

Rapport de la  
Phase I – Pré-faisabilité

**Analyse de risques d'inondations par embâcles  
de la rivière Montmorency et identification de  
solutions techniques innovatrices**

---



Rapport conjoint enregistré à l'INRS-Eau R577a  
et à l'Université Laval - Département de Génie civil

Janvier 2001

*Document de travail*  
*Phase I - Préfaisabilité*

**Analyse de risques  
d'inondations par embâcles  
de la rivière Montmorency et  
identification de solutions  
techniques innovatrices**

**Rapport présenté au**

**Comité de suivi**

**Projet de contrôle des embâcles de la rivière Montmorency**

Rapport conjoint enregistré à l'INRS-Eau R577a  
et à l'Université Laval - Département de Génie civil  
Janvier 2001

? INRS-Eau – Université Laval, 2001

***Pour fins de citation :***

**Leclerc, M., B. Morse, J. Francoeur, M. Heniche, P. Boudreau et Y. Secretan (2001).** *Analyse de risques d'inondations par embâcles de la rivière Montmorency et identification de solutions techniques innovatrices* – Rapport de la Phase I – Préfaisabilité- Document de travail présenté au Comité de suivi. Rapport conjoint enregistré à l'INRS-Eau R577, et à l'Université Laval - Département de Génie civil, Janvier, 118 pages.

## ÉQUIPE DE RÉALISATION ET/OU DE SUIVI

Responsabilité administrative, co-direction de projet

*Michel Leclerc, D. Ing., professeur, INRS-Eau*

*Brian Morse, Ph.D., Ing., professeur, département de Génie civil, Université Laval*

Modèle numérique de terrain, infographie

*Mourad Heniche, Ph.D., associé de recherche, INRS-Eau*

Bibliographie sur les solutions techniques, relevés sur le terrain, identification de sites, rédaction

*Jean Francoeur, Ing. stagiaire, étudiant à la maîtrise, Génie civil, U.L.*

*Hugues Delcourt, Ing. stagiaire, étudiant à la maîtrise, Génie civil, U.L.*

*Guy Trudeau, étudiant Génie civil,*

*Jean-François Gagnon, étudiant Génie civil*

*Létitia Delem, étudiant Génie civil*

Base de données sur les embâcles, planimétrie, entrevues avec les partenaires

*Paul Boudreau, M.Sc., agent de recherche, INRS-Eau*

*Jean Francoeur, Ing. stagiaire, étudiant à la maîtrise, Génie civil, U.L.*

Bibliographie sur l'analyse de risques

*Pierrick Blin, étudiant à la maîtrise, INRS-Eau*

Avis d'expert pour la recherche de solutions techniques

*Donald Carter, Ph.D. Ing., consultant (glaces)*

Support numérique et informatique

*Yves Secretan, Ph.D., professeur, INRS-Eau*

Rédaction du rapport

*Michel Leclerc*

*Brian Morse*

*Jean Francoeur*

*Mourad Heniche*

### **Partenaire privé pour la recherche de solutions techniques**

*Claude Beaulieu<sup>1</sup>, Ing., Groupe-Conseil BPR, Québec (seuils en rivière)*

### **Partenaires municipaux et supra-municipaux**

*Claude Côté<sup>1</sup>, Directeur, Sécurité publique, Municipalité de Sainte-Brigitte-de-Laval*

*Marcel Roy<sup>1</sup>, Ing., Directeur des Services techniques, Ville de Beauport*

---

<sup>1</sup> Membres du Comité de suivi

*Michel Lefebvre<sup>2</sup>, Secrétaire-trésorier, Municipalité de Boischatel*  
*André Bouillon<sup>2</sup>, Communauté urbaine de Québec*  
*Claude Langlois<sup>2</sup>, M.R.C. Jacques-Cartier*

**Partenaires gouvernementaux**

Ministère de l'Environnement

*Marcel Laganière<sup>2</sup>, Ing., Direction de l'hydraulique et du milieu hydrique (central)*  
*Guy Guilbert, Technicien principal, Direction régionale de Québec*  
*Julie Lafleur, Direction de l'hydraulique et du milieu hydrique (central)*

Ministère de la Sécurité Publique

*Michel Gascon<sup>2</sup>, conseiller en Sécurité civile*  
*M. Claude Lebel<sup>2</sup>, conseiller en Sécurité civile*  
*Daniel Dupuis<sup>2</sup>, conseiller en Sécurité civile*

**Riverains**

Représentant l'ensemble des voisinages riverains :

*Noël Bédard<sup>2</sup>, Président du Comité de citoyens de l'Île-Enchanteresse*  
*ou Pierre Lussier, Sous-Comité des Inondations du Comité de citoyens de l'Île-Enchanteresse*

**Partenaires privés pour la fourniture de données topographiques**

*Lasermap, Boucherville (par balayage laser aéroporté)*  
*Géolocation Pagé et Leclair inc., Loretteville (échosondage, DGPS)*

---

<sup>2</sup> Membres du Comité de suivi

# TABLE DES MATIÈRES

<b>1. MISE EN SITUATION</b>	<b>1</b>
1.1 L'objectif du projet : la réduction des risques	3
1.2 Une hypothèse de solution structurelle à mettre au point	3
1.3 Objectifs de la phase de pré-faisabilité	3
1.4 Quatre scénarios envisagés	4
<b>2. MÉTHODOLOGIE</b>	<b>7</b>
La démarche	7
2.2 Choix de la méthodologie	8
2.3 L'analyse de risques	8
2.3.1 Le dommage moyen annuel	8
2.3.2 Dommages résidentiels	9
2.4 La probabilité et la sévérité des embâcles	10
2.5 La vulnérabilité	11
2.6 L'équité entre les divers intervenants	12
2.6.1 Les riverains et leurs propriétés	13
2.6.1.1 Risques pour la santé et la sécurité (intangibles)	13
2.6.1.2 Pertes matérielles (dommages directs)	13
2.6.1.3 Pertes patrimoniales et iniquité fiscale liées aux dommages d'incertitude	14
2.6.1.4 Coûts de relocalisation temporaire	15
2.6.2 Municipalités et autres instances locales	15
2.6.2.1 Coûts de prévention et de surveillance	16
2.6.2.2 Protection publique (urgences)	16
2.6.2.3 Interventions physiques	16
2.6.2.4 Coûts des dommages aux infrastructures	17
2.6.2.5 Coût des études	17
2.6.2.6 Manque à gagner fiscal ou dommages d'incertitude	17
2.6.2.7 Équité	18
2.6.3 Ministère de la Sécurité publique	18
2.6.3.1 Politique d'indemnisation des sinistrés	18
2.6.3.2 Remboursement des coûts d'interventions municipales	18
2.6.4 Ministère de l'Environnement	19
2.6.5 Instances supra-municipales	19
2.7 Validations requises par les interventions structurales	19
<b>3. DISPONIBILITÉ ET COLLECTE DES DONNÉES, ENQUÊTE AUPRÈS DES INTERVENANTS</b>	<b>21</b>

<b>3.1</b>	<b>Ville de Beauport</b>	<b>21</b>
<b>3.2</b>	<b>Municipalité de Boischatel</b>	<b>21</b>
<b>3.3</b>	<b>Municipalité de Sainte-Brigitte-de-Laval</b>	<b>22</b>
<b>3.4</b>	<b>Instances supra-municipales</b>	<b>22</b>
3.4.1	M.R.C. Jacques-Cartier	22
3.4.2	Communauté urbaine de Québec (C.U.Q.)	23
<b>3.5</b>	<b>Ministère de l'Environnement</b>	<b>23</b>
<b>3.6</b>	<b>Ministère de la Sécurité publique</b>	<b>24</b>
<b>3.7</b>	<b>Riverains</b>	<b>24</b>
<b>3.8</b>	<b>Topographie</b>	<b>25</b>
3.8.1	Données existantes	25
3.8.2	Caractérisations complémentaires	25
3.8.3	Modèle numérique d'élévation (MNE)	26
3.8.3.1	Chaînage	26
3.8.3.2	Plaine inondable	26
3.8.3.3	Lit mineur de la rivière	30
3.8.4	Présentation des résultats du modèle numérique d'élévation	33
3.8.4.1	Topographie d'ensemble	33
3.8.4.2	Profil en long	33
<b>3.9</b>	<b>Planimétrie</b>	<b>36</b>
<b>4.</b>	<b>ANALYSE DE RISQUES – CONDITIONS ACTUELLES</b>	<b>37</b>
<b>4.1</b>	<b>Le phénomène des embâcles</b>	<b>37</b>
<b>4.2</b>	<b>Base de données sur les embâcles et les interventions réalisées</b>	<b>38</b>
<b>4.3</b>	<b>Processus de dévalaison des glaces et volumes d'embâcles</b>	<b>41</b>
<b>4.4</b>	<b>Caractérisations du couvert de glace</b>	<b>42</b>
<b>4.5</b>	<b>Classification et récurrence des événements d'embâcle</b>	<b>44</b>
4.5.1	Méthode de classification de la sévérité et fréquence événementielle	44
4.5.2	Distribution spatiale	47
<b>4.6</b>	<b>Potentiel de vulnérabilité résidentielle</b>	<b>51</b>
<b>4.7</b>	<b>Mode d'intervention actuel</b>	<b>51</b>
<b>4.8</b>	<b>Le coût moyen annuel des dommages physiques résidentiels</b>	<b>52</b>
<b>4.9</b>	<b>Dommages physiques aux infrastructures</b>	<b>54</b>
<b>4.10</b>	<b>Coûts d'intervention</b>	<b>55</b>
4.10.1	Municipalité de Sainte-Brigitte-de-Laval	55
4.10.2	Beauport et Boischatel	56

<b>4.11</b>	<b>L'aspect fiscal</b>	<b>57</b>
4.11.1	Le point de vue municipal et scolaire	57
4.11.2	Point de vue du riverain	59
<b>4.12</b>	<b>Coût des études</b>	<b>60</b>
<b>4.13</b>	<b>Synthèse de l'analyse de risques dans l'état actuel</b>	<b>60</b>
<b>5.</b>	<b>LES MOYENS D'INTERVENTION</b>	<b>63</b>
<b>5.1</b>	<b>Revue des études antérieures sur les solutions à cette problématique</b>	<b>63</b>
<b>5.2</b>	<b>Revue des modes d'intervention administrative</b>	<b>63</b>
5.2.1	Gérer la crise	64
5.2.2	La réglementation des zones à risques	64
5.2.3	Relocalisation, expropriation	64
<b>5.3</b>	<b>Revue des modes d'intervention non-structurale</b>	<b>65</b>
<b>5.4</b>	<b>Liste des modes d'intervention structurale et aménagements</b>	<b>66</b>
<b>5.5</b>	<b>Les estacades fixes</b>	<b>66</b>
5.5.1	Le principe	66
5.5.2	Des exemples	67
5.5.3	Un exemple intéressant : cas de la rivière Lamoille (Vermont)	68
5.5.4	Estacades fixes en amont de l'île Enchanteresse ?	70
5.5.5	Estacades fixes en aval de l'Île-Enchanteresse	71
<b>5.6</b>	<b>Les estacades flottantes</b>	<b>76</b>
5.6.1	Principe	76
5.6.2	Estacades flottantes en amont de l'île Enchanteresse	77
5.6.3	Estacades flottantes en aval de l'Île-Enchanteresse	79
<b>5.7</b>	<b>Les seuils ou séries de seuils</b>	<b>79</b>
5.7.1	Principe	79
5.7.2	Exemples d'aménagement de seuils	80
5.7.3	Série de seuils sans clé	81
5.7.4	Série de seuils avec clé	82
<b>5.8</b>	<b>Digues-levées et protection des berges</b>	<b>82</b>
<b>5.9</b>	<b>Construction d'un barrage</b>	<b>83</b>
5.9.1	Tunnel ou canal de dérivation	84
<b>5.10</b>	<b>Ouvrage de contrôle du débit à l'amont</b>	<b>85</b>
<b>5.11</b>	<b>Aménagements en rivière pour en augmenter l'hydraulicité</b>	<b>85</b>
<b>5.12</b>	<b>Coût des interventions structurelles</b>	<b>85</b>
<b>6.</b>	<b>– PRÉSENTATION DE SCÉNARIOS REMÉDIATEURS - ANALYSE DE RISQUES RÉSIDUELS</b>	<b>89</b>
<b>6.1</b>	<b>Préambule : les pré-requis à toute intervention</b>	<b>89</b>

6.1.1	Système d'alerte précoce	89
6.1.2	Estacades flottantes d'appoint	90
<b>6.2</b>	<b>Les scénarios identifiés</b>	<b>90</b>
<b>6.3</b>	<b>Scénario #1 : Estacade fixe avec seuil à l'amont de l'Île-Enchanteresse</b>	<b>91</b>
6.3.1	Caractéristiques sommaires de l'intervention	91
6.3.2	Risques résiduels et implications	92
6.3.3	Rapport coût bénéfice	93
<b>6.4</b>	<b>Scénario #2: Estacade flottante et filet sous-jacent en amont de l'Île-Enchanteresse</b>	<b>96</b>
6.4.1	Caractéristiques sommaires de l'intervention	96
6.4.2	Risques résiduels et implications	97
6.4.3	Rapport coût-bénéfice	97
	<b>Estacade flottante principale</b>	<b>98</b>
<b>6.5</b>	<b>Scénario #3: Une série de seuils dans la zone des grands rapides</b>	<b>99</b>
6.5.1	Caractéristiques sommaires de l'intervention	99
6.5.2	Risques résiduels et implications	100
6.5.3	Rapport coût-bénéfice	100
	<b>Série de seuils sans clé</b>	<b>101</b>
<b>6.6</b>	<b>Scénario 4 : Estacade fixe à l'aval de l'Île-Enchanteresse, expropriation ou relocalisation massives</b>	<b>102</b>
6.6.1	Caractéristiques sommaires de l'intervention	102
6.6.2	Risques résiduels et coûts d'intervention	103
	Île-Enchanteresse	104
6.6.3	Rapport coût bénéfice	105
<b>6.7</b>	<b>Scénario #5 : Barrage lourd en amont de l'Île-Enchanteresse</b>	<b>107</b>
<b>6.8</b>	<b>Résumé des analyses des scénarios</b>	<b>107</b>
	Scénario	108
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS</b>	<b>109</b>
<b>7.1</b>	<b>Sur la méthodologie</b>	<b>109</b>
<b>7.2</b>	<b>Sur le coût annuel moyen des risques dans les conditions actuelles</b>	<b>110</b>
<b>7.3</b>	<b>Sur les scénarios remédiateurs proposés</b>	<b>111</b>
<b>7.4</b>	<b>Recommandations pour la phase II</b>	<b>113</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE CONSULTÉE OU CITÉE</b>	<b>115</b>

