8 h, le 21 juillet 1996 (d'après Milton et Bourque, 1997).



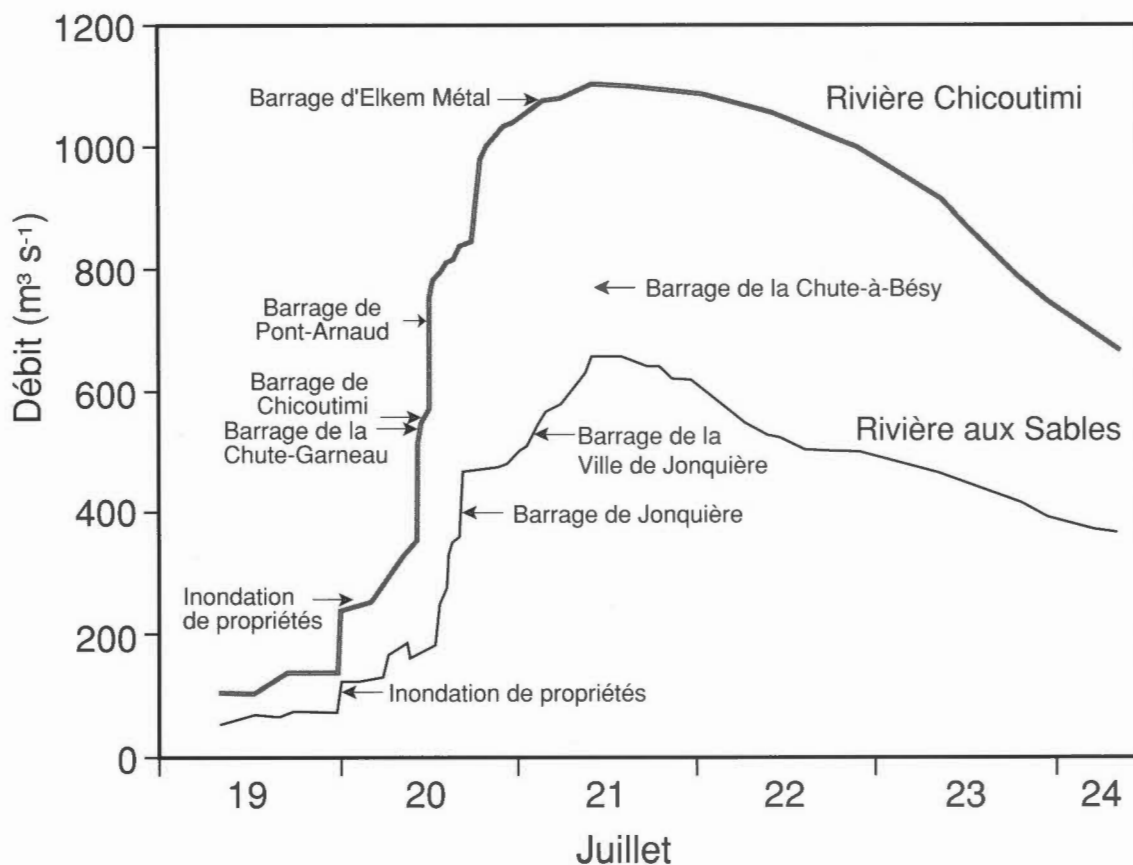
**Figure 3.** Diagramme cumulatif des pluies tombées à la station de la rivière aux Écorces (061020) où a été enregistrée la hauteur pluviométrique la plus élevée dans le sud du Québec entre le 18 et le 21 juillet 1996 (Commission scientifique et technique sur la gestion des barrages, 1997).

se situe à l'intérieur de la zone de réception des pluies de plus de 200 mm. En particulier, les zones inondées les plus vastes longeait la rivière aux Écorces, la rivière Pikauba et la rivière Cyriac qui se jettent dans le lac Kénogami (ce sont donc des affluents de la rivière aux Sables et de la rivière Chicoutimi) et la rivière du Moulin, la rivière à Mars et la rivière Ha! Ha! (fig. 1). D'autres rivières dans la région du Saguenay et ailleurs dans le sud du Québec ont aussi connu d'importantes inondations durant cette tempête.

## Les débits

Les données sur les débits enregistrées à la rivière aux Sables et à la rivière Chicoutimi illustrent l'ampleur des inondations de la région du Saguenay. Ces deux rivières prennent leur source dans le réservoir Kénogami, ont des débits régularisés et partagent une zone d'alimentation commune (fig. 1). Durant la crue, les débits ont culminé à  $653 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  le long de la rivière aux Sables et à  $1\,100 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  le long de la rivière Chicoutimi à la fin de l'avant-midi du 21 juillet (fig. 4; Commission scientifique et technique sur la gestion des barrages, 1997). Ce sont les débits les plus élevés jamais enregistrés depuis qu'ils sont consignés, soit depuis 1917 pour la rivière aux Sables et depuis 1924 pour la rivière Chicoutimi. Les débits sont considérablement plus élevés que les débits journaliers maximaux enregistrés à ce jour, soit quelque 2,5 fois plus élevés que le niveau de  $265 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  atteint le long de la rivière aux Sables et 2,0 fois plus élevés que les  $561 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  atteint le long de la rivière Chicoutimi (R. Couture, Milieu hydrique, Environnement et Faune Québec, communication personnelle, 1976).

Par comparaison, le débit critique au-delà duquel a lieu l'inondation des propriétés privées est de  $150 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  le long de la rivière aux Sables et de  $255 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  le long de la rivière Chicoutimi (fig. 4; Environnement et Faune Québec, 1996). Lorsque le débit dépasse  $170 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  le long de la rivière aux Sables et  $310 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  le long de la rivière Chicoutimi, les maisons commencent à être inondées (fig. 4; Environnement et Faune Québec, 1996). Les débits de pointe de ces deux rivières, pendant la crue de juillet 1996, ont été bien évidemment supérieurs à ces valeurs critiques.



**Figure 4.** Débits de la rivière Chicoutimi et de la rivière aux Sables entre le 19 et le 24 juillet 1996 (Commission scientifique et technique sur la gestion des barrages, 1997). Figurent également le niveau seuil de chaque rivière au-delà duquel les propriétés privées situées sur les basses plaines de la vallée commencent à être inondées (Environnement et Faune Québec, 1996) et la capacité de décharge maximale des petits barrages régularisant le débit des deux rivières (Commission scientifique et technique sur la gestion des barrages, 1997). Même si la capacité de décharge maximale de l'un des barrages situés sur la rivière aux Sables est au-dessus du débit de pointe, les eaux ont tout de même débordé de ce barrage.