## Liste des figures

Figure 1 : Réseau hydrographique inférieur de la rivière Montmorency – Chaînage kilométrique	2
Figure 2 : Démarche adoptée pour l'étude de pré-faisabilité .....	7
Figure 3: Variables définissant la submersion d'une résidence (extrait de Leclerc et coll., 1997)..	9
Figure 4 : Lignes de vol de la campagne de levé par balayage laser aéroporté.....	28
Figure 5 : Couverture des sous-ensembles formant la base de données obtenues par balayage laser aéroporté. ....	29
Figure 6 : Zone caractérisée à l'échosondeur et à la station totale .....	31
Figure 7 : Position et numérotation des transects du Ministère de l'Environnement du Québec (printemps 2000). ....	32
Figure 8 : Profil en long de la rivière Montmorency selon le chaînage retenu .....	34
Figure 9 : Profil en long entre les chaînages 14+800 et 17+800. ....	35
Figure 10 : Schéma des principales composantes d'un embâcle ( <i>selon S. Beltaos, 1995</i> ).....	37
Figure 11 : Épaisseurs de glace observées à la fin de l'hiver 1999-2000 à l'amont de l'Île-Enchanteresse .....	43
Figure 12 : Localisation des « voisinages » ou zones homogènes pour l'analyse des risques d'embâcles .....	48
Figure 13 : Probabilité au dépassement des embâcles par secteur selon le niveau de sévérité.....	50
Figure 14 : Photographie de l'estacade de Duberger dans la Ville de Québec.....	68
Figure 15 : Photographie de l'estacade à Saint-Raymond de Portneuf sur la rivière Sainte-Anne (Source : Ministère de l'Environnement du Québec).....	68
Figure 16 : Schéma artistique de l'estacade d'Harwick ( <i>CRREL</i> ).....	69
Figure 17 : Estacade d'Harwick le 16 mars 1995 ( <i>Lever et al, 1997</i> ) .....	69
Figure 18 : Localisation des sites potentiels #1 et #2 pour l'installation d'estacades fixes .....	71
Figure 19 : Contours topographiques dans la région des sites potentiels d'estacade fixe à l'amont de l'Île-Enchanteresse.....	72
Figure 20 : Transect de la rivière Montmorency à la hauteur du site #1.....	73
Figure 21 : Transect de la rivière Montmorency à la hauteur du site #2.....	74
Figure 22 : Vue de l'emplacement pour l'installation d'une estacade fixe au site #2. ....	75
Figure 23 : Exemple d'estacade flottante (d'après Fleet Technology, Ottawa) .....	76

Figure 24 : Topographie d'ensemble à la confluence de la rivière Saint-Adolphe et de la Montmorency .....	78
Figure 25 : Seuil aménagé sur la rivière Cascapédia (Cégertec, source : Claude Beaulieu, Groupe-conseil BPR).....	80
Figure 26 : schéma de construction d'un seuil en rivière (Source : Cégertec).....	80
Figure 27 : Barrage estacade Sartigan sur la rivière Chaudière à Saint-Georges de Beauce .....	84
Figure 28 : Profils en long de la rivière dans le bief d'intervention (scénarios #1 et #2) et éléments planimétriques (rues et bâtiments).....	94

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Chaînage sur la rivière Montmorency.....	27
Tableau 2 : Chaînage associé aux transects.....	30
Tableau 3 : Pentés de la rivière Montmorency en amont de l'Île-Enchanteresse.....	33
Tableau 4 : Données de base sur les embâcles de la rivière Montmorency (Sources diverses) ....	39
Tableau 5 : Fréquence empirique des événements d'embâcle sur la rivière Montmorency pour la période de 1947 à 2000 – Tous les secteurs confondus.....	46
Tableau 6 : Évaluation de la fréquence et de la sévérité des embâcles par secteur d'analyse sur la rivière Montmorency (D'après les données fournies par le MENV (Guilbert, G., Communication personnelle).....	49
Tableau 7 : Évaluation empirique de la fréquence au dépassement des embâcles de divers types par secteur d'analyse sur la rivière Montmorency .....	49
Tableau 8 : Évaluation de la période de retour des embâcles de divers types par secteur d'analyse sur la rivière Montmorency.....	50
Tableau 9 : Évaluation des risques dommages physiques moyens annuels aux infrastructures et aux résidences par secteur de voisinage et équité entre les intervenants.....	53
Tableau 10 : Coût des interventions d'urgence ou de prévention de Sainte-Brigitte de Laval reliés aux risques d'embâcles et remboursements obtenus du ministère de la Sécurité publique (Source : Sécurité publique de la municipalité de Sainte-Brigitte-de-Laval) .....	56
Tableau 11 : Calcul des écarts fiscaux dans les zones à risque de Sainte-Brigitte-de-Laval .....	58
Tableau 12 : Calcul des écarts fiscaux dans les zones à risque de Beauport.....	59
Tableau 13 : Synthèse de coûts annuels moyens des dommages associés aux risques d'embâcles sur la rivière Montmorency en l'an 2000 et équité .....	61
Tableau 14 : Tableau comparatif des coûts entre diverses structures prometteuses.....	87
Tableau 15 : Coût des interventions et des risques résiduels moyens annuels pour le scénario #1 (estacade fixe immédiatement à l'amont de l'Île-Enchanteresse et deux estacades flottantes dans le cours supérieur de la rivière).....	95
Tableau 16: Coût des interventions et des risques résiduels annuels moyens pour le scénario #2 (estacade flottante munie de filet à l'amont de l'Île-Enchanteresse et estacades flottantes d'appoint dans le secteur d'amont).....	98
Tableau 17 : Coût des interventions et des risques résiduels pour le scénario #3 (série de seuils dans la zone des grands rapides et estacades flottantes d'appoint dans le secteur d'amont)101	
Tableau 18 : Coûts annuels associés à la relocalisation-expropriation des secteurs retenus pour l'installation d'une estacade fixe en aval de l'Île-Enchanteresse (rue des Deux-Rapides) .	104

Tableau 19 : Analyse de l'aspect fiscal relié au scénario #4 (estacade fixe en aval de l'Île-Enchanteresse).....	105
Tableau 20 : Coût des interventions et des risques résiduels pour le scénario #4 (estacade fixe à l'aval de l'Île-Enchanteresse et estacades flottantes d'appoint dans le secteur d'amont)..	106
Tableau 21 : Résumé de l'analyse coûts-bénéfices moyens annuels pour l'ensemble des scénarios analysés.....	108

## *Remerciements*

Les auteurs et participants de cette étude tiennent sincèrement à remercier les partenaires financiers du projet qui ont collaboré à mettre en place les moyens requis pour réaliser cette ambitieuse initiative :

1. La Ville de Beauport qui agit aussi comme promoteur du projet vis-à-vis du Programme conjoint de protection civile;
2. La municipalité de Sainte-Brigitte-de-Laval;
3. La municipalité de Boischatel;
4. Le Centre d'Études et de Recherches sur les Infrastructures municipales (CÉRIU) qui a rapidement cru au projet et s'est rapidement inscrit dans le partenariat;
5. Le Programme conjoint fédéral-provincial pour la Protection civile (PCPC) qui a complété le financement.

Nous désirons également remercier tous les partenaires dont plusieurs sont mentionnés dans le générique de ce rapport, pour leur contribution précieuse à divers niveaux : conseils, expertise, données historiques, logistique, etc.

---

## 1. Mise en situation

---

Quatre municipalités principales se partagent les rives de la rivière Montmorency, un cours d'eau présentant une problématique d'embâcle fréquents et sévères : Beauport, Sainte-Brigitte-de-Laval, Boischatel et l'Ange-Gardien. Cependant, cette dernière n'offre aucun élément vulnérable à ces aléas, si bien qu'elle ne sera pas considérée dans cette étude. Dans les autres municipalités, plusieurs éléments vulnérables sont présents dont la prise d'eau de Beauport, et plusieurs quartiers résidentiels riverains dont l'Île-Enchanteresse, les rues des Deux-Rapides, de Côte-du-Lac et du Bocage ainsi que ceux des secteurs des Îlets, des Trois-Saults et du lac du Délaié. La Figure 1 montre la partie inférieure du réseau hydrographique de la rivière Montmorency où se produisent principalement les débâcles et les embâcles. Les embâcles hivernaux sont potentiellement et particulièrement dévastateurs et ils occasionnent des dépenses importantes et récurrentes pour les pouvoirs publics à tous les niveaux en plus d'handicaper lourdement la valeur marchande des propriétés affectées, et partant, le rendement fiscal pour les municipalités. Les seules solutions préventives possibles à l'heure actuelle sont les évacuations et elles ne permettent que de minimiser les risques de pertes de vie et certaines pertes matérielles (ex : véhicules automobiles, biens personnels). Les indemnités postérieures aux sinistres représentent des sommes importantes et imprévisibles.

Toutes les études antérieures ont conclu soit qu'il n'y avait pas de solution technique (structurelle) au problème, ou s'il y en avait une, par exemple un barrage en amont des secteurs vulnérables (Barabé, 1978), son coût semblait prohibitif (typiquement 10M\$ de 1994, selon BPR Groupe Conseil, 1994) en regard du bénéfice escompté. Le surcreusement de la rivière à la hauteur de l'Île-Enchanteresse souhaité par certains de ses résidents ne ferait qu'exporter les embâcles en aval, dans un secteur encore plus vulnérable où l'on trouve la prise d'eau de Beauport et des quartiers résidentiels contigus (Barabé, 1978; Verreault, 1990). En pratique, la solution actuellement appliquée, et la seule apparemment disponible, est un *statu quo* perçu comme coûteux, récurrent et aléatoire, axé sur les évacuations et l'indemnisation, ainsi que sur des travaux ponctuels d'excavation de chenal d'écoulement dans les embâcles.

Depuis quelques années sont apparues de nouvelles approches d'aménagement remédiateurs aux embâcles considérées comme économiques et sécuritaires pour l'environnement (Lever *et al*, 1997). Cette nouvelle donne nous permet d'entrevoir une redéfinition de la problématique de la rivière Montmorency qui ferait place à une réduction significative des risques, et éventuellement à une meilleure mise en valeur de ce cours d'eau.

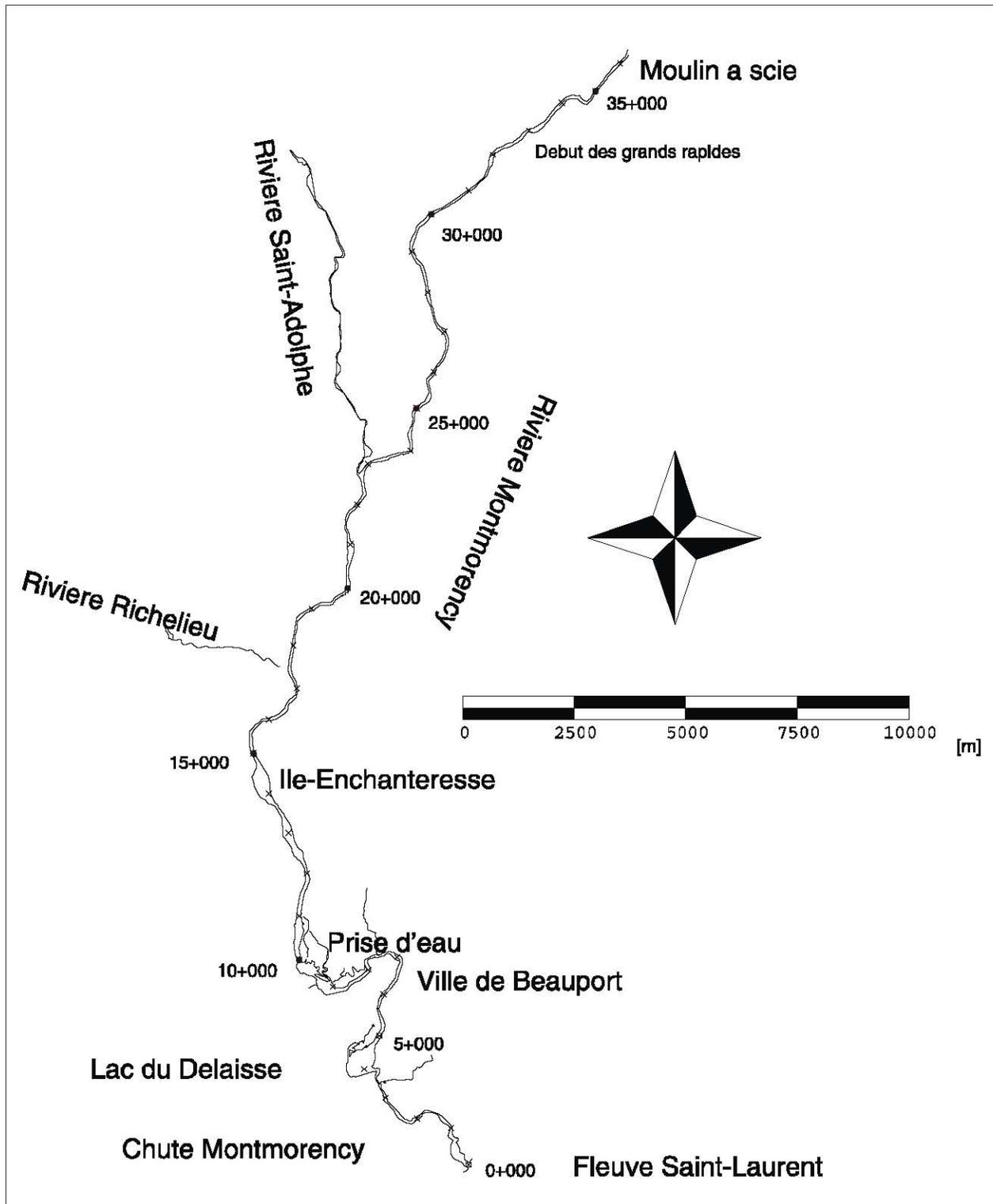


Figure 1 : Réseau hydrographique inférieur de la rivière Montmorency – Chaînage kilométrique

## 1.1 L'objectif du projet : la réduction des risques

Le projet vise donc à revoir cette problématique et à rechercher une solution globale éventuellement innovatrice à la problématique des risques d'embâcles sur la rivière Montmorency à partir de principes de rentabilité économique, de durabilité, de respect du milieu naturel et de partenariat équitable entre les divers intervenants du bassin. L'objectif de cette phase est d'établir les paramètres de faisabilité de divers modes d'intervention sur la problématique des dommages avec un accent particulier sur les interventions structurelles légères.

## 1.2 Une hypothèse de solution structurelle à mettre au point

Parmi les scénarios envisagés (voir plus loin), on compte une intervention de type structurel visant soit à empêcher le décrochement du couvert de glace (débâcle) ou à stopper les glaces en mouvement en des endroits précis du cours d'eau exempts ou comportant moins d'éléments vulnérables. Depuis quelques années est apparue une nouvelle classe de solution qui consiste à mobiliser les forces naturelles à l'aide de structures légères et économiques en vue de provoquer des embâcles dans des secteurs non vulnérables habituellement situés en amont des zones potentiellement endommageables, ceci afin de les soustraire à l'aléa. Un exemple de ce type de solution, qu'on désigne par l'expression « seuil-peigne ou peigne », a été expérimenté avec succès par le CRREL (Cold Region Research & Engineering Laboratory, Tuthill, 1995) du US Army Corps of Engineers (USACE) ainsi que par le Conseil national de recherche du Canada (CNRC). On en trouve également des exemplaires au Québec, notamment sur la rivière Sainte-Anne. D'autres structures innovatrices (estacades flottantes avec filet sous-jacent, seuils) permettent aussi de nos jours de contrôler les embâcles.

On considère cependant que la pente du cours d'eau doit être relativement faible pour garantir le succès de l'intervention. La rivière Montmorency présente malheureusement des pentes assez fortes (4/1000 à 1/100) qui font que cette solution doit être étudiée très attentivement pour en démontrer l'efficacité et la faisabilité technique..

## 1.3 Objectifs de la phase de pré-faisabilité

Dans ce contexte, le projet vise notamment :

*à identifier à l'aide de données topographiques précises des sites potentiels d'intervention présentant les caractéristiques souhaitées et permettant de réaliser des économies substantielles par rapport à la situation existante.*

Les partenaires du projet -- municipalités, ministères provinciaux, M.R.C., C.U.Q., INRS-Eau, Université Laval, riverains, etc. -- réunis en Comité de suivi<sup>3</sup> se sont entendus pour qu'une étape de pré-faisabilité soit réalisée avant de poursuivre la recherche de solutions techniques détaillées à l'aide de tests en laboratoire ou de simulations numériques. Diverses considérations doivent être examinées en phases de pré-faisabilité, puis de faisabilité : *présence de sites prometteurs, acceptabilité des risques résiduels, avantage coût/bénéfice, impact environnemental, implantation cadastrale, aspect géotechnique*. Dans la présente phase, seuls les aspects vraiment essentiels de ces différents éléments sont considérés.

Les objectifs spécifiques de cette étude de pré-faisabilité sont donc :

1. *D'analyser les risques d'inondation par embâcles dans les conditions actuelles et en définir le coût moyen annuel et son équité entre les divers intervenants;*
2. *De réaliser une revue de la littérature et des expertises existantes concernant les solutions techniques potentielles (seuils multiples, estacades fixes ou flottantes avec ou sans seuil);*
3. *De sélectionner à partir de données topographiques précises un ou des site(s) propice(s) sur la rivière Montmorency pour l'implantation de telles structures;*
4. *De proposer des scénarios pouvant comporter des interventions structurelles et d'autres classes de solutions, incluant l'approche administrative (relocalisations de résidences);*
5. *D'analyser les risques résiduels et les coûts des solutions identifiées, et en établir le rapport coût/bénéfice;*
6. *D'analyser et évaluer certains aspects complémentaires des solutions envisagées, notamment, les aspects environnementaux;*
7. *De comparer les scénarios étudiés et faire des recommandations au Comité de suivi pour la poursuite de l'étude en phase II de faisabilité.*

## **1.4 Quatre scénarios envisagés**

*A priori*, quatre scénarios de base et leurs variantes ont été identifiés et analysés :

1. *comme base de comparaison, le statu quo (évacuations, indemnisations, travaux remédiateurs temporaires);*
2. *différentes variantes comportant un(des) ouvrage(s) léger(s) construit(s) à l'amont des secteurs vulnérables;*

---

<sup>3</sup> Instance *ad hoc* formée de représentants des partenaires du projet et mise en place en vue d'assurer la prise en compte des différents points de vue et intérêts sur la question à l'étude.

3. un ouvrage léger construit à l'aval de l'Île-Enchanteresse nécessitant la relocalisation de ses résidents et permettant une redéfinition de sa vocation (parc à glace, parc récréo-touristique selon les saisons, couloir vert);
4. un barrage lourd en amont des secteurs vulnérables.

L'identification de ces scénarios n'est pas exhaustive et pourrait encore évoluer en phase II.

Les prochains chapitres sont d'abord consacrés à la méthodologie retenue pour réaliser l'analyse de risques et à la collecte des données chez les partenaires et sur le terrain, incluant la construction du modèle numérique d'élévation, composante essentielle à la sélection des sites potentiels d'intervention. Par la suite, sera présentée l'analyse des risques d'inondation par embâcles dans les conditions actuelles afin de mettre en évidence leur coût moyen annuel et leur ventilation (équité) entre les intervenants. Le chapitre subséquent est dédié aux divers modes d'interventions administratifs et structurels en mettant l'emphase sur l'état de l'art pour les aménagements légers et économiques, l'adaptation du concept au contexte de la Montmorency et sa faisabilité technique; les coûts estimatifs de ces interventions seront également évalués. Viendra enfin la présentation des scénarios retenus et l'analyse des risques résiduels en fonction des conditions aménagées lesquelles visent à réduire significativement sinon éliminer complètement les dommages ou besoins d'intervention.

À la fin de ce rapport sont formulées diverses recommandations au Comité de suivi devant permettre de définir les termes de référence pour la poursuite des études sur le terrain plus technique de la validation mathématique et en laboratoire de l'efficacité des ouvrages de retenue des glaces ainsi que de l'approfondissement des scénarios de nature plus administrative.



## 2. Méthodologie

---

### 2.1 La démarche

La figure suivante schématise la méthodologie générale de l'étude de pré-faisabilité.

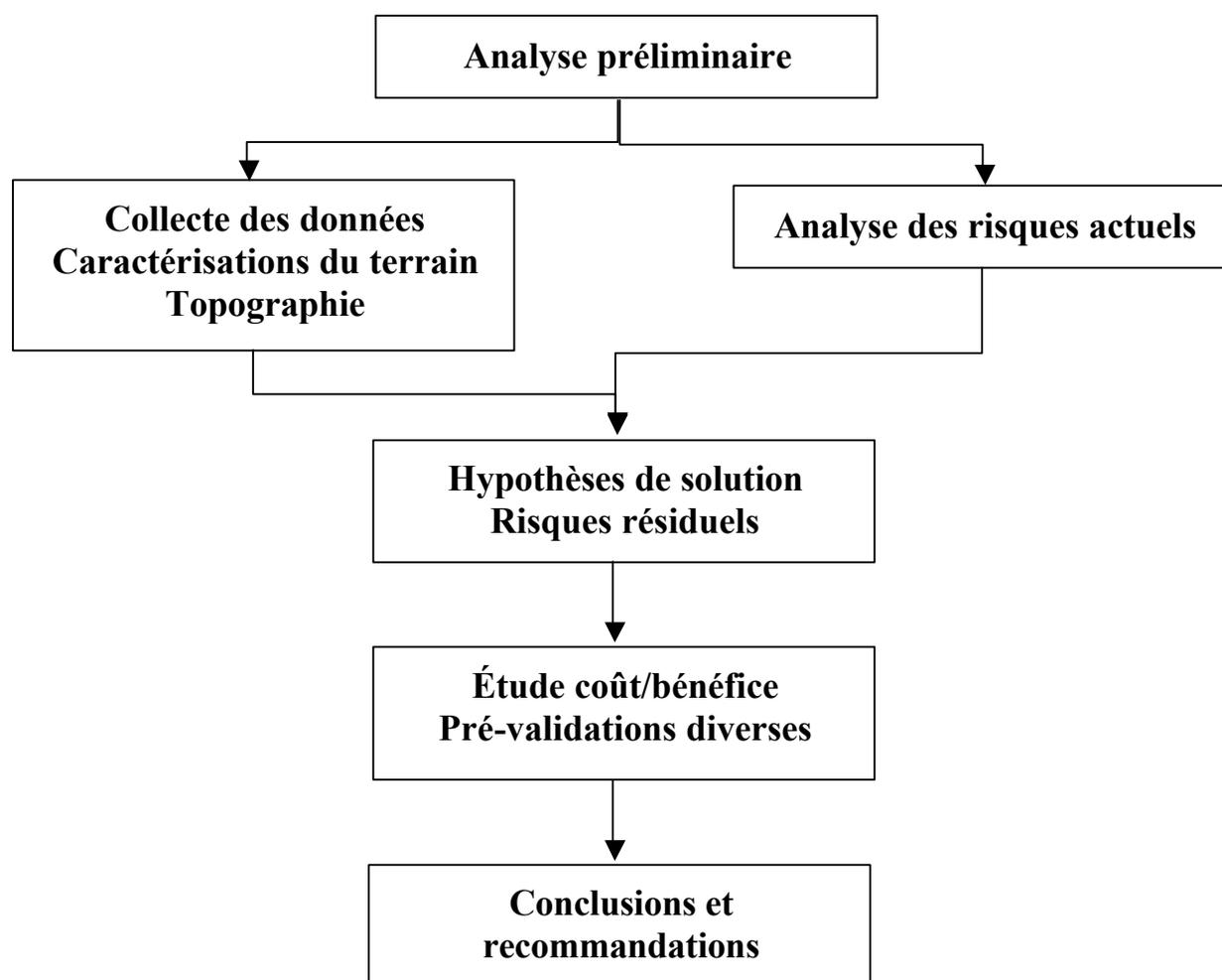


Figure 2 : Démarche adoptée pour l'étude de pré-faisabilité

## 2.2 Choix de la méthodologie

La méthodologie habituellement utilisée pour réaliser une étude de faisabilité (ou de pré-faisabilité) est souvent appelée *analyse de risques*. Le concept de *risque* permet de construire rapidement une analyse lucide des problématiques liées aux aléas de la nature. L'analyse quantitative des risques permet de concevoir des interventions pointues, rentables économiquement lorsque comparées au *statu quo*, et à divers niveaux de la chaîne de causes à effets produisant des dommages. Comprendre les risques et en faire le bilan constituent la base de l'approche préventive préconisée dans le mémoire des Municipalités de Beauport, Sainte-Brigitte-de-Laval et Boischatel présenté en 1999 aux Bureau d'Audiences Publiques sur l'Environnement sur les politiques de gestion de l'eau au Québec.

La notion de *risque* comporte deux facteurs explicatifs:

1. la *fréquence et l'amplitude des événements (les aléas)* pouvant causer des dommages
2. le *potentiel de dommages ou vulnérabilité* qui dépend du type, de la valeur et de l'exposition des éléments affectés par ces aléas.

Logiquement, la notion de risque doit comprendre également le coût des interventions réalisées pour les comprendre et les prévenir même si l'aléa ne se manifeste pas une année donnée. Les manques à gagner industriels, commerciaux et fiscaux sont également des conséquences à prendre en compte.

Généralement, l'analyse de risques prend la forme d'un étude coût/bénéfice (Ex : Laganière, 1982, 1983; PLURAM, 1983; El-Jabi et coll., 1981) dans laquelle les risques résiduels ainsi que les coûts des aménagements sont comparés au *statu quo* afin d'évaluer la rentabilité des interventions proposées. Toutefois, nous n'avons pas rencontré d'étude dans laquelle *l'équité* (la contribution relative) des coûts des dommages ou des interventions pour chacun des intervenants impliqués est prise en considération. Pourtant, une telle compréhension nous apparaît importante sinon essentielle pour mobiliser le financement au moment d'intervenir dans la résolution du problème. Nous croyons que, dans tous les cas, la solution proposée devra dégager assez de marge de manœuvre globalement pour permettre à chacun des intervenants d'en tirer avantage par rapport à la situation existante.

L'analyse de risques inclut aussi des dimensions non quantifiables comme la santé et la sécurité des personnes exposées ainsi que la conservation des composantes écologiques du milieu aquatique.

Dans les sections qui suivent, les différents aspects de cette méthodologie, telle qu'adaptée pour la présente étude, sont exposés.

## 2.3 L'analyse de risques

### 2.3.1 Le dommage moyen annuel

Un des documents qui a inspiré de nombreuses études de risques au Québec a été produit par El-Jabi et coll. (1981). Habituellement, la méthodologie de calcul du risque ( $R$ ) consiste à canaliser l'information disponible vers le calcul du « dommage moyen annuel » ( $DMA$ ) ou en tenant compte des dommages ( $D$ ) associés aux divers aléas et de la probabilité au dépassement de ceux-ci ( $P$ ). Ces deux variables sont liées par la relation suivante :

$$R \approx RMA = \sum D_i P_i$$

où  $P_i$  représente un intervalle de probabilité annuelle au dépassement de l'aléa de magnitude ou de classe  $i$ .

Sous cette forme, la variable risque ( $R$ ) exprime l'espérance mathématique du risque moyen annuel ( $RMA$ ).

### 2.3.2 Dommages résidentiels

En conditions de crue à l'eau libre, l'analyse de risques pour le patrimoine résidentiel est relativement simple à mettre en œuvre si l'on dispose à la fois des données sur l'altitude du terrain, sur la géoréférence des bâtiments vulnérables, sur les probabilités des crues ainsi que sur les niveaux d'eau atteints par les crues. Pour un exposé complet de cette approche, le lecteur pourra se référer au rapport par Leclerc et coll. (1997) réalisé pour le compte du ministère de l'Environnement suite aux crues du Saguenay et portant notamment sur l'élaboration de lois de comportement liant le dommage à la profondeur de submersion (Figure 3). Le développement de modèles théoriques non-biaisés pour l'estimation des dommages d'inondation a également fait l'objet de plusieurs travaux de recherche dans les dernières années (Booy et Lye, 1989 ; Beard, 1997 ; Goldman, 1997 ; Stedinger, 1997 ; Ouellette et al., 1985, 1988 ; El-Jabi et Rousselle, 1987 ; Ouarda et al., 1995).

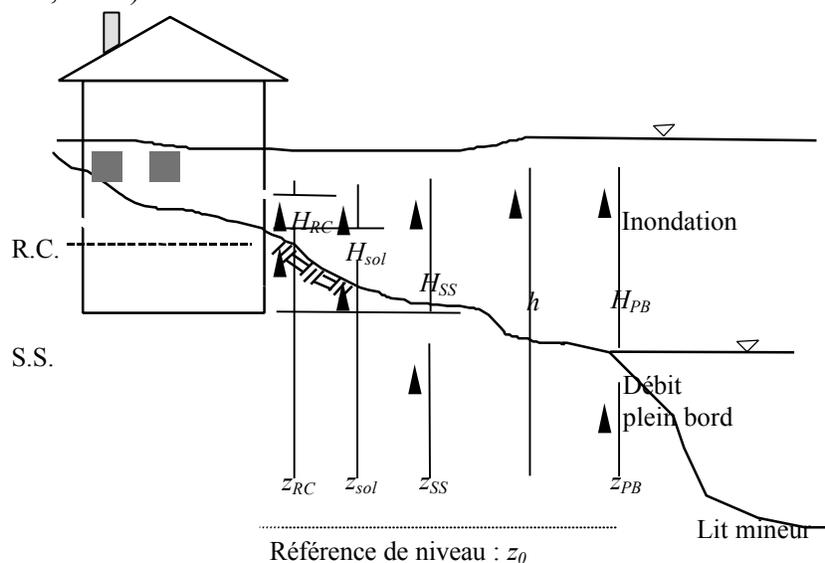


Figure 3: Variables définissant la submersion d'une résidence (extrait de Leclerc et coll., 1997)

Cependant, cette approche s'avère très ardue à mettre en œuvre dans le cas des embâcles et ce, pour diverses raisons. Premièrement, on dispose de très peu de données fiables pouvant faire l'objet de statistiques rigoureuses comme c'est le cas pour les crues à l'eau libre. Deuxièmement, les niveaux d'eau atteints et partant, les hauteurs de submersion ne font pas plus l'objet de mesures de sorte qu'une approche permettant de définir le niveau de dommages d'un aléa d'embâcle  $i$  à partir de ses paramètres hydrauliques, eux-mêmes étant liés à des probabilités d'occurrence de l'événement, est demeurée hors de portée jusqu'à ce jour malgré les tentatives mises en œuvre par divers chercheurs (voir CNRC, Comité associé d'hydrologie, 1990).

Pour la rivière Montmorency, la question posée peut-elle malgré tout recevoir une réponse opérationnelle satisfaisante sous la forme d'un ordre de grandeur? Nous croyons modestement que oui, car cette rivière a heureusement fait l'objet d'une surveillance très étroite depuis plus de cinq décennies par les divers intervenants publics et les riverains. Cette vigilance a permis d'assembler une grande quantité d'information que nous allons mettre à profit dans la présente étude. La section suivante adresse donc la question de la probabilité empirique des embâcles dans l'espace et le temps.

## **2.4 La probabilité et la sévérité des embâcles**

En analyse de risque, la probabilité au dépassement est associée à la sévérité des aléas et cette variable doit être connue pour évaluer le coût annuel moyen des dommages. Du point de vue statistique, les embâcles ne sont pas un phénomène qui se laisse décrire aussi facilement que les crues à l'eau libre. En effet, le débit des rivières est habituellement mesuré en continu sur de longues périodes et diverses méthodes permettent d'en évaluer la probabilité. Ainsi, on peut utiliser la méthode classique du Débit Maximum Annuel horaire ou journalier (*DMA<sub>h</sub>* ou *DMA<sub>j</sub>*) ou encore une méthode dite « au dépassement » pour établir les probabilités vraies des débits (voir Leclerc et coll., 2000 pour une application comparée de ces méthodes sur la rivière Montmorency). L'approche des embâcles n'est pas si simple car, contrairement aux crues à l'eau libre, les embâcles ne font pas l'objet d'un monitoring aussi détaillé et soutenu, si bien que les rares informations disponibles sont souvent dispersées et incomplètes. Heureusement, ce sont les événements les plus sévères donc les plus instructifs sur les dommages qui sont les plus documentés.