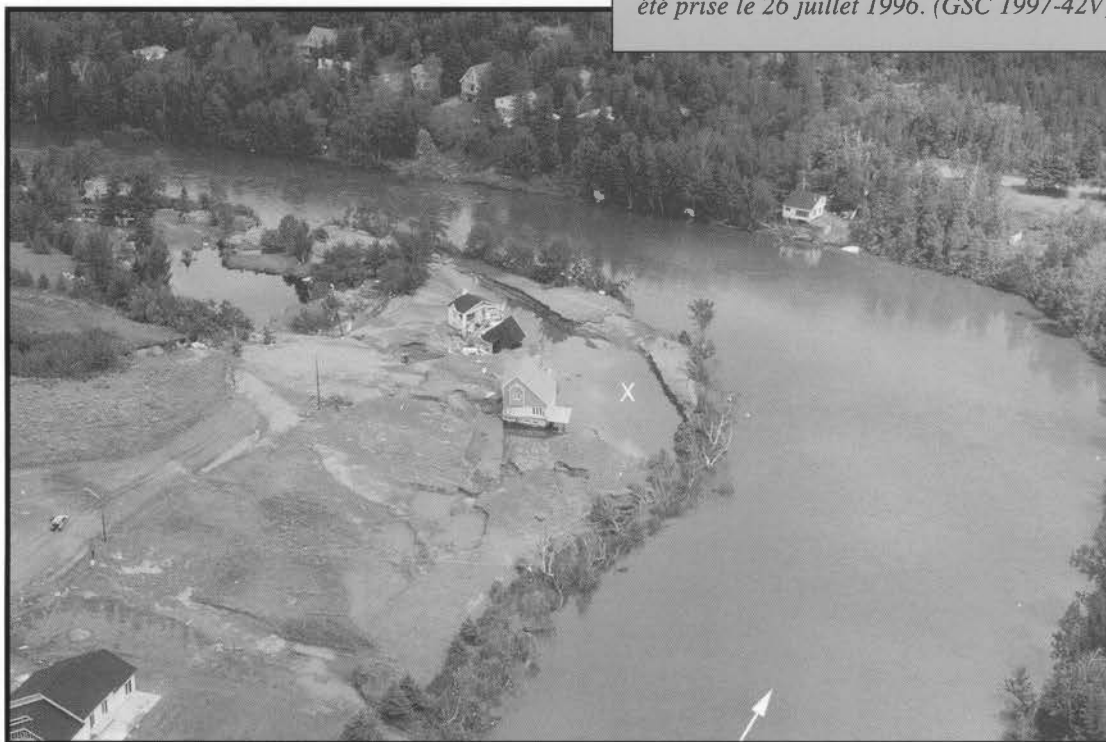
## Les photographies

Les crues de la région du Saguenay ont modifié de multiples façon (décrites ci-dessus) la géomorphologie des zones fluviales. Ces modifications varient considérablement d'une rivière à une autre et d'un tronçon à un autre d'une même rivière, reflétant les effets des différentes caractéristiques de la morphologie naturelle et des aménagements artificiels. Les photographies ci-jointes illustrent différents types de changements, des plus subtils aux plus violents. Bien que les exemples choisis proviennent de la région du Saguenay, ils sont largement représentatifs des conséquences qui peuvent découler de crues démesurées.

Les photographies ont été prises à cinq des rivières les plus gravement touchées dans la région du Saguenay : la rivière aux Sables, la rivière Chicoutimi, la rivière du Moulin, la rivière à Mars et la rivière Ha! Ha! (fig. 1). Elles ont toutes été prises entre les 25 et 29 juillet 1996, peu de temps après la décrue. Une légende étoffée décrivant les modifications géomorphologiques illustrées accompagne chaque photographie. En général, les photographies sont présentées de sorte à illustrer des conséquences de plus en plus graves des inondations. La mention des rives gauche et droite est faite par rapport à un observateur qui regarde vers l'aval.



**Figure 6.** Une érosion locale de la plaine d'inondation peut avoir lieu là où se produisent des tourbillons turbulents et une séparation de l'écoulement en aval d'objets (p. ex. arbres, clôtures et bâtiments) situés le long de la berge ou sur la plaine d'inondation (voir p. ex. Miller et Parkinson, 1993). Sur cette photo, une dépression allongée (x) a creusé par affouillement la plaine d'inondation de la rivière Chicoutimi. L'affouillement a probablement été causé par la turbulence créée en aval d'une rangée de petits arbres poussant sur le bord de la rive. À noter les deux maisons endommagées par l'inondation des eaux de crue et le sous-cavage par érosion de la dépression. La flèche donne la direction du courant de la rivière. La photographie a été prise le 26 juillet 1996. (GSC 1997-42V)



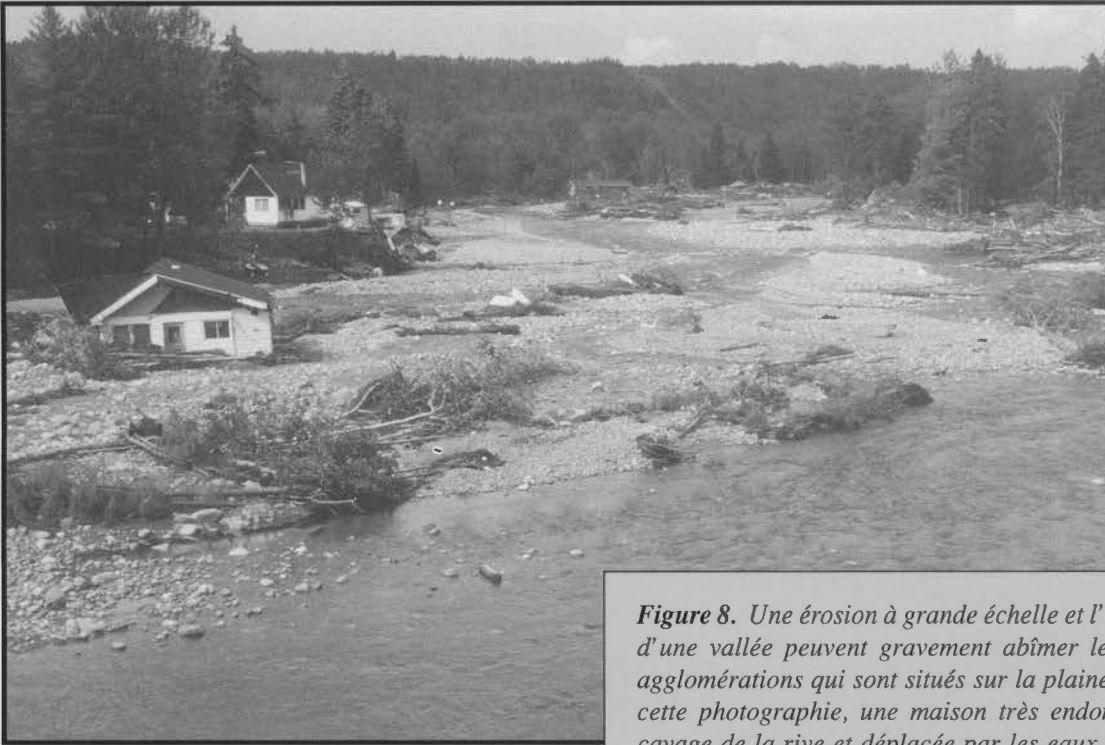
**Figure 5.** Lorsque les crues sont fortes, les eaux envahissent la plaine d'inondation et d'autres zones alluviales basses. Cette photographie montre une zone d'inondation longeant la rivière Chicoutimi qui a été inondée durant la crue et qui a été faiblement alluvionnée par les eaux de crue chargées de sédiments. Les maisons, à cet endroit, ont été endommagées par l'inondation. La rivière s'écoule vers le coin gauche inférieur de la photographie prise le 26 juillet 1996. (GSC 1998-015A)



**Figure 7.** Dans certains tronçons, lorsqu'un certain débit est dépassé, la force (puissance) du courant excède le seuil de résistance à l'affouillement du fond de la vallée. Il peut alors se produire une érosion à grande échelle du périmètre du chenal et de la plaine d'inondation (Baker et Costa, 1987). La force du courant reflète non seulement le débit, mais aussi le gradient et la largeur de l'écoulement, alors que le seuil de résistance se rapporte à la rugosité hydraulique, à la couverture de végétation, à la morphologie et à la composition du fond de la vallée. Le seuil varie donc d'une rivière à une autre et d'un tronçon à un autre, bien que dans certains cas, il ne soit pas dépassé dans le cas de toute crue plausible. Si le seuil de résistance est dépassé, le degré d'érosion durant une telle crue reflétera l'histoire récente des crues de la rivière et la durée de l'écoulement excédant ce seuil (Kochel, 1988; Costa et O'Connor, 1995).