Par ailleurs, les embâcles ne se produisent pas systématiquement chaque année et pas toujours au même endroit ce qui fait intervenir, en plus de la notion de récurrence temporelle, un comportement spatial aléatoire. Il existe des méthodes permettant d'établir le niveau d'eau correspondant avec des événements de différentes magnitudes (CNRC, Comité associé d'hydrologie, 1990). Ces méthodes exigent en général un apport en données assez important surtout pour celles basées sur les processus physiques déterminant l'embâcle et conduisant à un niveau d'eau.

À cause des multiples facteurs d'incertitude et des insuffisances de la base de données existante, la meilleure approche pour définir les embâcles du point de vue de l'analyse de risques est *empirique* et basée sur les informations disponibles même si celles-ci sont hétérogènes en nature. Il s'agit :

1. de procéder à un inventaire aussi exhaustif des données et informations disponibles sur les embâcles auprès des divers intervenants impliqués,
2. de construire une *base de données* axée sur les événements qui se sont produits et de la bonifier à l'aide d'éléments d'analyse physique (volume de glace, conditions de déclenchement, etc.),
3. de *classifier* les événements selon la magnitude et la sévérité des dommages (en % de la valeur actualisée du parc résidentiel existant). Cette donnée est établie par examen des indices recueillis lors des événements répertoriés et/ou par avis d'expert sur leur potentiel destructeur). Cette approche permet de passer outre à l'évaluation du niveau d'eau pour aller directement à l'estimation du taux d'endommagement anticipé,
4. et finalement, d'attribuer à chaque classe une *probabilité caractéristique empirique* (équivalent à l'incrément de probabilité au dépassement ou  $P_i$ ) qui tient compte à la fois de la sévérité et de la distribution spatio-temporelle historique des embâcles sur l'ensemble du tronçon à l'étude.

La paramétrisation et les résultats de cette démarche sont présentés à la section 4.4, page 42.

## 2.5 La vulnérabilité

Le concept de risque comprend aussi le volet « *vulnérabilité* ». Ce volet comprend tous les éléments de coûts matériels, financiers, humains et environnementaux considérés comme les conséquences négatives des aléas. Selon Grigg et Helweg (1975), cinq catégories de dommages doivent être considérées, chacune ayant sa propre logique de calcul ou de décision :

1. Les *dommages physiques directs* aux immeubles, meubles et aux infrastructures publiques;
2. Les *dommages indirects* auxquels on associe les pertes de production ou de ventes (commerces), les coûts de santé, les retards induits par l'aléa, etc. Ils peuvent être évalués en pourcentage du dommage direct;
3. Les *dommages secondaires* que subissent ceux qui sont en relation avec les sinistrés mais qui n'ont pas subi eux-mêmes de dommages directs ou indirects (relation client-fournisseur, par exemple);
4. Les *dommages intangibles* à l'environnement, à la qualité de vie et au paysage;
5. Les *dommages d'incertitude* reliés à la menace permanente des aléas. Elle se traduit entre autres par un lourd handicap sur la valeur foncière qui se répercute sur le potentiel fiscal.

Sans remettre en question cette classification, nous considérons que, dans l'optique où la comptabilisation du risque vise à identifier tous les coûts de la situation présente en vue de mesurer les avantages de réduire les risques, les *coûts d'intervention* doivent aussi être pris en compte et ajoutés au bilan.

De même, la perte de rendement fiscal pour les pouvoirs publics locaux (municipalités, commission scolaires, MRC, CUQ) forme une composante très tangible du risque que la

classification de Grigg et Helweg (1975) rangerait dans la catégorie des *dommages d'incertitude*. Ces auteurs considèrent que cette variable indique le coût que les résidents seraient prêts à payer en taxes additionnelles ou autrement pour ne plus être soumis au risque. Une telle approche demanderait qu'une enquête soit effectuée auprès des riverains à risques pour paramétriser la variable. Notre approche est plutôt axée sur le rendement fiscal qui s'établit par la différence entre les taxes perçues actuellement et celles dans l'hypothèse où le risque serait éliminé. Pour ce faire, nous majorons la valeur au rôle d'évaluation selon les indications fournies par les intervenants municipaux. Nous reviendrons sur cet aspect plus loin.

Par ailleurs, ajoutons que la *ventilation des coûts (équité)* par intervenant est importante afin d'établir un bilan individualisé réaliste de la situation. Cette approche est une prémisse nécessaire pour établir une stratégie d'intervention équitable où chacun pourra y trouver son compte et régler le niveau de sa contribution. Nous consacrons la prochaine section à cet aspect.

Mentionnons enfin que tous les coûts ne sont pas toujours comptabilisables. Ainsi, nous considérons que les dommages à la santé des sinistrés et la perte de qualité de vie forment une variable qui doit être prise en compte indépendamment (intangibles) du dommage matériel. Nous rejoignons ainsi la conception de Grigg et Helweg (1975). Il en est de même des composantes environnementales du milieu. Si les items financiers peuvent s'inscrire dans une prise de décision de type économique (rapport coût/bénéfice), les deux autres éléments sont plutôt pris en compte par l'entremise d'un choix de société effectué au niveau politique.

Ci-après seront exposés en plus amples détails les choix méthodologiques effectués pour évaluer les différentes composantes de la vulnérabilité. Ayant à l'esprit la typologie générale présentée plus haut, nous avons jugé utile de procéder par type d'intervenant ce qui permet de faire ressortir dès le départ les éléments d'équité (partage du risque).

## **2.6 L'équité entre les divers intervenants**

Selon Sasseville et Maranda (2000), « l'équité consiste à minimiser tout effet pouvant augmenter le bien-être des uns au détriment de celui des autres ». Dans le cadre de la problématique des inondations, il serait en effet tout à fait inéquitable que la résolution d'un problème d'inondations dans un secteur prenne appui sur la création d'un autre ailleurs en aval ou en amont. Ceci ne ferait que déplacer le problème sous la forme d'une exportation du risque. Les mêmes auteurs soulignent aussi que l'application du principe d'équité par l'état lui fait devoir « d'atténuer l'incidence des facteurs arbitraires ou fortuits (inondations) sur la condition économique et sociale des individus et des groupes ».

Dans ce contexte, nous devons rechercher une solution qui évite à la fois, d'exporter le problème physique ailleurs sur le réseau hydrographique, et d'alourdir le fardeau financier des contribuables en général. Ainsi, le concept d'équité s'applique autant aux aspects financiers qu'aux aléas eux-mêmes. Par conséquent, le plan de réduction des risques ne doit aggraver le bilan financier et physique des risques pour aucun des partenaires. Le plan de financement des solutions doit donc tenir compte de la ventilation actuelle des coûts entre les entités concernées dans le but de chercher à l'améliorer pour tous, ce qui revient à permettre à tous d'y gagner

(principe du « *twin-win* »). C'est donc autour d'un véritable partenariat gagnant que le plan de réduction des risques doit s'articuler.

Dans les sections qui suivent, nous allons faire ressortir les différents éléments d'équité à considérer pour en arriver à une application judicieuse de ce principe. Les principaux acteurs du partenariat sont les riverains eux-mêmes, les instances locales (municipalités et commissions scolaires) et les ministères du gouvernement appelés à jouer un rôle. C'est dans cet ordre que sera effectué le traitement.

## **2.6.1 Les riverains et leurs propriétés**

Les premiers concernés par la problématique sont, bien sûr les propriétaires riverains qui, en plus de voir leurs biens meubles et immeubles menacés ou endommagés, sont personnellement exposés aux risques qui se produisent parfois très soudainement et souvent en pleine nuit. Nous avons cherché à établir ici tous les éléments qui contribuent à définir les pertes encourues par les riverains exposés aux embâcles.

### **2.6.1.1 Risques pour la santé et la sécurité (intangibles)**

Les embâcles sont parfois caractérisés par une très grande soudaineté qui peut même prendre par surprise les personnes les plus vigilantes, surtout quand la débâcle qui les précède se produit au milieu de la nuit. Bien que les embâcles se produisent presque toujours aux mêmes endroits de prédilection, le site affecté peut varier d'une année à l'autre selon les conditions de déclenchement, laissant pratiquement indemnes les autres secteurs. À cause des facteurs d'incertitude reliés à la prédiction des événements et des sites qui seront touchés, il devient très difficile de mobiliser les ressources judicieusement en vue d'une évacuation préventive.

Lors d'un embâcle catastrophique touchant à la sécurité des personnes, les dommages sont à la fois de type sanitaire et psychologique. Dans le premier cas, à moins qu'il ne s'agisse de pertes de vie, les atteintes à la santé sont soignées dans les hôpitaux. Les dommages psychologiques sont plus sournois et peuvent nécessiter l'intervention de ressources professionnelles de soutien aux sinistrés. Dans certains cas, des propriétaires riverains subissent un stress psychologique violent qui les pousse aux limites de la détresse et les empêche définitivement de remettre les pieds dans leur résidence. Ces personnes vont même jusqu'à renoncer à une bonne partie de leur patrimoine foncier en vendant à perte ou en acceptant une indemnité de relocalisation qui ne couvre qu'une partie de la valeur de remplacement du bâtiment.

Dans cette étude, nous ne ferons que mentionner des cas où des situations de risques personnels ont été vécues sur la rivière Montmorency dans la mesure où celles-ci ont été rapportées officiellement.

### **2.6.1.2 Pertes matérielles (dommages directs)**

La part des dommages physiques assumée directement par les riverains retient notre attention ici. *Contrairement à la croyance populaire, une part très significative des dommages physiques est*

*assumée par les propriétaires* étant donné que la plupart du temps, les décrets d'indemnisation par le gouvernement ne les compensent typiquement que pour 75% du préjudice admissible à l'immeuble principal (décret 452-98 de 1<sup>er</sup> avril 1998 du ministère de la Sécurité publique pour les inondations 1997-98 à l'Île-Enchanteresse). Cependant, cette compensation est limitée au minimum de la valeur au rôle ou 100 000\$. Étant donné que la valeur au rôle est nettement inférieure à la valeur de remplacement des bâtiments dû aux dommages d'incertitude (voir la section suivante), une part importante du préjudice demeure généralement à la charge du propriétaire.

Cependant, dans les cas où les propriétaires désirent se relocaliser hors de la zone à risque, le taux d'indemnisation est fixé à 100% du préjudice dans les mêmes limites que précédemment.

Considérant les dommages aux meubles et aux biens personnels, le décret prévoit une indemnisation pour les biens essentiels seulement, limitée à 15 000\$.

Étant donné qu'il était fastidieux et impraticable d'établir l'équité des dommages en se basant sur l'application de ces règles dans chaque cas de figure possible sur le bassin de la Montmorency, nous avons plutôt choisi de procéder avec des ratios caractéristiques de sinistres s'étant produits à l'Île-Enchanteresse (Réjean Thériault, Ministère de la Sécurité publique, communication personnelle, novembre 2000):

?? valeur de l'indemnité gouvernementale / valeur totale du dommage (meubles et immeuble): 50%. Ceci implique que l'autre 50% est assumé par le sinistré;

?? indemnisation pour les meubles / indemnisation pour le bâtiment, 20%.

### **2.6.1.3 Pertes patrimoniales et iniquité fiscale liées aux dommages d'incertitude**

Il est notoire que les propriétés situées en zones à risques subissent une dépréciation significative reliée à l'incertitude<sup>4</sup> qui se traduit par une valeur au rôle d'évaluation (*valeur marchande*) inférieure à la *valeur de remplacement* (coût de reconstruction identique). Une sous-évaluation de 60% en résulte selon nos interlocuteurs de la Municipalité de Sainte-Brigitte-de-Laval. Ce handicap imposé à la valeur de la propriété limite comme nous l'avons vu les possibilités d'indemnisation en cas de sinistre lourd, ainsi que le potentiel de revente et d'emprunt hypothécaire.

Par contre, la faible valeur au rôle d'évaluation réduit considérablement la charge fiscale municipale et scolaire du contribuable qui dépend presque entièrement de cette variable. Ainsi, alors que la valeur de remplacement peut parfois se comparer à celle des propriétés non exposées aux risques ailleurs dans la municipalité, les taxes payées par le contribuable à risque sont nettement réduites en comparaison. Pour un futur propriétaire désirant s'établir en de tels lieux, le prix des propriétés s'établit à des niveaux bien plus abordables qu'ailleurs. Ces points sont peut-être les seuls éléments positifs de la problématique des risques pour le riverain.

---

<sup>4</sup> Nous considérons que les aléas d'inondation sont plutôt des certitudes, seul demeurant inconnu le moment où ils se produisent.

Pourtant, les coûts d'intervention municipale (protection et travaux publics, notamment) s'y élèvent à un niveau supérieur à tous les autres secteurs de la municipalité, ce qui est perçu comme par un facteur d'iniquité sociale fortement ressenti par certains citoyens et élus. Il ne faut cependant pas oublier que seul un bilan de la part assumée par le contribuable du risque – vs – l'avantage fiscal dont il bénéficie peuvent permettre de se faire une idée juste à cet égard.

Le rétablissement de la valeur marchande d'un bâtiment suite à la réduction ou l'élimination des risques d'inondation est un facteur susceptible de se répercuter par des charges fiscales accrues pour les riverains, du moins à moyen terme. À court terme, avant que la valeur marchande ne se rétablisse à un niveau normal, la sécurité et la plus-value accordée aux bâtiments et aux personnes auparavant à risques peuvent donner lieu à une taxe spéciale de secteur qui corrigera non seulement l'iniquité citée précédemment mais permettra de financer les interventions physiques projetées. C'est le pari du présent projet.

Pour les fins de la présente étude, nous allons tenter de quantifier raisonnablement ce facteur en attribuant globalement un facteur de handicap à la valeur marchande du parc résidentiel menacé et en rétro-calculant la valeur de remplacement à partir de la valeur au rôle d'évaluation disponible dans les M.R.C. et à la C.U.Q..

#### **2.6.1.4 Coûts de relocalisation temporaire**

Lors de sinistres, les évacuations requises se traduisent par des coûts de relocalisation temporaire (hébergement, séjour) qui sont assumés à la fois par les riverains évacués et par le gouvernement. De tels coûts ont été rapportés pour quelques-uns des embâcles à problèmes s'étant produits sur la Montmorency. Bien sûr, ces coûts sont proportionnels à la durée du phénomène ainsi qu'à son amplitude qui détermine le nombre de personnes touchées.

Pour les fins de la présente étude, les données rendues disponibles par le ministère de la Sécurité publique et le ministère de l'Environnement sont analysés et interprétés dans cette perspective. Cependant, il s'est avéré difficile de les prendre en compte dans le bilan global.

## **2.6.2 Municipalités et autres instances locales**

Après les riverains, les premiers concernés par la problématique des risques par embâcles et l'intervention opérationnelle sont les municipalités. En plus de devoir assurer directement la sécurité de ses citoyens par les forces de l'ordre, elles doivent aussi comme c'est le cas pour la Ville de Beauport, garantir la sécurité d'approvisionnement en eau potable. Elle sont donc directement interpellées en cas de sinistre et elles doivent assumer la responsabilité de la prévention. À travers la fiscalité, les municipalités mais aussi les commissions scolaires sont également visées par la sous-évaluation des propriétés menacées par les risques (dommages d'incertitude). Nous allons décortiquer ci-après les différents éléments qui contribuent à alourdir la facture ou amoindrir les revenus de ces instances dans les zones à risques.

### **2.6.2.1 Coûts de prévention et de surveillance**

En tout temps, les municipalités, par l'entremise des forces de l'ordre, s'organisent afin que les signes précurseurs d'une débâcle et d'embâcles consécutifs soient détectés suffisamment tôt pour que les manœuvres d'évacuations des riverains exposés demeurent applicables. Pour ce faire, des outils de surveillance sont mobilisés dans les périodes de redoux hivernaux et lors des épisodes de fonte printanière afin que l'alerte puisse être déclenchée très rapidement chez les riverains.

Parmi les outils utilisés, on compte notamment les patrouilles policières 24/24 heures, l'installation et l'opération de dispositifs automatiques déclenchant l'alerte en cas de mouvement du couvert de glace, les instruments de mesure météorologiques (température, pluviométrie). Ces mesures extraordinaires se traduisent évidemment par des coûts qui ne se trouvent pas toujours associés à des événements catastrophiques puisqu'ils sont essentiellement à caractère préventif.

Dans cette étude, nous allons tenter de quantifier ces coûts en faisant ressortir le fait qu'ils ne sont pas nécessairement associés à une probabilité d'embâcle hormis le fait que les patrouilles ont lieu lors de redoux aléatoires dans le temps.

### **2.6.2.2 Protection publique (urgences)**

Lors de sinistres, les forces de l'ordre et des équipements spéciaux sont mobilisés par les municipalités pour organiser les évacuations et répondre aux besoins urgents reliés à la santé et à la détresse des sinistrés. On assume que ces coûts sont reliés directement à l'urgence, à la durée ainsi qu'à la sévérité des événements.

Pour les fins de la présente étude, des estimations ont été réalisées à une enquête conduite auprès des forces de l'ordre.

### **2.6.2.3 Interventions physiques**

Dans certains cas, des interventions physiques sur le cours d'eau ou en rive sont rendues nécessaires afin de faciliter l'évacuation du débit de la rivière dans une section d'écoulement encombrée par la présence de blocs de glace ou de frazil. Ce fut le cas à diverses reprises à l'Île-Enchanteresse (notamment, en 1992 et 1999) ainsi qu'au lac du Délaié en décembre 2000 où un chenal temporaire pratiqué dans l'embâcle a été excavé en vue de permettre d'évacuer plus efficacement le débit de la rivière. À la station de pompage de Beauport, des brèches pratiquées en travers des digues confinant le « fossé de ceinture » jouxtant les bassins de captation ont aussi permis en février 1998 d'évacuer le débit transitant par le secteur résidentiel des Îlets (via le « Rigolet ») et de préserver l'intégrité des bassins.

Pour les fins de l'étude, une enquête auprès des services de travaux publics des municipalités a permis de quantifier les coûts de ces interventions et des les associer à une classe d'événement.

#### **2.6.2.4 Coûts des dommages aux infrastructures**

Les dommages aux infrastructures sont habituellement établis au cas par cas étant donné la grande spécificité de ces composantes vulnérables. Parmi les infrastructures, certaines sont ponctuelles (pont, prise d'eau) tandis que d'autres sont plutôt linéaires et s'étendent sur toute la zone affectée (voirie, électricité, téléphone, câble).

Pour cette étude, seule la prise d'eau de Beauport a retenu notre attention bien qu'il faille retenir que des dommages aux autres composantes sont toujours possibles.

#### **2.6.2.5 Coût des études**

Il est notable aussi qu'en cas de sinistre important, la perception temporairement plus aiguë du risque et l'insécurité vivement ressentie par les riverains commande habituellement des études techniques visant d'abord la recherche de solutions mais aussi la sécurisation des sinistrés. Les autorités démontrent ainsi que le problème retient leur attention ce qui permet à moyen terme d'abaisser la pression qui s'exerce sur elles dans la période qui suit le sinistre. Les nombreuses études réalisées sur la rivière Montmorency (près de douze officielles mises à part celles qui n'ont pas été publiées) témoignent de cette propension et de la fréquence des sinistres au cours de la période recensée. Malheureusement, pour le cas présent, peu de celles-ci ont conduit à identifier des solutions praticables et les auteurs espèrent sincèrement renverser cette tendance à l'aide des nouvelles techniques d'analyse et d'intervention disponibles aujourd'hui.

Le facteur « études techniques » représente des coûts significatifs qui peuvent être reliés directement à la probabilité des événements dépassant un certain seuil de sévérité. Le coût des études peut varier énormément et il est difficile d'en établir la valeur typique, de même que l'équité de la facture.

#### **2.6.2.6 Manque à gagner fiscal ou dommages d'incertitude**

Concernant le manque à gagner fiscal, l'item n'apparaît pas dans la colonne des coûts du bilan des risques. Il s'agit plutôt d'un revenu qui n'est pas comptabilisé dans la colonne des actifs, ce qui revient toutefois au même. En terme de récurrence, ce « coût » est récurrent annuellement (année fiscale) et il s'établit selon les taux de taxation en vigueur (municipal et scolaire) en mesurant l'écart entre la valeur marchande au rôle d'évaluation, soit une valeur très dépréciée par les risques, et la valeur de remplacement qui peut servir en première approximation d'indice de la valeur marchande en l'absence de risque.

On pourrait ajouter à ceci que l'absence de risque inciterait sans doute les riverains à exploiter plus efficacement la valeur intrinsèque d'un terrain situé en bordure d'un plan d'eau sécuritaire et d'y ériger des propriétés d'une plus grande valeur. Pour les fins de cette étude, nous nous contentons d'évaluer le simple écart entre la valeur marchande actuelle et la valeur de remplacement sans égard au potentiel ultime de mise en valeur des zones riveraines sécurisées.

### **2.6.2.7 Équité**

Ici encore interviennent des éléments d'équité puisque les coûts ne sont pas toujours entièrement assumés par les municipalités. Il en est ainsi des interventions physiques sur le cours d'eau qui font aussi l'objet d'indemnisations par les gouvernements supérieurs. De même, les remblais et empiètement réalisés par les riverains pour se protéger des glaces, des inondations et de l'érosion sont la plupart du temps assumés par ces derniers. Bien sûr, il ne faut pas oublier la part des coûts assumée par l'ensemble des contribuables qui représente un élément de contestation non négligeable sur le plan politique.

Le facteur d'équité a donc également été considéré dans la ventilation des coûts assumés en partie par les municipalités.

## **2.6.3 Ministère de la Sécurité publique**

Après les municipalités, le ministère de la Sécurité publique (M.S.P.) est l'instance gouvernementale la plus concernée par les inondations tant sur le plan opérationnel (surveillance, alerte, gestion de crise) que pour la suite des événements (indemnisations, interventions physiques). De plus, cette instance est impliquée dans la prévention. Du point de vue des coûts d'intervention sur la rivière Montmorency, ce sont surtout les indemnisations et le remboursement des coûts d'intervention physique qui constituent les postes budgétaires majeurs.

### **2.6.3.1 Politique d'indemnisation des sinistrés**

Les indemnisations aux sinistrés sont allouées par décret gouvernemental selon une formule qui peut varier d'un sinistre à l'autre. Ce sujet a été abordé à la section 2.6.1.2 (Pertes matérielles (dommages directs)), page 13. De façon générale, 50% des coûts des dommages matériels (immeuble et meubles) sont indemnisés. Les décrets compensent habituellement pour les éléments suivants : dommages aux immeubles et aux meubles, relocalisation temporaire et frais de séjour et à l'occasion les soins psychologiques postérieurs à la crise.

### **2.6.3.2 Remboursement des coûts d'interventions municipales**

Les interventions en rivière sont également prises en charge directement ou compensées quand ce sont les municipalités qui en prennent l'initiative. Sur la Montmorency, de telles interventions ont été réalisées à au moins trois reprises pour pratiquer un chenal d'écoulement à travers du couvert de glace en aval ou vis-à-vis de l'Île-Enchanteresse ainsi qu'au lac du Délaissé. Ces coûts seront donc comptabilisés et ventilés en conséquence.

## **2.6.4 Ministère de l'Environnement**

C'est le ministère de l'Environnement qui assumait traditionnellement la responsabilité de la problématique des inondations au Québec. Les programmes mis en place visaient le monitoring hydrologique et la surveillance des cours d'eau, la prévision, la cartographie des zones à risques (Convention Canada-Québec), les aménagements visant le contrôle des crues et des embâcles ainsi que la gestion des crises. Plusieurs de ces éléments ont été transférés au ministère de la Sécurité publique (M.S.P.), notamment la surveillance et la gestion opérationnelle. L'intervention du ministère de l'Environnement a en outre été répartie entre le central qui établit les politiques et gère certains programmes nationaux (ex : le programme de détermination des cotes de crues ou P.D.C.C.), et la région qui continue de pourvoir les unités opérationnelles en données de monitoring et en expertise des cours d'eau.

Bien que ces opérations soient rendues nécessaires à cause justement de la présence des risques, on ne peut pas escompter réaliser des économies substantielles à ce niveau par une réduction des risques. Seuls la surveillance et la gestion opérationnelles des inondations pourraient en bénéficier et ce mandat est maintenant de la responsabilité du M.S.P..

Pour les fins du projet, les activités historiques du ministère de l'Environnement reliées aux embâcles de la Montmorency doivent être comptabilisées au titre des interventions gouvernementales même si c'est un autre ministère qui assume ce rôle aujourd'hui. Du point de vue de l'équité, c'est la même entité, le gouvernement, qui règle la facture en bout de ligne.

## **2.6.5 Instances supra-municipales**

Les instances supra-municipales telles que la Communauté urbaine de Québec et les Municipalités régionales de comté ont le devoir de participer à la mise en place et à la révision des schémas d'aménagement qui limitent ou interdisent les nouvelles constructions en zones inondables. C'est la Loi sur l'Aménagement et l'Urbanisme qui leur confère cette responsabilité. C'est donc à travers des études spécialisées que ces instances administratives se manifestent dans la problématique des risques.

Du point de vue du calcul des risques, les coûts d'intervention de cette nature peuvent être considérés comme des coûts fixes et ils ne comportent pas d'aspect récurrent reliés à la survenue d'événements.

## **2.7 Validations requises par les interventions structurales**

Quel que soit le concept retenu pour intervenir structurellement sur le cours d'eau, certaines validations techniques sont requises. La rentabilité de l'intervention est considérée à part. Les critères suivants doivent être examinés :

- ?? *La morphologie du tronçon* : site actuellement ou éventuellement favorable aux embâcles et comportant une capacité suffisante d'emmagasinement de glace et d'évacuation du débit;
- ?? *La non vulnérabilité du site*: absence d'éléments vulnérables aux inondations et à la glace ou possibilité de leur relocalisation;
- ?? *L'impact environnemental* : les impacts potentiels favorables ou défavorables sur le milieu aquatique et les habitats fauniques, ainsi que sur les autres usages du milieu, notamment la récréation;
- ?? *L'ingénierie* : les possibilités d'implantation et d'accès au site pour la construction;
- ?? *La géotechnique* : possibilité d'érosion liée à la présence de talus sensibles aux glissements de terrain dans le voisinage amont.

## **3. Disponibilité et collecte des données, enquête auprès des intervenants**

---

Suite à la première rencontre du Comité de suivi, une collaboration pleine et entière a été fournie par les divers intervenants disposant de données utiles sur la problématique. Dans ce chapitre, nous allons faire le point sur les données détenues par les divers intervenants aux dossiers. Cependant, le traitement de ces données dans l'optique de l'analyse de risques sera effectué dans les chapitres suivants.

### **3.1 Ville de Beauport**

Une rencontre a été organisée avec des représentants des Services techniques de la Municipalité : Clément Villeneuve, ing. du Service des Travaux publics et Sylvain Langlois du Service de l'Aqueduc. La recherche de données a porté sur les coûts des dommages qui seraient causés à la station de pompage et aux bassins de captation en relation avec les différents niveaux d'amplitude d'embâcles dans le tronçon des Îlets. D'autres questions relatives aux interventions d'urgence ont aussi été discutées.

Pour cette municipalité, une étude antérieure sur les risques à l'eau libre (Leclerc et coll., 1999) avait permis de collecter les données d'évaluation des résidences ainsi que leur position géoréférencée ce qui a permis de sélectionner celles présentant un certain degré de vulnérabilité. Ces données ont été incorporées dans la base de données planimétriques du logiciel MODELEUR qui est l'outil retenu pour traiter les données de terrain. Le traitement de ces données dans une perspective d'analyse de risques est réalisé aux chapitres suivants.

### **3.2 Municipalité de Boischatel**

Diverses rencontres informelles ont eu lieu avec des responsables techniques de la municipalité, notamment Michel Lefebvre, secrétaire-trésorier de Boischatel et Daniel Dupuis du Ministère de la Sécurité publique. La configuration particulière du risque d'inondation à cet endroit a été abordée et il a été établi que la source des problèmes les plus fréquents était surtout due à l'accumulation de frasil dans le lac du Délaissé en provenance du rapide des Trois-Saults qui, à cause de sa pente très accentuée (typiquement 3%, ce qui est considérable), tarde à former un couvert de glace au début de l'hiver, exposant partiellement le plan d'eau aux grands froids.

Cette accumulation de frasil finit par gêner le passage du débit quant des précipitations plus abondantes se produisent sur le bassin. Il en résulte une surélévation du niveau de l'eau dans ce bief ayant pour conséquence des risques d'inondation. On a rapporté aussi des dommages par déchaussement à la piscine municipale (rue des Émeraudes) associés à un rehaussement de la nappe phréatique. Cette vulnérabilité a cependant été réparée ultérieurement. Dans certains cas, la dévalaison des glaces lors de débâcles provoquées par de fortes précipitations hivernales peut former des embâcles importants comme en 1983 et en décembre 2000. Dans ces cas, la production de frasil s'effectue sur l'ensemble du tronçon en amont momentanément libre de glace (près de 30 km en décembre 2000) ce qui contribue à accroître l'effet d'obstruction de l'embâcle dans le lac du Délaissé.

### **3.3 Municipalité de Sainte-Brigitte-de-Laval**

Une rencontre formelle a été organisée avec les représentants de la Sécurité publique de la Municipalité, soit M. Claude Côté, chef, et Yvan Tremblay, un adjoint. Un dossier complet des coûts d'intervention annuels depuis 1992 a été constitué et nous a été remis. Plusieurs rubriques de coût ont été identifiées :

1. Les coûts d'intervention en prévention et en urgence;
2. Le rendement fiscal du parc résidentiel à risques.

Lors de cette rencontre, les coûts d'une relocalisation éventuelle, partielle ou complète des riverains à haut risque ont aussi été abordés et seront rapportés au chapitre sur les interventions.

### **3.4 Instances supra-municipales**

#### **3.4.1 M.R.C. Jacques-Cartier**

Les données que possède la M.R.C. Jacques-Cartier sont principalement de deux types : des données relatives au rôle d'évaluation et des données relatives à la cartographie de zones inondables. Concernant la cartographie des zones inondables, la M.R.C. Jacques-Cartier a produit des cartes identifiant les zones inondables pour deux tronçons de la Montmorency et deux tronçons de la Saint-Adolphe (un tributaire de la Montmorency). Ces cartes identifient les zones de récurrence 20 ans, 100 ans ainsi que les zones d'embâcles s'il y a lieu. On compte ainsi un tronçon de 1,5 km sur la Saint-Adolphe (secteur Labranche, 20 ans et 100 ans), un tronçon de 700 m sur la Saint-Adolphe (secteur du camping, 20 ans et 100 ans), une section de 1,4 km sur la Montmorency (secteur de la rue Saint-Georges, 20 ans, 100 ans et zone d'embâcle) et un tronçon de 3,5 km débutant à 350 m en amont de l'Île Enchanteresse en allant vers l'aval (zone d'embâcle) jusqu'aux limites de Beauport (incluant les secteurs de la rue des Deux-Rapides et celui de la Côte-du-Lac).