Le long du tronçon de 10 km sur le cours inférieur de la rivière à Mars, le débit de la crue était suffisamment puissant pour que le seuil de résistance soit dépassé. L'érosion étendue du fond de la vallée est imputable à l'action combinée de l'érosion des rives concaves, de l'avulsion du chenal et de la réactivation ou de la création de chenaux (Brooks et al., 1997). Le résultat net est la formation d'un chenal de crue d'une largeur variant entre 50 et 380 m qui, par endroits, est beaucoup plus large que le chenal existant avant la crue. Le chenal existant après la décrue présente un écoulement anastomosé contrairement au chenal à méandres présent avant la crue dont l'écoulement n'était pas divisé. Cette photographie montre le chenal élargi par la crue et la morphologie divisée de la rivière à Mars après la crue, en regardant vers l'aval à partir d'un point situé à environ 5 km en amont de l'embouchure de la rivière. Des processus semblables ont aussi considérablement élargi le chenal le long du tronçon inférieur (3 km) de la rivière Ha! Ha! Photographie prise le 27 juillet 1996. (GSC 1997-42X)



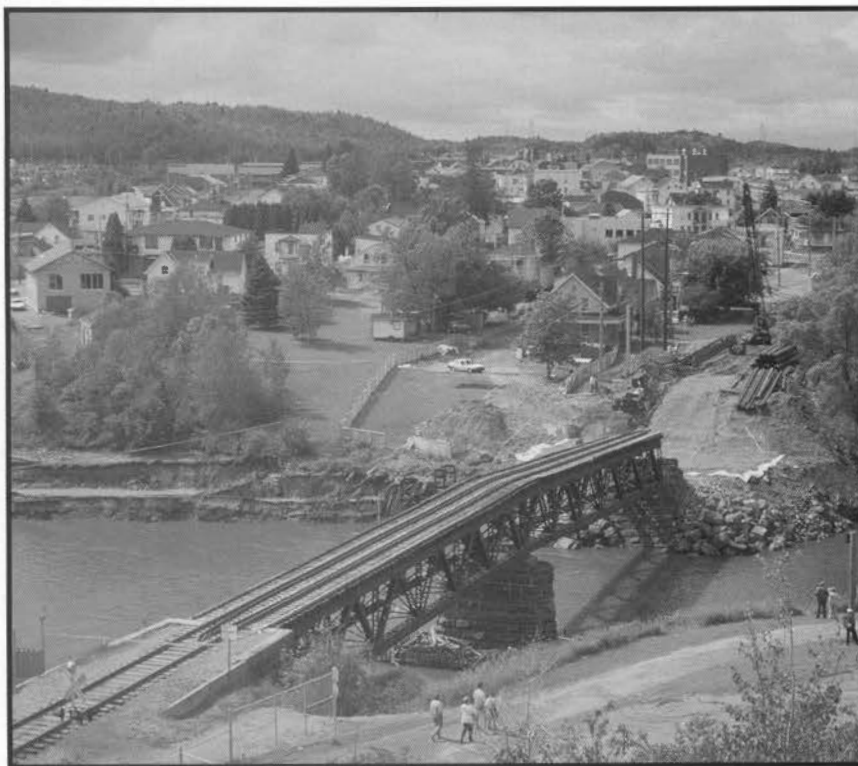


**Figure 8.** Une érosion à grande échelle et l'inondation du fond d'une vallée peuvent gravement abîmer les bâtiments et les agglomérations qui sont situés sur la plaine d'inondation. Sur cette photographie, une maison très endommagée par sous-cavage de la rive et déplacée par les eaux de crue repose sur un banc de gravier accumulé dans le chenal de crue longeant la rivière à Mars. Photographie prise le 27 juillet 1996. (GSC 1997-42CC)

**Figure 9.** L'érosion latérale de la plaine d'inondation et des terrasses longeant les rives est inhérente à l'élargissement marqué d'un chenal de cours d'eau durant une crue importante. L'élargissement considérable du chenal inférieur de la rivière à Mars et de la rivière Ha! Ha! durant la crue est attribuable en partie à l'érosion latérale des terrasses de sédiments longeant les marges de la plaine d'inondation. Par endroits, les maisons construites près du bord des terrasses en cours d'érosion ont été endommagées ou détruites par le sous-cavage du sol associé à l'érosion des berges. À ce lieu situé le long de la rivière à Mars, une maison se trouve en surplomb au-dessus de la berge et plusieurs maisons voisines ont été complètement détruites. La perte de ces maisons ou les dommages qu'elles ont subis sont d'autant plus inusités qu'elles étaient situées au-dessus du niveau de crue. Photographie prise le 27 juillet 1996. (GSC 1997-42DD)

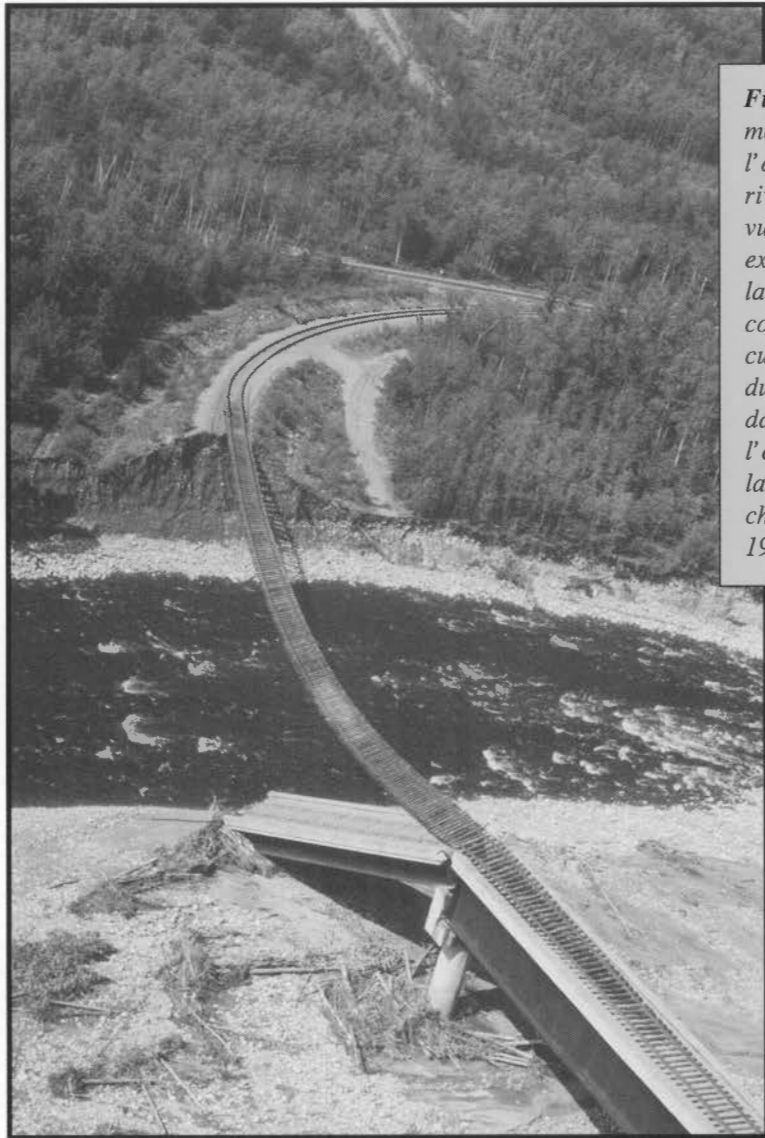


**Figure 10.** La migration des chenaux latéraux sur le fond d'une vallée se traduit inévitablement par l'empiétement d'une section du chenal contre les versants de la vallée, ce qui produit une érosion locale. Le long de la rivière à Mars, ce processus a produit une érosion spectaculaire de la berge haute à environ 7,5 km en amont de l'embouchure. L'érosion de la base de la berge a causé une rupture de 25 à 35 m de hauteur, qui a introduit de grandes quantités de sédiments (sable, gravier, silt/argile d'origine marine) dans la rivière. L'assise de la voie ferrée, passant au milieu du versant, a été simultanément sapée par le courant, laissant un tronçon de rails de quelque 125 m de longueur suspendu dans le vide. Photographie prise le 27 juillet 1996. (GSC 1998-015B)



**Figure 11.** Durant les fortes crues, les ponts sont habituellement endommagés sans être nécessairement recouverts par l'eau. Les fondations des piles situées au milieu du chenal et les culées qui s'avancent dans le courant de crue créent un étranglement local du courant, ce qui cause une accélération de la vitesse du courant, donc l'érosion du lit ou de la berge de la rivière. En outre, de gros tourbillons peuvent se former en aval des culées et éroder la rive pendant qu'une turbulence se crée peut-être juste devant et derrière une pile et de part et d'autre de celle-ci, érodant, par conséquent, le lit de la rivière.