Pour confectionner ces cartes, la M.R.C. a effectué des visites sur le terrain et des mesures d'arpentage en plus d'utiliser des données existantes. Ses dossiers contiennent les données utilisées pour produire ces cartes. Il s'agit de photos (souvent des photos de marques laissées par les embâcles), de comptes rendus de visites et d'événements, des calculs hydrologiques, des notes d'arpentage, des témoignages et de deux études portant sur les inondations. Ces études sont celles de la cartographie des zones inondables faites dans le cadre de l'entente Canada-Québec. Une portait sur l'Île Enchanteresse (MH-89-14) et l'autre portait sur le tronçon amont du rapide des Trois-Saults (DH-94-01).

### **3.4.2 Communauté urbaine de Québec (C.U.Q.)**

La C.U.Q possède les données relatives au rôle d'évaluation, de nombreuses photos aériennes à partir de 1984 et une carte sur le risque d'inondation par embâcle sur le tronçon de la rue Bocage (allant de l'île de Canteloup jusqu'au secteur des Îlets). Pour produire cette carte, des relevés de marques laissées par les glaces sur les arbres ont été effectués; de plus, un article et deux mémoires de baccalauréat sur le phénomène des ravages glaciels dans le secteur ont été utilisés. La C.U.Q a également identifié des photographies aériennes existantes pour les années 1979 et 1960 pour le secteur. La C.U.Q. a également procédé récemment à la révision du schéma d'aménagement dans les secteurs des Trois-Saults et des Îlets. Les auteurs du présent rapport ont collaboré à cette démarche notamment, en mettant à jour les probabilités de crues à l'eau libre 20-100 ans dans le secteur. De plus, les simulations hydrodynamiques ont servi à établir les niveaux d'eau reliés à ces crues. Cependant, la problématique des inondations par embâcles est assez peu documentée à cet endroit.

## **3.5 Ministère de l'Environnement**

Qu'il s'agisse de la Direction de l'Hydraulique (central) ou de ses services opérationnels en région, le ministère de l'Environnement (MENV) possède une volumineuse documentation sur le suivi hivernal de la rivière Montmorency et ses embâcles depuis 1974, et même avant si l'on compte les travaux et études réalisés dans les années 60 par le ministère des Richesses naturelles. La documentation est constituée de descriptions de l'état de la rivière et de rapports des événements ainsi que de nombreuses photographies prises lors de survols ou à partir de la berge. La documentation est plus volumineuse à partir de 1978. Quatre photographies aériennes officielles ont été prises lors de l'embâcle de 1992 à l'île Enchanteresse. Le ministère possède donc des études visant, soit la compréhension du problème des embâcles sur la Montmorency, soit encore la recherche de solutions incluant l'aspect avantage-coûts. Les études qui ont été recueillies sont les suivantes : Barabé (1978), Verreault (1990).

Le ministère a mesuré l'épaisseur de la glace durant l'hiver 1986 autour de l'Île-Enchanteresse. Il a également produit une carte montrant l'emplacement des embâcles entre 1964 et 1992. Un tableau accompagnant cette carte donne l'historique des événements et des interventions sur la rivière Montmorency. Ce tableau est repris plus loin dans ce rapport. Le ministère dispose aussi d'une liste des plans topographiques réalisées sur la rivière Montmorency depuis 1969.

Quelques études de comportement des glaces ou de pré-faisabilité d'intervention touchant d'autres cours d'eau ont également été mises à la disposition des auteurs par le MENV :

?? Poussée des glaces au barrage Sartignan-Saint-Georges (Recherches Bermic, inc., 1990);

?? Analyse avantages-coûts - Mesure de protection contre les inondations par embâcle à Terrebonne (Laganière, 1983);

?? Étude des glaces sur les rivières Saint-Charles et Duberger (Laganière, 1982);

?? Solutions aux inondations, Ville de Richmond (PLURAM, 1983).

La plupart de ces études sont inspirées du rapport sur l' « Estimation des dommages moyens causés par les inondations » par El-Jabi et coll. (1981).

Le ministère de l'Environnement a également mis à notre disposition des données topographiques récentes sous la forme de 196 transects mesurés dans la région située immédiatement à l'amont de l'Île-Enchanteresse. Nous reviendrons sur ces données à la section 3.8.

### **3.6 Ministère de la Sécurité publique**

Les dossiers du ministère de la sécurité publique (M.S.P.) comprennent les indemnités versées par le gouvernement pour les riverains de la Montmorency depuis 1992, en particulier, les dommages occasionnés aux résidences, des photographies aéroportées des embâcles, des rapports de situation suite aux événements, un rapport de debriefing suit à l'embâcle de 1992 et un travail académique d'analyse de la catastrophe naturelle de l'île Enchanteresse de mars 1992. On y trouve également des copies des décrets concernant les programmes d'assistance financière. Les coûts fixes annuel de fonctionnement de la Direction de sécurité civile impartis à la rivière Montmorency sont estimés à \$10 000 selon Michel Gascon (communication personnelle, 2000) du M.S.P..

### **3.7 Riverains**

Des représentants recrutés dans les différents voisinages riverains ont été réunis afin d'obtenir certaines données complémentaires concernant les embâcles notamment la séquence de déroulement de certains événements et les niveaux d'eau maximums atteints dans leur voisinage. C'est le Comité de Citoyens de l'Île-Enchanteresse qui assume jusqu'à nouvel ordre la coordination de ces rencontres. Diverses réunions ont été tenues (en plénière ou avec des représentants désignés dans chacun des voisinages) et nous avons tenu compte des informations recueillies autant que faire se peut dans la rédaction de ce rapport.

## 3.8 Topographie

La topographie précise de la région d'étude est, faut-il le rappeler, essentielle à la compréhension et l'évaluation des risques ainsi qu'à la recherche de solutions. Pour la présente étude, une combinaison de données existantes et de nouvelles données a été utilisée en mettant l'accent dans ce dernier cas sur l'utilisation de nouvelles méthodes de caractérisation.

### 3.8.1 Données existantes

Quelques ensembles de données étaient disponibles pour constituer un modèle de terrain fiable de l'ensemble du tronçon à risque. On compte notamment:

1. Les cartes 1/20000 du ministère des Ressources naturelles dont la précision est considérée comme insuffisante (isolignes aux 10 mètres) pour les fins du projet
2. Le modèle de terrain photogrammétrique de la Ville de Beauport établi à l'échelle 1/2000. Ces données ont déjà été incorporées dans le logiciel MODELEUR lors d'études de risques antérieures sur la Montmorency (voir Leclerc et coll., 1999);
3. Les données de caractérisation du lit mineur de l'INRS-Eau dans le secteur des Îlets sous la forme de semis de points (voir Leclerc et coll., 1999; Doyon, 2000);
4. Les transects du programme Canada-Québec de cartographie des risques d'inondation réalisés pour le ministère de l'Environnement et de la Faune (MEF) en vue de la cartographie des zones inondables 20-100 ans entre Boischatel et l'Île-Enchanteresse;
5. Un deuxième jeu de transects (18) du ministère de l'Environnement réalisés au printemps de l'an 2000 dans le cadre du Programme de Détermination de Cotes de Crues (PDCC);
6. Les transects rapprochés du ministère des Richesses naturelles établis en 1964 pour un tronçon situé au voisinage de l'Île-Enchanteresse et visant une intervention de recalibrage dans ce secteur; ces données ne sont plus valables dans le secteur où l'intervention a été réalisée, soit immédiatement en aval de l'Île-Enchanteresse; une validation de ces données est donc nécessaire, même à l'amont à cause de la mobilité du lit à cet endroit;
7. Des semis de points établis par la M.R.C. de la Jacques-Cartier couvrant la plupart des secteurs riverains (terrestres) à risque de la municipalité de Sainte-Brigitte-de-Laval.

### 3.8.2 Caractérisations complémentaires

Deux campagnes de caractérisation complémentaires ont été nécessaires :

1. la première campagne afin de préciser la topographie du lit majeur sur l'ensemble des tronçons à risques du cours d'eau, soit entre Boischatel et l'amont du secteur de Sainte-Brigitte-de-Laval; pour ce faire, un mandat a été confié à la firme Consultants GPR (un partenaire du projet pour les aspects R/D) afin de réaliser une caractérisation aéroportée par

balayage laser. Pour des raisons logistiques, la campagne a été réalisée en deux temps, soit pour la partie aval comprise entre Boischatel et l'Île-Enchanteresse, et pour la partie résiduelle à l'amont de l'Île-Enchanteresse;

2. la deuxième campagne afin de vérifier et préciser la topographie du lit mineur du cours d'eau dans un tronçon cible prioritaire pour l'intervention structurelle envisagée, c'est-à-dire, les 2 km situés immédiatement à l'amont de l'Île-Enchanteresse.

D'autres données topographiques ont également été recueillies par l'équipe de l'Université Laval dans le tronçon cible afin de faciliter le suivi des niveaux d'eau. Ces données, quoique peu nombreuses ont également été incorporées dans le modèle de terrain.

### **3.8.3 Modèle numérique d'élévation (MNE)**

#### **3.8.3.1 Chaînage**

Pour les fins de repérage dans le réseau hydrographique, un chaînage basé sur une abscisse curviligne a été dressé le long du thalweg de l'aval vers l'amont (voir la Figure 1, page 2). Le domaine d'étude s'étend du Sud (aval) vers le Nord (amont) sur une distance de 36 km le long de la rivière. L'origine du chaînage se trouve sur le fleuve Saint-Laurent à 700 m du pied de la Chute Montmorency. Le Pont du Moulin est le site d'intérêt le plus éloigné de l'origine à 36 km plus loin en amont. Le Tableau 1 associe le chaînage à quelques noms de sites ou de lieux. Remarquons que les lieux désignés « Site #1 » et « Site #2 » sont les sites retenus comme hypothèses pour l'aménagement des structures principales de protection contre les embâcles (section 5.5.5 « Estacades fixes en aval de l'Île-Enchanteresse », page 71).

#### **3.8.3.2 Plaine inondable**

Comme nous venons de le mentionner, le levé de la plaine inondable a été réalisé par balayage au laser aéroporté par la firme Lasermap, un partenaire privé dans le projet. La rivière Montmorency a été sondée sur une distance d'environ 30 km de long par une largeur variant de 200 à 800 mètres de chaque côté de la rivière, les lignes de vol sont présentées sur la Figure 4. Le levé a nécessité deux survols. Les données produites sont massives, on compte un total de 2,3 millions de points seulement pour la plaine inondable. Elles ont été livrées sous forme de semis de points stockés dans quinze (15) fichiers différents sous format d'écriture *ascii* (Figure 5). Ces données ont été validées par Lasermap de deux façons différentes. La première façon consiste sur une portion commune du domaine à valider les données d'un vol par rapport à l'autre afin de s'assurer de leur constance. Dans la deuxième façon, un ensemble de points topographiques et des points de contrôle terrain ont permis de valider l'exactitude du levé laser. Le résultat des comparaisons indique une précision caractéristique de ±20 cm.

Notons que lorsque les lignes de vol passent au dessus de la rivière, la technologie du laser permet de récupérer la cote du plan d'eau. La précision de la lecture est directement liée au régime d'écoulement. Ainsi, en eau calme la précision sera bonne; par contre, sur les eaux

blanches (rapides), elle sera plus incertaine (ce qui est également vrai pour les méthodes traditionnelles de levé).

Nous avons profité de cette information sur le niveau de l'eau pour effectuer deux opérations :

- 1) valider les données topographiques du thalweg obtenues avec d'autres méthodes que nous verrons aux sections suivantes. La procédure de validation consistait à reconstituer la section d'écoulement et de s'assurer que le niveau de surface demeurerait systématiquement au dessus du niveau du fond de la rivière à  $\pm 20$  cm.
- 2) construire le profil en long de la rivière (présenté à la Figure 9) dans la zone même où a été levé le fond de la rivière.

**Tableau 1 : Chaînage sur la rivière Montmorency**

<b>Site ou lieu dit</b>	<b>Chaînage</b>	<b>Site ou lieu dit</b>	<b>Chaînage</b>
<b>Fleuve Saint-Laurent</b>	0 + 000	<b>Chemin du Lac</b>	11 + 350
<b>Chute Montmorency</b>	0 + 700	<b>Rue Deux Rapides</b>	13 + 000-700
<b>Barrage des Marches-Naturelles</b>	2 + 100	<b>Pointe sud de l'Île-Enchanteresse</b>	13 + 800
<b>Aval du lac du Délaissé</b>	3 + 800	<b>Pointe nord de l'Île-Enchanteresse</b>	14 + 700
<b>Amont du lac du Délaissé</b>	4 + 800	<b>Site #1</b>	15 + 300
<b>Début des rapides des Trois-Saults</b>	7 + 800	<b>Site #2</b>	15 + 700
<b>Aval de la prise d'eau de la Ville de Beauport</b>	8 + 900	<b>Confluence des rivières Montmorency et aux Pins</b>	17 + 500
<b>Amont de la prise d'eau de la Ville de Beauport</b>	9 + 400	<b>Confluence des rivières Montmorency et Saint-Adolphe</b>	23 + 700
<b>Domaine des Îlets</b>	9 + 550	<b>Début des grands rapides</b>	33 + 000
<b>Rue du Bocage</b>	10 + 900	<b>Pont du Moulin à scie</b>	36 + 000

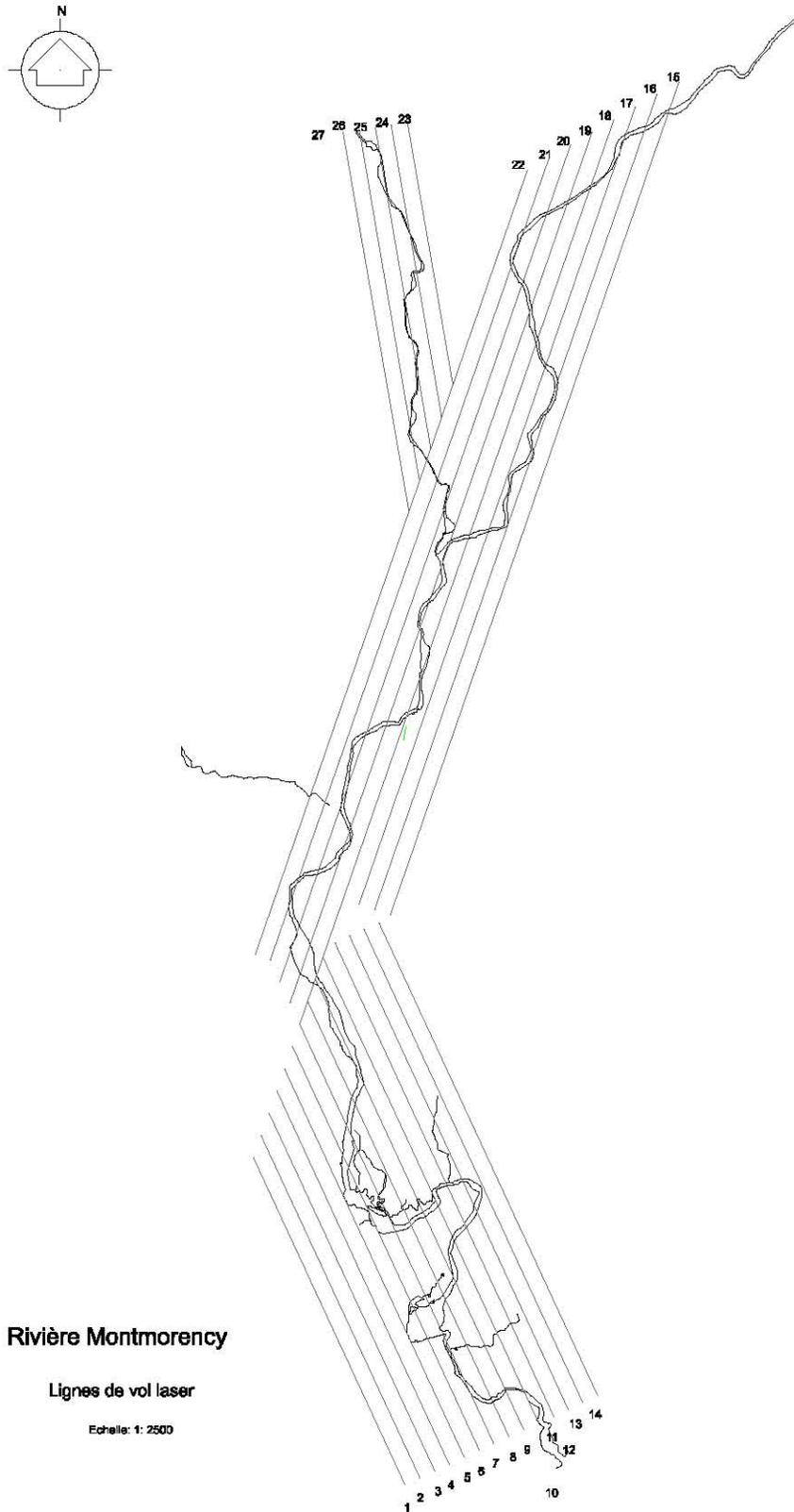


Figure 4 : Lignes de vol de la campagne de levé par balayage laser aéroporté.