Bien qu'il soit en réparation dans la photo, ce pont ferroviaire traversant la rivière aux Sables a été beaucoup endommagé par la crue. La culée sur la rive gauche (la rive éloignée du chenal) a été érodée, abîmant la travée gauche, et l'appui gauche de la pile s'est incliné par suite de l'affouillement du lit autour de sa fondation. Photographie prise le 26 juillet 1996. (GSC 1998-015C)



**Figure 12.** La rive concave (ou externe) d'un méandre de rivière est une partie de chenal alluvial où l'érosion est inévitable. Les ponts enjambant une rivière au sommet d'un méandre peuvent être vulnérables à l'érosion de la rive concave. Un exemple extrême d'une telle érosion est le site photographié sur la rivière à Mars. Durant la crue, l'érosion de la rive concave sur quelque 75 m a complètement arraché la culée gauche d'un pont ferroviaire sur la rive éloignée du chenal, causant l'effondrement de la travée gauche dans la rivière. La voie ferrée, sous-cavée par l'effondrement de la travée et l'érosion consécutive de la rive concave, est demeurée suspendue au-dessus du chenal après la crue. Photographie prise le 27 juillet 1996. (GSC 1998-015D)

**Figure 13.** Les chutes à Martel, le long de la rivière du Moulin, présentent un autre exemple de dommages causés à un pont. Ici, les eaux de crue ont débordé au-dessus d'un pont qui crée un engorgement sur un tronçon étroit de la rivière, emportant une partie de la route et endommageant gravement deux maisons construites près de la rivière. Même si le pont a été abîmé, sa structure de base est demeurée intacte. Photographie prise le 27 juillet 1996. (GSC 1997-42WW)



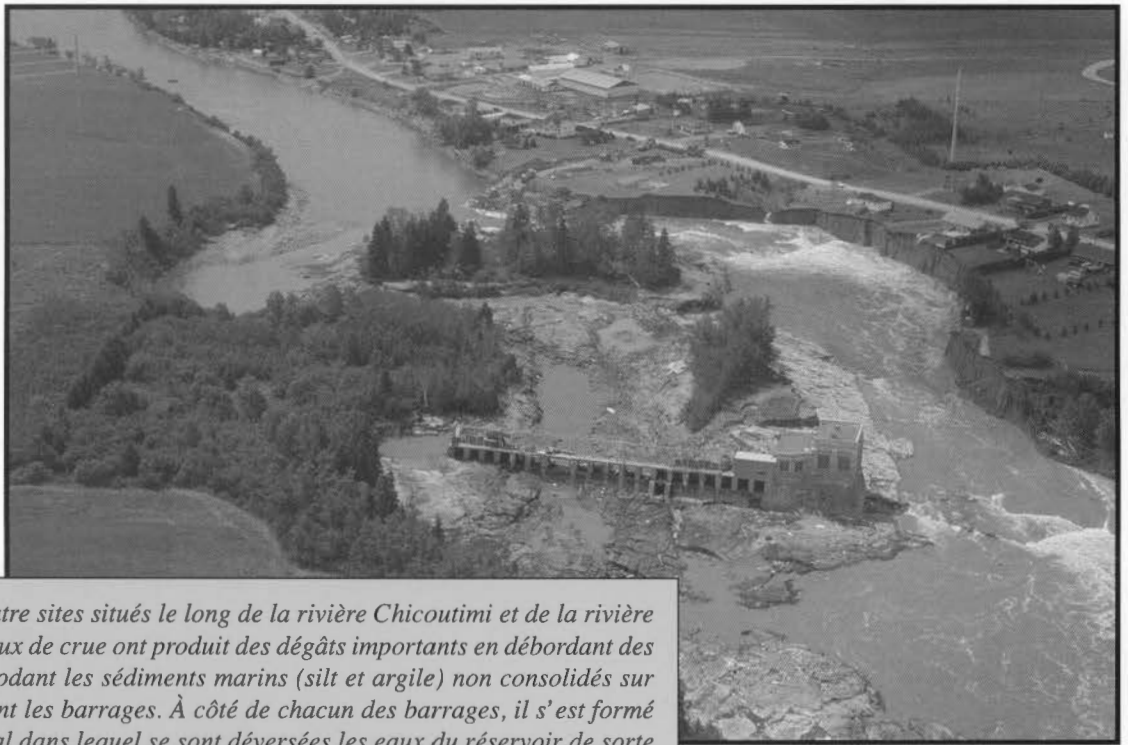
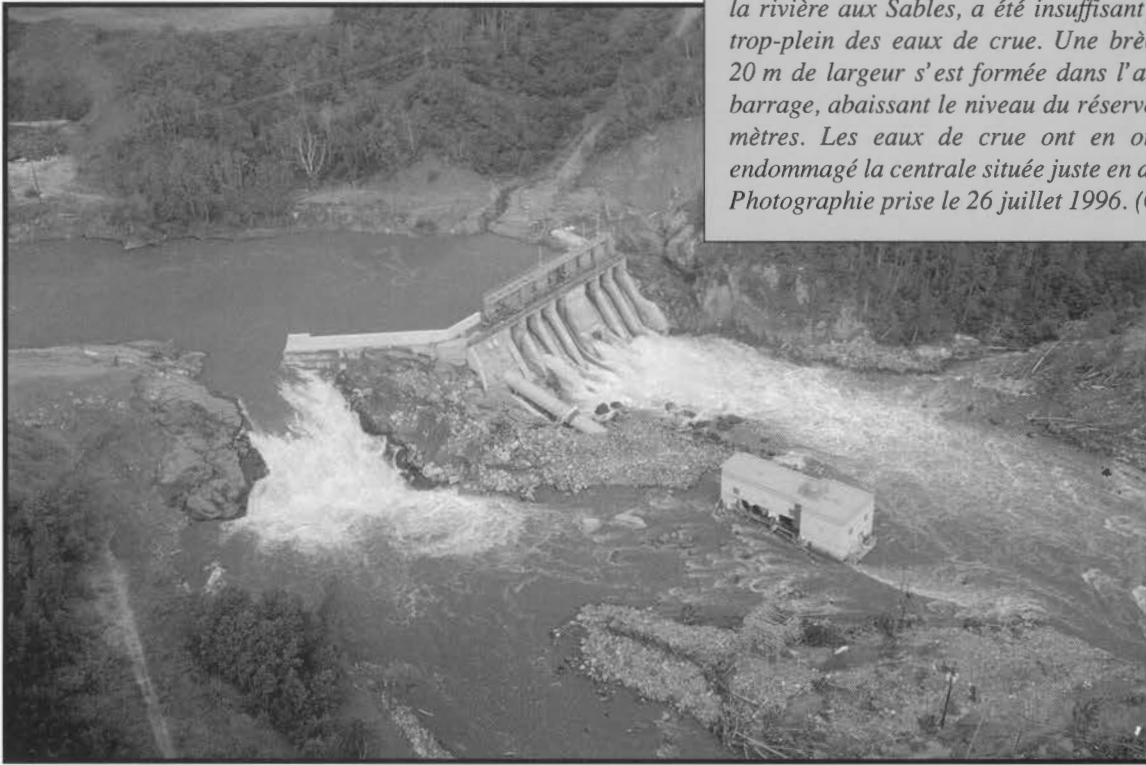


**Figure 14.** Lorsque le débit entrant d'un réservoir excède le débit sortant, le niveau du réservoir monte et il peut se produire un débordement du barrage ou de la digue. Ce débordement a lieu si la capacité totale de la sortie du barrage est dépassée ou si le débit sortant est freiné, par exemple, par des vannes partiellement ouvertes ou ne fonctionnant pas comme il se doit ou bouchées par des débris (fig. 4; Jansen, 1983). Le débordement d'un barrage ou d'une digue rend vulnérables les zones contiguës et en aval, en particulier s'il se produit une importante érosion de l'ouvrage ou d'une culée. Durant les crues de la région du Saguenay, un certain nombre de petits barrages n'ont pas pu retenir le trop-plein, ce qui a entraîné des bris de différents types et de degrés différents selon la morphologie générale des environs du barrage. La photographie ainsi que celles des figures 16 à 19 montrent des dégâts subis à des barrages qui régularisent le débit de petits réservoirs.

Cette photographie montre un barrage en béton dont le débordement a permis à une grande nappe d'eau de traverser une zone résidentielle et commerciale du centre-ville de Chicoutimi. Le torrent résultant a arraché la végétation et la mince couche de sédiments qui recouvrait le substratum rocheux, a érodé des routes et a démoli et endommagé des bâtiments, dont quelques-uns ont été littéralement emportés loin de leur fondation. Un large chenal d'érosion s'est creusé à travers la zone urbaine. Le sable et le gravier emportés par les eaux de débordement se sont déposés en formant un banc dans un étang de grande étendue, là où les eaux de crue ont rejoint le chenal original juste avant son embouchure. Le barrage n'a subi que des dommages visibles minimes pendant le débordement et il a continué de remplir sa fonction après la décrue. Photographie prise le 26 juillet 1996. (GSC 1997-42S)



*Figure 15. Le barrage de la Ville de Jonquière, barrant la rivière aux Sables, a été insuffisant pour retenir le trop-plein des eaux de crue. Une brèche de quelque 20 m de largeur s'est formée dans l'aile de béton du barrage, abaissant le niveau du réservoir de plusieurs mètres. Les eaux de crue ont en outre gravement endommagé la centrale située juste en aval du barrage. Photographie prise le 26 juillet 1996. (GSC 1997-42L)*

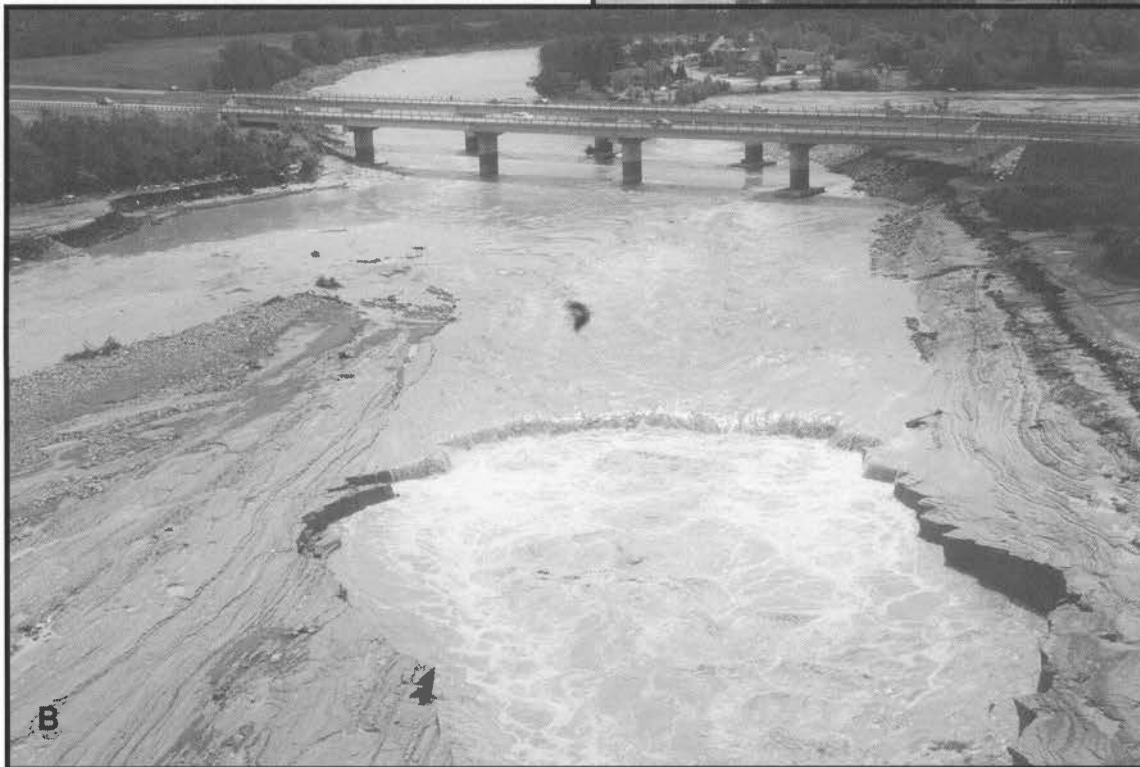
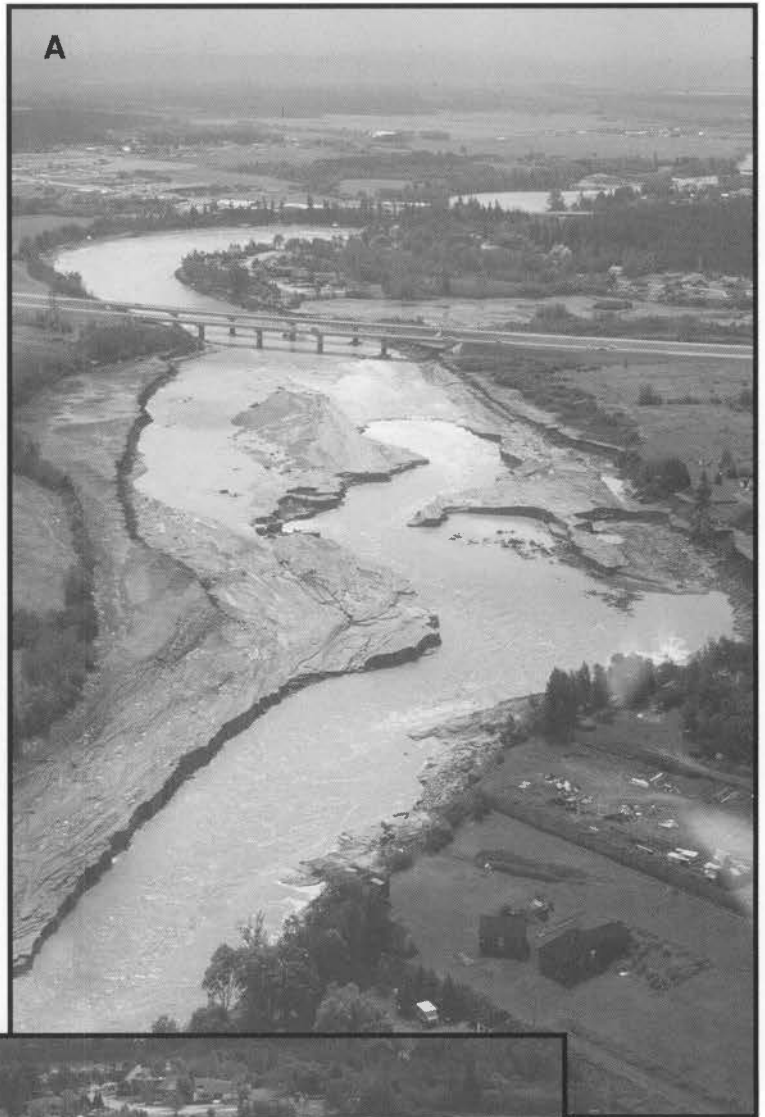


*Figure 16. À quatre sites situés le long de la rivière Chicoutimi et de la rivière aux Sables, les eaux de crue ont produit des dégâts importants en débordant des barrages et en érodant les sédiments marins (silt et argile) non consolidés sur lesquels s'appuient les barrages. À côté de chacun des barrages, il s'est formé un nouveau chenal dans lequel se sont déversées les eaux du réservoir de sorte que toute l'eau de la rivière a emprunté ce nouveau chenal. Sur cette image du barrage de la Chute-Garneau sur la rivière Chicoutimi, un nouveau chenal fraîchement creusé dirige le courant à côté du barrage, sans emprunter les vannes murales ni les vannes à glissières. Le barrage est indemne mais non opérationnel. Photographie prise le 26 juillet 1996. (GSC 1997-42N)*