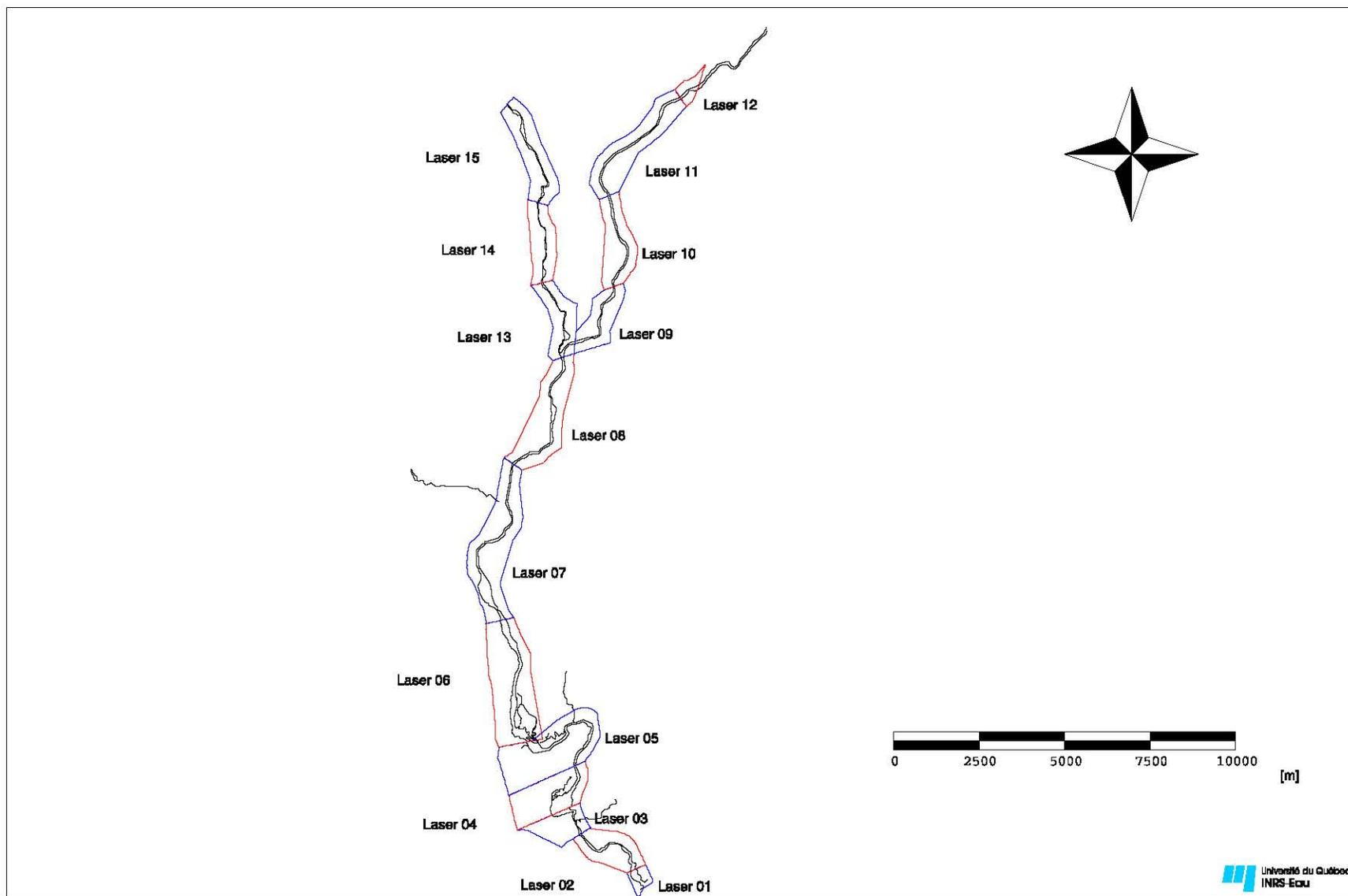


Figure 5 : Couverture des sous-ensembles formant la base de données obtenues par balayage laser aéroporté.

**3.8.3.3 Lit mineur de la rivière**

De manière à déterminer le mieux possible la faisabilité d'aménagements pour contrôler les embâcles, un levé du lit mineur de la rivière a aussi été effectué par des moyens appropriés. Étant donné les coûts logistiques importants liés à ce genre d'opération, une zone cible a été sélectionnée d'après la morphologie générale du cours d'eau procurée par les cartes topographiques et les données laser. C'est ainsi qu'un tronçon de 2,5 km à l'amont de l'Île-Enchanteresse a été considéré comme la zone la plus névralgique pour cette campagne. La méthode de caractérisation a surtout fait appel aux techniques d'échosondage avec positionnement en temps réel par DGPS. Aux endroits où la mesure s'avérait impossible de cette manière (zones peu profondes), un complément de données a été obtenu à la station totale.

Les données en format semis de points visibles sur la Figure 6 comportent 5157 points de terrain situés entre les chaînages 14+800 et 17+300. La confrontation des données de Géolocation et de Lasemap a parfois montré des discordances, en ce sens que la section d'écoulement reconstituée à l'aide des deux ensembles de données était hydrauliquement incohérente, le niveau de surface plongeant sous le niveau du fond en plusieurs endroits du tronçon.

Par ailleurs, dans le cadre du Projet de Détermination des Cotes de Crue (PDCC), le Ministère de l'ENV (MENV) du Québec a effectué au mois de mai 2000 une campagne de levé de la topographie du thalweg de la rivière Montmorency dans la même zone d'intervention que celle de Géolocation sur une distance plus longue de 500 m en amont en l'occurrence jusqu'au chaînage 17+800. Les données sont constituées par un jeu de 632 points de terrain qui se trouvent être sous forme de transects. Les 18 transects « originaux » du MENV sont présentés sur la Figure 7. Le terme « originaux » est employé pour justifier le fait que des transects supplémentaires ont été rajoutés par interpolation curviligne pour reproduire la sinuosité de la rivière. Les données du MENV ont aussi servi à combler les faiblesses mentionnées au paragraphe précédent. Le résultat final est satisfaisant puisqu'à l'examen du profil en long, on constate que le profil du fond est en très bon accord avec celui de la ligne d'eau. C'est seulement au dernier seuil qu'on observe la pathologie des profondeurs négatives, mais dans ce cas précis, les profondeurs sont suffisamment faibles pour entrer dans la marge d'erreur des données de terrain, les profondeurs pouvant facilement alors basculer du positif au négatif.

**Tableau 2 : Chaînage associé aux transects.**

Transect <sup>1</sup>	Chaînage	Transect	Chaînage
18	14 + 800	9	16 + 500
17	14 + 950	8	16 + 750
16	15 + 050	7	16 + 950
15	15 + 150	6	17 + 150
14	15 + 500	5	17 + 300
13	15 + 600	4	17 + 500
12	16 + 050	3	17 + 600
11	16 + 250	2	17 + 700
10	16 + 400	1	17 + 800

<sup>1</sup>Note : La numérotation est celle du MENV.

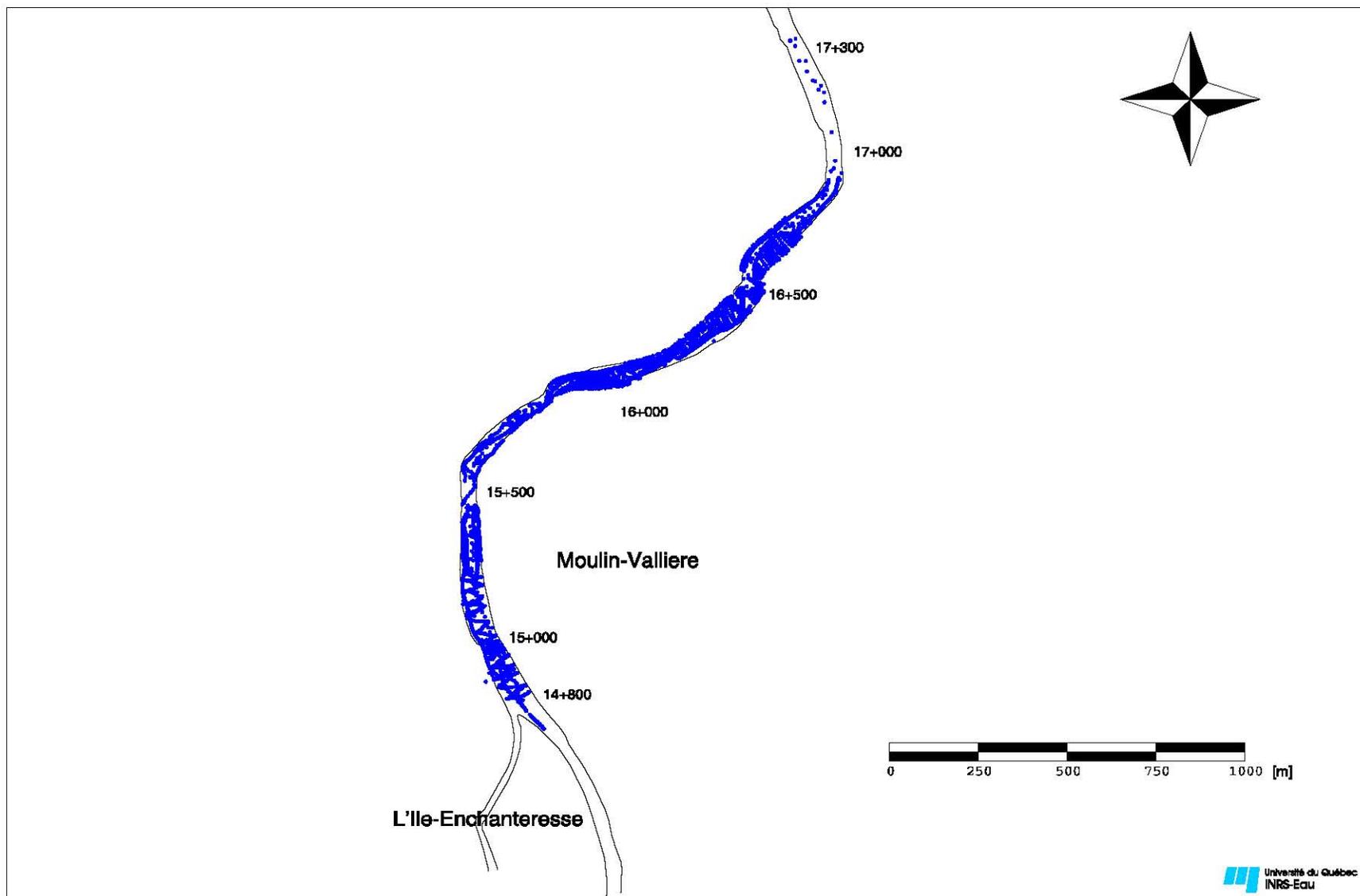


Figure 6 : Zone caractérisée à l'échosondeur et à la station totale

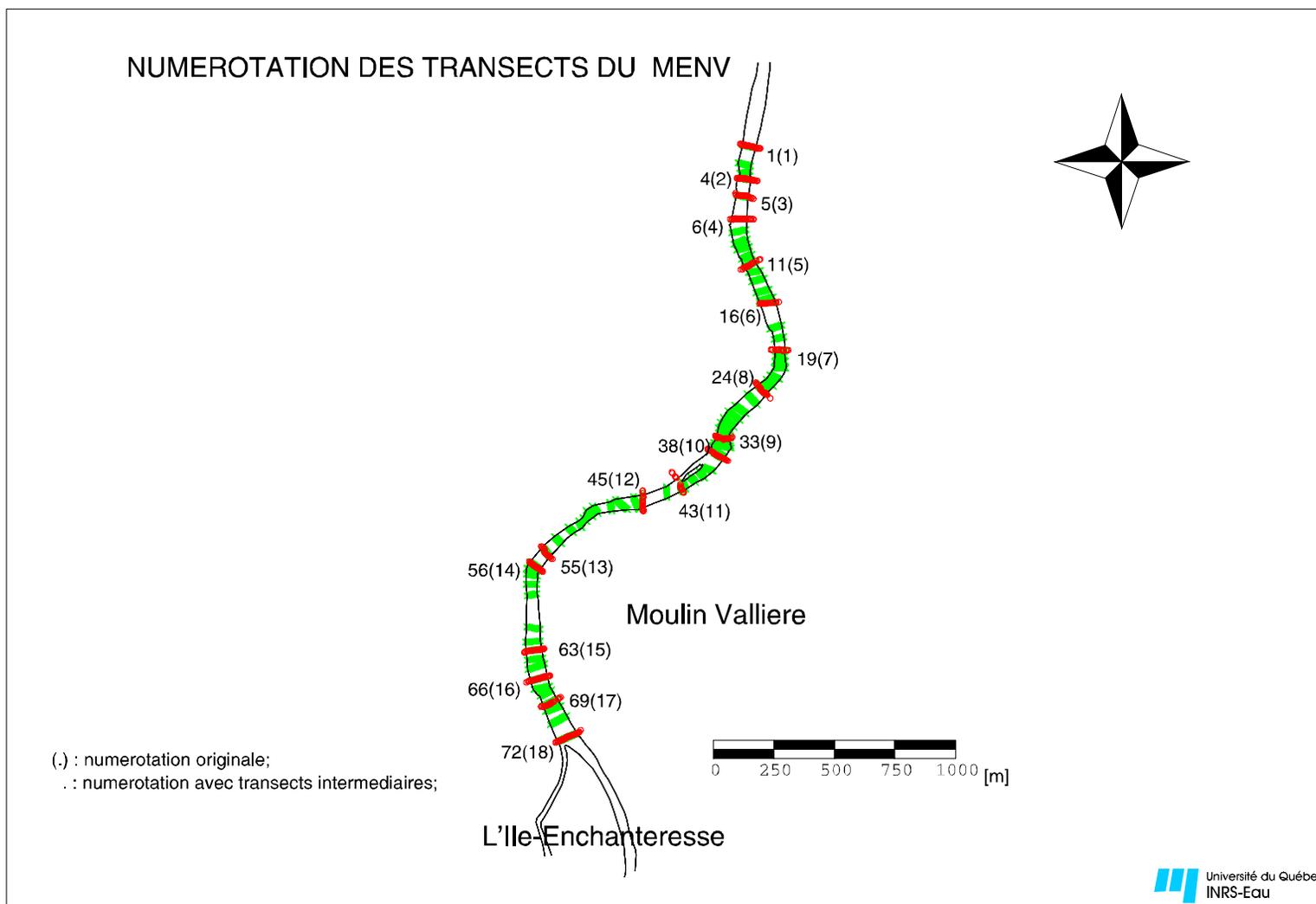


Figure 7 : Position et numérotation des transects du Ministère de l'Environnement du Québec (printemps 2000).