**Figure 17.** Le débordement des eaux sur les sédiments marins non consolidés jouxtant un barrage (flèche) dans le centre-ville de Jonquière a creusé une gorge profonde dans laquelle s'écoule toute l'eau de la rivière aux Sables depuis la décrue. Cependant, l'action combinée de l'érosion des versants latéraux et de l'incision d'un chenal profond à l'origine de la gorge a provoqué l'effondrement par sous-cavage de plusieurs immeubles à appartements situés au-dessus du niveau de crue le long de la rive gauche (ou la plus éloignée) de la rivière. Photographie prise le 26 juillet 1996. (GSC 1997-42J)



**Figure 18.** La création d'un nouveau chenal à côté et en contre-bas d'un barrage provoque une chute du niveau de base local, ce qui peut causer l'incision d'un chenal en amont dans le fond du réservoir. On trouve un exemple remarquable de ce phénomène le long de la rivière Chicoutimi, dans la zone du réservoir asséché du barrage de Pont-Arnaud. (A) Un chenal peu profond à parois abruptes, de 1,2 km de longueur, a été taillé dans des sédiments marins (silt et argile) reposant sur le fond du réservoir (GSC 1997-42Q). (B) L'incision est le résultat du recul de la rupture de pente pendant la crue, ce qui a formé un gradin produisant une chute de faible hauteur (entre 2 et 4 m) (GSC 1998-015E). La turbulence et la cavitation en amont du gradin ont affouillé et sous-cavé la paroi quasi verticale des sédiments marins reposant au-dessous du sommet de la chute. Cette érosion fait migrer le point de rupture vers l'amont, allongeant la «gorge» d'érosion et conservant le profil en gradin du point de rupture. Une chute existait encore à l'extrémité amont de la gorge lorsque ces photographies ont été prises le 26 juillet 1996. La majorité du recul de ce point de rupture s'est produit entre le matin du 21 juillet après le drainage du réservoir et le matin du 24 juillet (INRS-Eau, 1997).





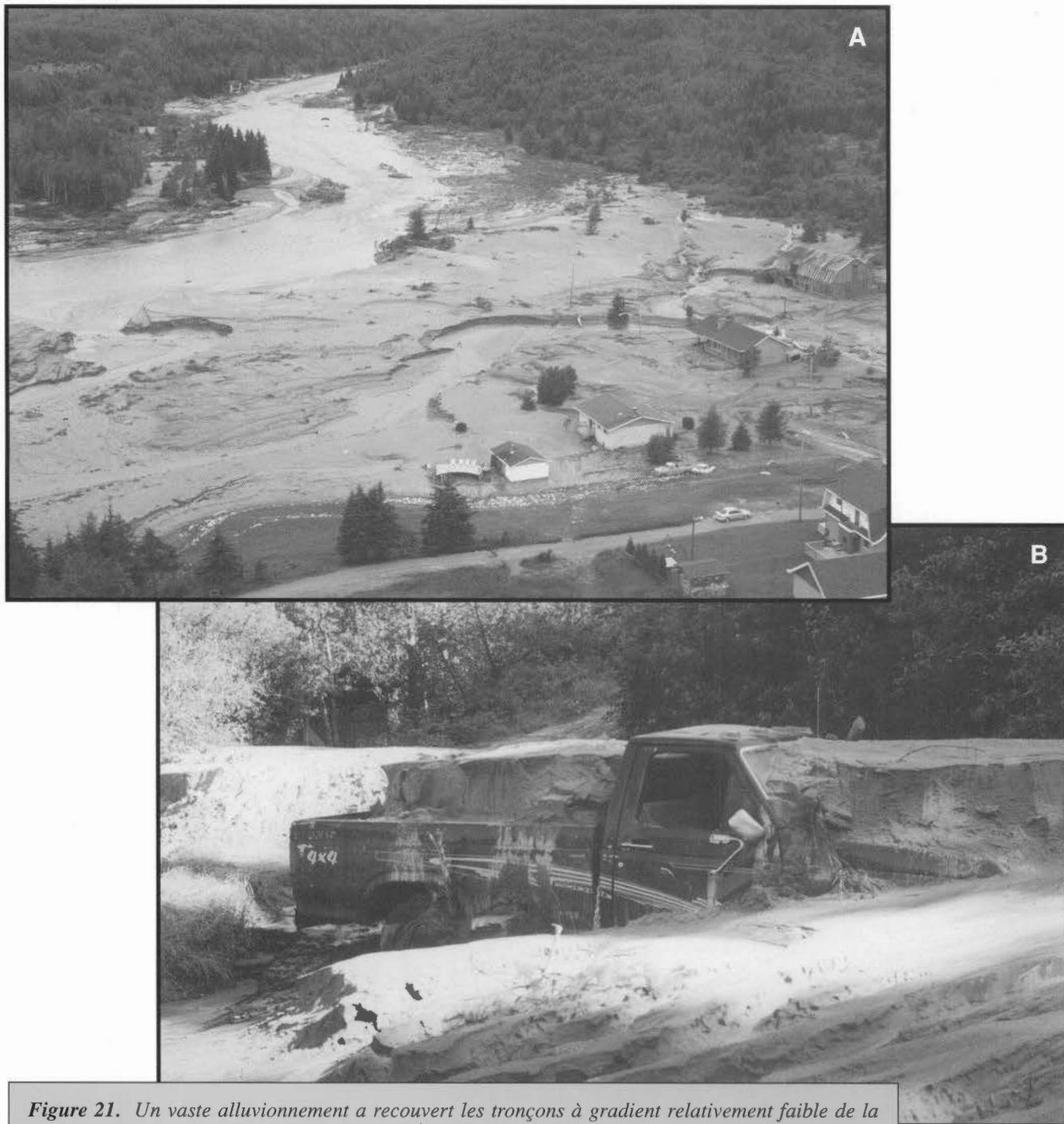
**Figure 19.** Le débordement et l'érosion d'un barrage ou d'une digue peuvent créer une brèche qui, en s'élargissant avec le temps, provoque une augmentation du débit sortant. La vitesse d'érosion de la brèche dépend d'un certain nombre de facteurs, notamment de la forme, de la hauteur, de la largeur, de la longueur et de la composition du barrage ou de la digue et du volume d'eau endigué susceptible d'être libéré. Le débit commencera à diminuer lorsque l'apport d'eau s'affaiblira soit parce que le niveau du réservoir a baissé, soit parce que l'érosion de l'exutoire a ralenti. Le bris d'un barrage ou d'une digue peut libérer un volume d'eau catastrophique, dont le débit varie généralement en raison directe du volume d'eau présent dans le réservoir (voir Costa, 1988).

Même si un nombre de barrages ont été rompus dans la région du Saguenay (p. ex. figures 14 à 17), le drainage de ces petits réservoirs n'a pas significativement accru le débit de crue. Ce ne fut, cependant, pas le cas du réservoir du lac Ha! Ha! (superficie de 8,1 km<sup>2</sup>). Durant les pluies diluviennes, les eaux de ruissellement sont venues grossir les eaux du lac Ha! Ha! et les faire déborder au-dessus d'une digue de col en terre étroite mesurant 162 m de longueur et de 2 à 3 m de hauteur. L'érosion subséquente de la digue et des matériaux superficiels sous-jacents a causé le drainage du lac Ha! Ha! L'eau libérée a grandement accentué l'écoulement des eaux d'averse en aval, d'où une crue d'un ordre de grandeur au moins aussi élevé que le débit journalier maximal enregistré à ce jour, soit 114 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> (Brooks et al., 1997). Le drainage du lac a été rapide, ne durant que quelque 18 heures (Commission scientifique et technique sur la gestion des barrages, 1997), mais non catastrophique étant donné la résistance générale à l'érosion fluviale du diamicton de sable silteux reposant sous la digue. Néanmoins, le débit de crue le long de la rivière Ha! Ha! a été le plus élevé de la région si l'on tient compte de la superficie du bassin de drainage. La vue sur cette photographie est orientée vers l'aval en direction du nouvel exutoire. Le fond lacustre subaérien et la surface d'eau résiduelle apparaissent dans l'avant-plan; les flèches indiquent les bords de l'ancienne digue. Les photographies des figures 19 à 22 montrent les dégâts produits en aval par le déluge. Photographie prise le 28 juillet 1996. (GSC 1997-42B)



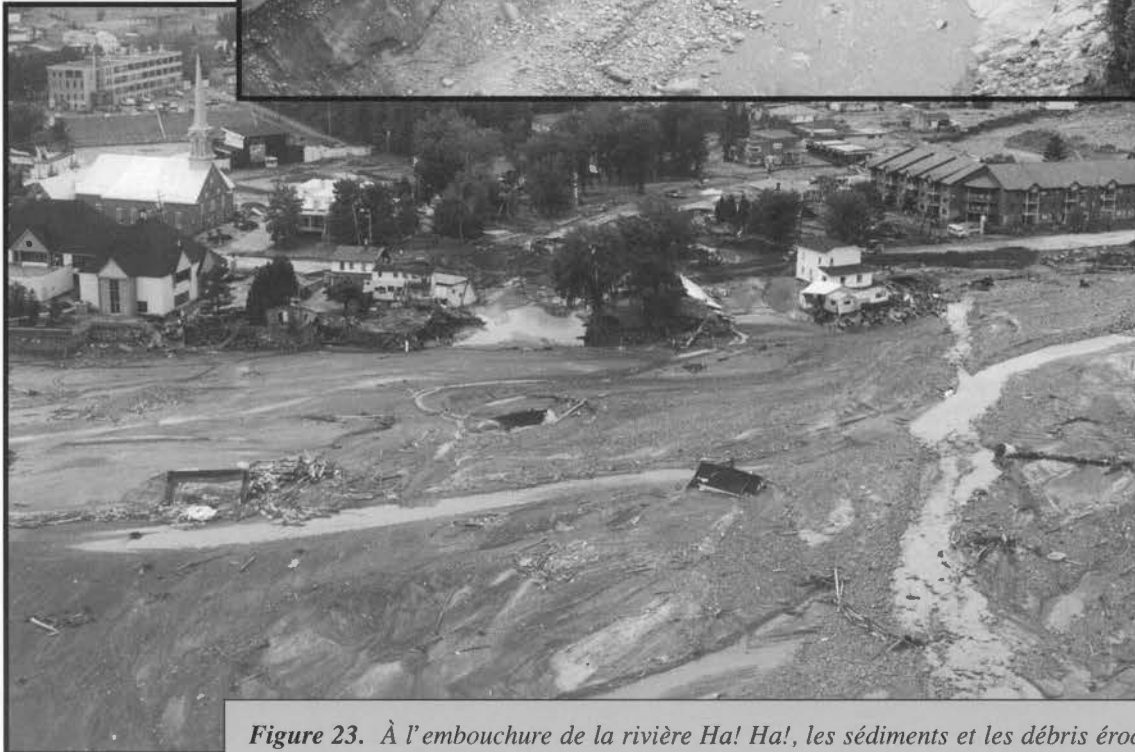
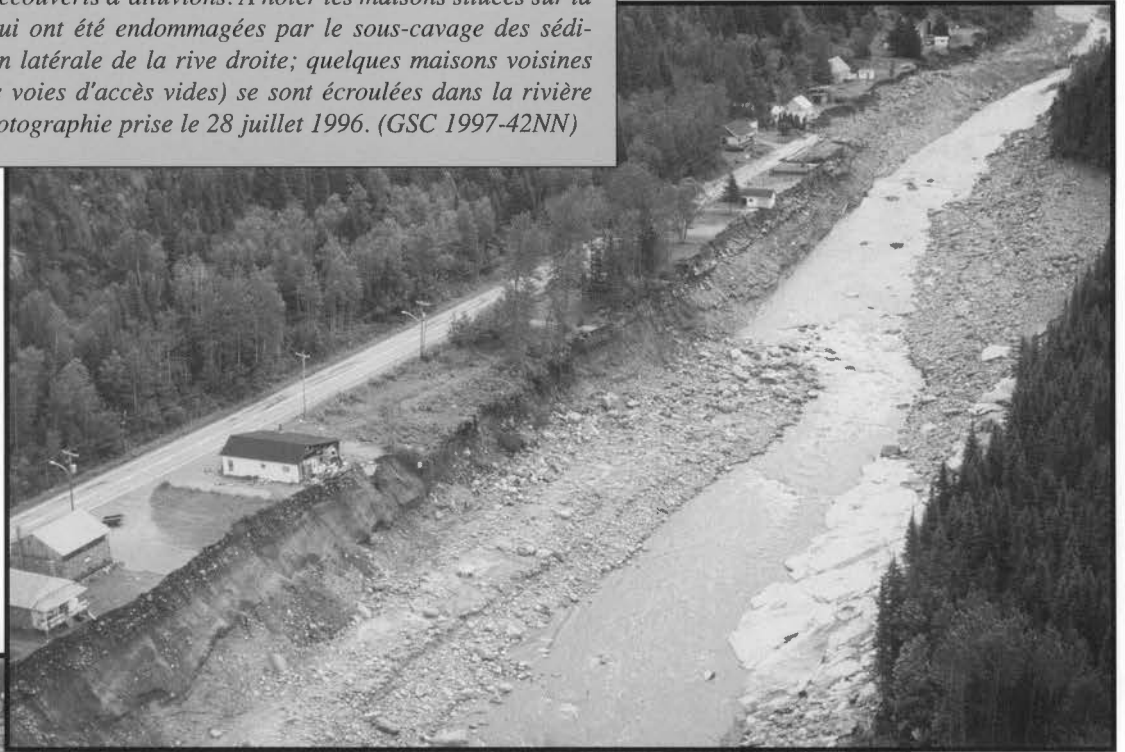
**Figure 20.** Même si la digue de col a été détruite et que presque toute l'eau du lac s'est drainée, le barrage qui endiguait le lac Ha! Ha! est demeuré intact après la crue bien que non opérationnel. On voit le barrage (flèche) à l'extrémité du lac asséché derrière. L'eau du lac n'a pas débordé du barrage. Photographie prise le 28 juillet 1996. (GSC 1997-42D)



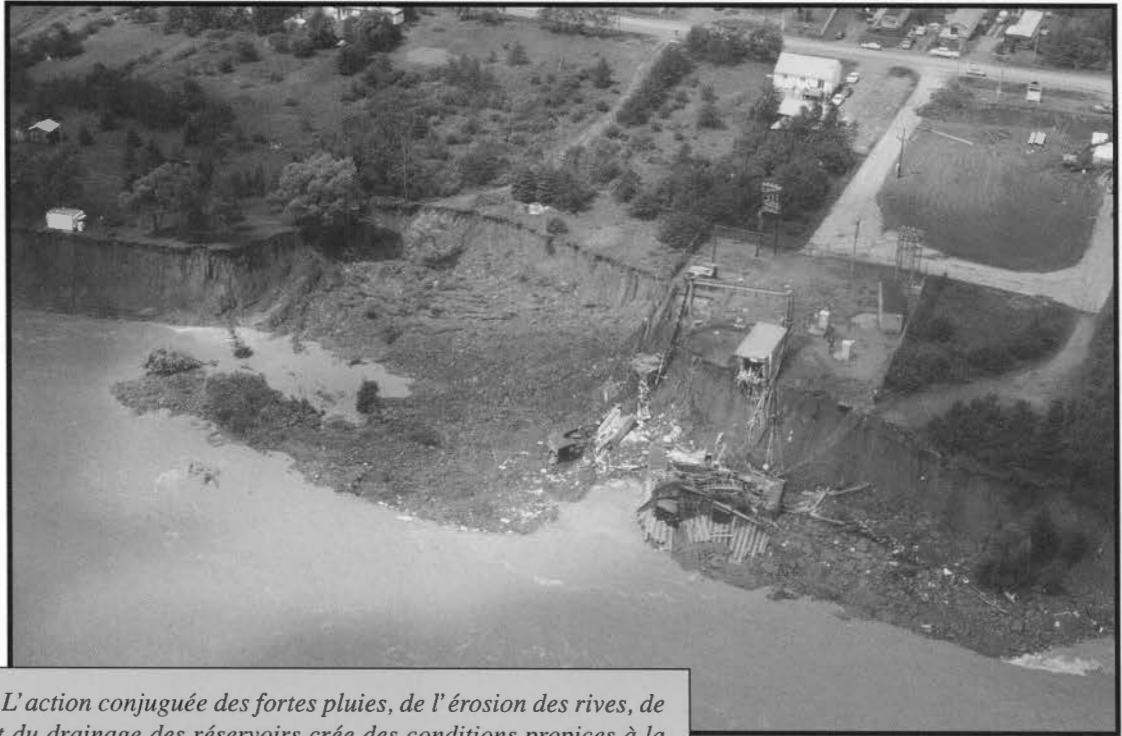


**Figure 21.** Un vaste alluvionnement a recouvert les tronçons à gradient relativement faible de la vallée en aval de la rivière Ha! Ha! (A) À un endroit situé à environ 10,5 km en amont de l'embouchure de la rivière, on observe une zone d'alluvionnement le long d'un tronçon large du fond de la vallée où s'est accumulée sur plusieurs propriétés une épaisseur pouvant atteindre 2 m de sable arraché par une vaste érosion en amont (GSC 1997-42KK). (B) À environ 2 km en aval de l'endroit photographié en (B), un camion a été inondé durant la crue et enfoui sous du sable jusqu'au toit (GSC 1998-015F). Photographies prises le 29 juillet 1996.

**Figure 22.** Les tronçons plus abrupts de la rivière Ha! Ha! ont été érodés par les eaux de la crue. Ici, l'incision et l'élargissement du chenal ont eu lieu le long d'un tronçon étroit du fond de la vallée. Le périmètre du chenal est constitué depuis la crue de blocs et de diamicton et de substratum rocheux autrefois recouverts d'alluvions. À noter les maisons situées sur la terrasse fluviale qui ont été endommagées par le sous-cavage des sédiments par l'érosion latérale de la rive droite; quelques maisons voisines (marquées par des voies d'accès vides) se sont écroulées dans la rivière durant la crue. Photographie prise le 28 juillet 1996. (GSC 1997-42NN)



**Figure 23.** À l'embouchure de la rivière Ha! Ha!, les sédiments et les débris érodés en amont par les eaux de crue se sont accumulés sur les estrans (avant-plan), ce qui a accru la superficie sub-aérienne de cette surface, surtout à marée basse. Exemple saisissant de la puissance de cette crue : une banque située dans la ville de La Baie, à l'embouchure de la rivière, a été détruite et son coffre-fort de 35 tonnes a été emporté sur une distance d'environ 300 m sur l'estran (Plan, 1996). Le coffre-fort a finalement été découvert trois semaines plus tard. Photographie prise le 25 juillet 1996. (GSC 1998-015G)



*Figure 24. L'action conjuguée des fortes pluies, de l'érosion des rives, de la décrue et du drainage des réservoirs crée des conditions propices à la formation de glissements de terrain sur les versants longeant les rives. Souvent oubliés, à cause des ravages causés par la crue et les modifications géomorphologiques, de petits glissements de terrain ont laissé des cicatrices le long des rives des cinq rivières dont il est fait mention dans le présent rapport. Parmi les ruptures les plus importantes, mentionnons le glissement rétrogressif déclenché le long de la rive gauche de la rivière Chicoutimi dans la région anciennement inondée par le réservoir du barrage de Pont-Arnaud. La rupture a eu lieu dans des sédiments marins à grain fin par suite de l'approfondissement du fonds du cours d'eau et du surraidissement de la rive par l'incision locale de la rivière et le rabattement du réservoir. Photographie prise le 26 juillet 1996. (GSC 1997-42R)*

## REMERCIEMENTS

Les documents de base du présent rapport s'appuient sur des recherches réalisées par la Commission géologique du Canada sur la crue de la région du Saguenay. Ce projet a été financé en partie par la Protection civile du Canada.

## RÉFÉRENCES

**Andrews, J.**

1993 : Floods: Canada water book; Ecosystem Sciences and Evaluation Directorate, Economics and Conservation Branch, Environment Canada, 171 p.

**Baker, V.R. and Costa, J.E.**

1987 : Flood power; *in* Catastrophic Flooding; (ed.) L. Mayer and D. Nash; Allen and Unwin, London, p. 1–21.

**Brooks, G.R., Lawrence, D.E., Fung, K., Bégin, C., and Perret, D.**

1997 : Flooding from the July 18–21, 1996 rainstorm in the Saguenay area, Québec: fluvial geomorphic effects and slope stability along selected major river reaches; Geological Survey of Canada, Open File 3498.

**Commission scientifique et technique sur la gestion des barrages**

1997 : Rapport: Commission scientifique et technique sur la gestion des barrages; Québec, janvier 1997, 241 p. + annexes.

**Costa, J.E.**

1988 : Floods from dam failures; *in* Flood Geomorphology; (ed.) V.R. Baker, R.C. Kochel, and P.C. Patton; J. Wiley and Sons, New York, p. 439–463.

**Costa, J.E. and O'Connor, J.E.**

1995 : Geomorphically effective floods; *in* Natural and Anthropogenic Influences in Fluvial Geomorphology; (ed.) J.E. Costa, K.W. Potter, and P.R. Wilcock; American Geophysical Union, Geophysical Monograph 89, p. 45–56.

**Emergency Preparedness Digest**

1997 : When nature runs wild; Emergency Preparedness Digest, Emergency Preparedness Canada, v. 24, no. 1, p. 8.

**Environment Canada**

1996 : Canadian climate summary; Environment Canada, July 1996, v. 1, 10 p.

**Environnement et Faune Québec**

1996 : Gestion du Lac Kénogami et des autres lacs-réservoirs; Direction de l'hydraulique, le 17 août 1996, 80 p. + annexes.

**Germain, G.H.**

1997 : Autopsie d'une catastrophe – rapport spécial; L'actualité, vol. 22, n° 4, p. 14–30.

**Gresoe, T.**

1997 : The Saguenay floods – special report; Canadian Geographic, v. 117, no. 2, p. 28–40.



**INRS-Eau**

1997 : Simulation hydrodynamique et bilan sédimentaire des rivières Chicoutimi et des Ha! Ha! lors des crues exceptionnelles de juillet 1996; rapport INRS-Eau n° R487, travaux réalisés pour le compte de la Commission scientifique et technique sur la gestion des barrages, 207 p.

**Jansen, R.B.**

1983 : Dams and public safety; U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, 332 p.

**Kochel, R.C.**

1988 : Geomorphic impact of large floods: reviews and new perspectives on magnitude and frequency; *in* Flood Geomorphology; (ed.) V.R. Baker, R.C. Kochel, and P.C. Patton; J. Wiley and Sons, New York, p. 169–187.

**Leopold, L.B., Wolman, M.G., and Miller, J.P.**

1964 : Fluvial Processes in Geomorphology; W.H. Freeman and Company, San Francisco, 522 p.

**Miller, A.J. and Parkinson, D.J.**

1993 : Flood hydrology and geomorphic effects on river channels and flood plains: the flood of November 4–5, 1985, in the South Branch Potomac River basin of West Virginia; *in* Geomorphic Studies of the Storm and Flood of November 3–5, 1985, in the Upper Potomac and Cheat River Basins in West Virginia and Virginia; (ed.) R.B. Jacobson; U.S. Geological Survey Bulletin 1981, p. E1–E96.

**Milton, J. and Bourque, A.**

1997 : Torrential rains of July 18 to 21 1996, in the province of Québec: analysis and interpretation of meteorological and climatological data; Environment Canada, September 9, 1997, 103 p.

**Plan**

1996 : Chasse au trésor; Plan: la revue du génie québécois, vol. 33, n° 7, p. 37.