### 3.8.4 Présentation des résultats du modèle numérique d'élévation

#### 3.8.4.1 Topographie d'ensemble

La topographie d'ensemble du domaine à l'étude produite à l'aide des différents jeux de données peut être consulté avec toute la précision requise par les analyses à l'aide du logiciel MODELEUR. Une reproduction des images pour les fins de ce rapport dépassait les buts de la communication des résultats. Le lecteur intéressé pourra toutefois en faire la demande aux auteurs. Nous avons choisi de n'illustrer que les secteurs identifiés pour les interventions structurelles, dont le secteur immédiatement à l'amont de l'Île-Enchanteresse et la confluence de la Saint-Adolphe avec la Montmorency. Ces illustrations seront produites ultérieurement au chapitre concerné.

#### 3.8.4.2 Profil en long

La Figure 8 montre un profil en long de la rivière Montmorency de son embouchure jusqu'au pont du Moulin à 36 km en amont. Un second profil en long dans le secteur principalement ciblé pour les interventions structurelles est présenté à la Figure 9. Il a été dressé entre les chaînages 14+800 et 17+800, ce qui représente une distance de 3 km, là où nous disposons de la topographie du lit mineur. La ligne d'eau a été extraite à partir des données laser comme nous l'avons mentionné plus haut. Le profil en long produit montre une très bonne concordance entre la ligne d'eau et le profil du fond. Tel qu'attendu, la rivière présente une forte pente. Au Tableau 3, sont présentées les valeurs des pentes à tous les 500 m. À titre indicatif, la pente du fleuve Saint-Laurent est à peu près 100 fois moins forte. À l'examen de la ligne d'eau, on dénombre 4 seuils, et un redressement très nette de la ligne d'eau sur le tronçon en amont de l'Île-Enchanteresse.

**Tableau 3 : Pentes de la rivière Montmorency en amont de l'Île-Enchanteresse**

	Chaînage				
	14+800	15+300	15+800	16+300	16+800
	à	à	à	à	à
	15+300	15+800	16+300	16+800	17+300
<b>Pente</b>	2,5/1000	8,8/1000	6,1/1000	4,2 /1000	5,8/1000

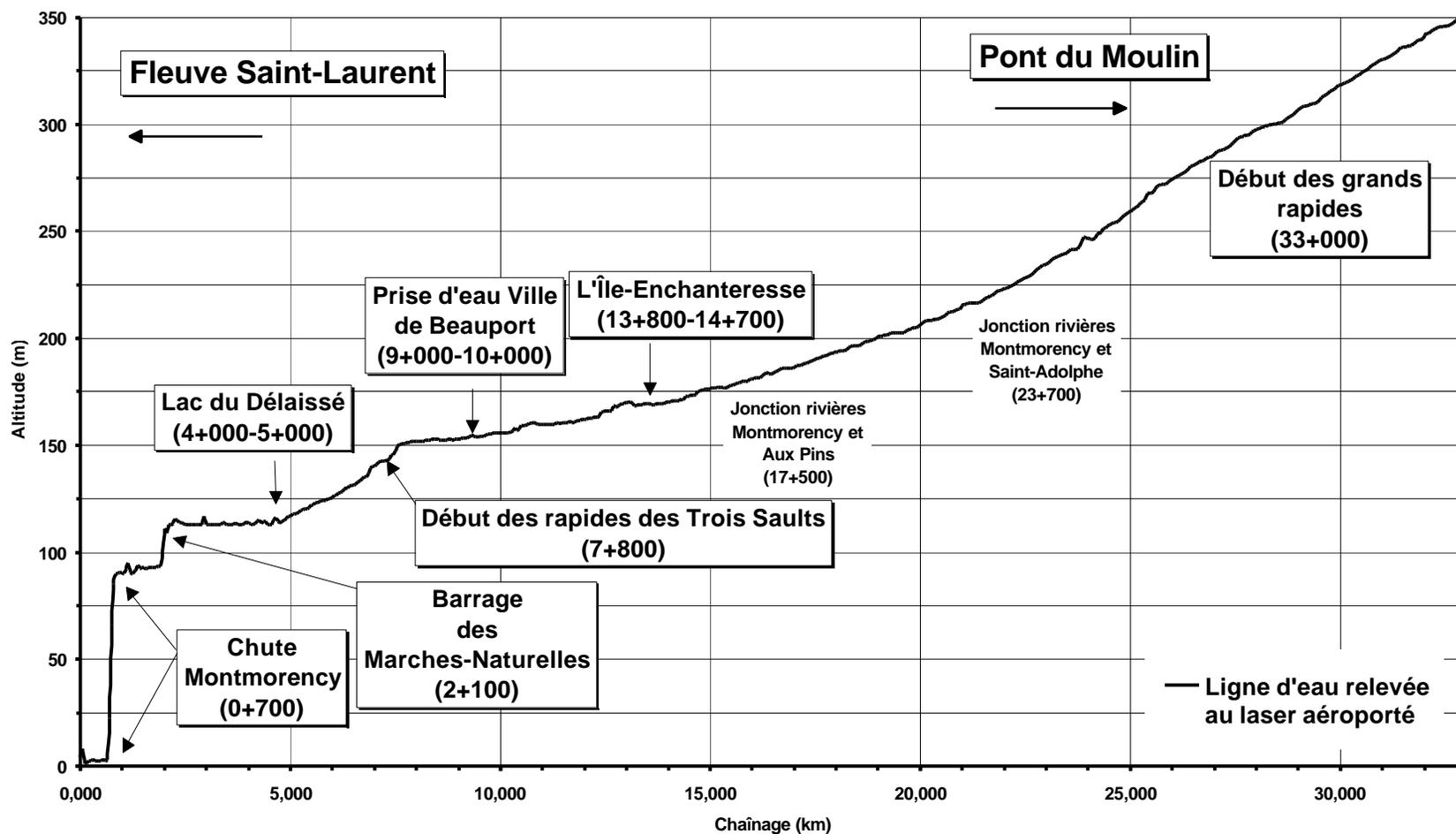


Figure 8 : Profil en long de la rivière Montmorency selon le chaînage retenu

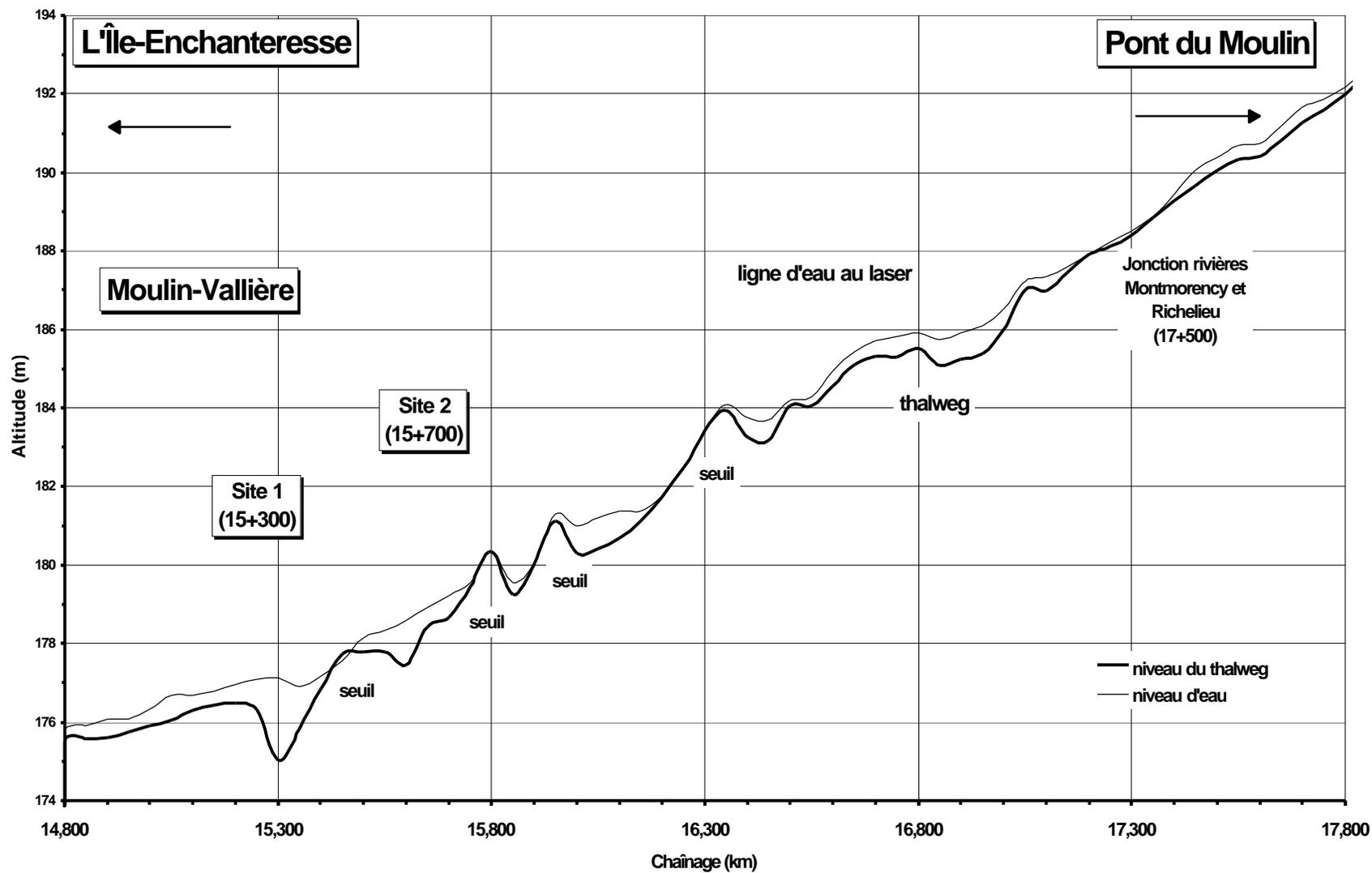


Figure 9 : Profil en long entre les chaînages 14+800 et 17+800.

### 3.9 Planimétrie

Le but présent de la planimétrie est de produire les informations géoréférencées nécessaires pour décrire le potentiel endommageable ou vulnérabilité. On vise ici principalement les immeubles résidentiels et les infrastructures municipales (routes, ponts). On ne connaît pas actuellement d'autre fonction pratiquée significativement sur la zone cible (ex : commerce, industrie, services). Les données collectées sont la position (x,y,z) des immeubles et leurs caractéristiques de base (sous-sol ou pas, évaluation municipale uniformisée, résidence principale ou secondaire) ainsi qu'une première estimation de la vulnérabilité (selon la localisation dans les zones 20 ans ou 100 ans des cartes de risques).

Dépendant des tronçons, les données ont été puisées à différentes sources. Pour les tronçons compris dans Beauport, les données étaient, soit disponibles de projets antérieurs (Leclerc et coll., 1998, 2000) dans les secteurs des Îlets et Trois-Saults, soit fournies par la Ville pour les fins particulières de ce projet dans les autres secteurs (Bocage, lac du Délaissé). Le premier estimé de la vulnérabilité a été effectuée en utilisant les cartes de risque les plus récentes disponibles, dans certains cas, celles de la Communauté urbaine de Québec.

Pour les tronçons situés dans Sainte-Brigitte-de-Laval, les données résidentielles (évaluation et position vulnérable) ont été obtenues soit de la M.R.C. Jacques-Cartier, soit de la Municipalité et une validation sur le terrain de la vulnérabilité a été effectuée afin de sélectionner seulement celles présentant un potentiel de dommages.

Le traitement de ces données pour l'analyse de risques est présenté au chapitre suivant.

## 4. Analyse de risques – Conditions actuelles

### 4.1 Le phénomène des embâcles

Un embâcle (Figure 10) se forme lorsque de la glace en mouvement s'accumule à un endroit de la rivière. Il se forme alors un barrage de glace. Plusieurs facteurs peuvent être responsables de l'accumulation : redressement de la pente du cours d'eau, méandres, obstacles dans la rivière (haut fond, rocher, pile de pont), rencontre avec un couvert de glace fixe, etc. Derrière le barrage constitué par la glace, le niveau de l'eau s'élève rapidement et provoque l'inondation des terres avoisinantes. Si l'embâcle cède sous la pression de l'eau, le volume d'eau retenue est évacué très rapidement vers l'aval de la rivière (même phénomène observable lors de la rupture d'un barrage). Cette masse d'eau entraîne alors la glace et peut causer des dégâts importants aux installations rencontrées. De plus, il existe des risques qu'un nouvel embâcle se forme, entraînant d'autres inondations à l'aval.

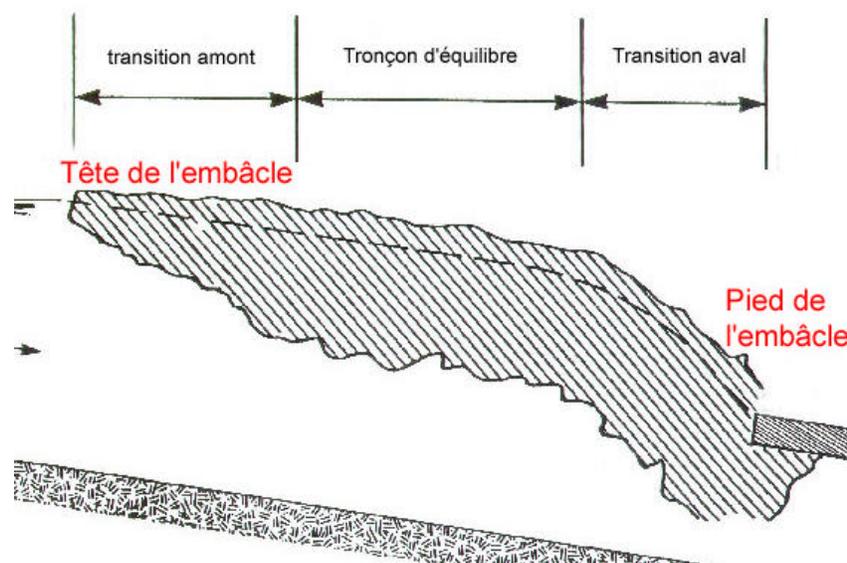


Figure 10 : Schéma des principales composantes d'un embâcle (selon S. Beltaos, 1995)

## 4.2 Base de données sur les embâcles et les interventions réalisées

La disponibilité d'une base de données bien documentée est une prémisse importante à la recherche de solutions techniques aux problèmes d'embâcles. La collecte des données pertinentes est pourtant demeurée le parent pauvre de la discipline de l'hydrologie et le besoin de mettre en place un système d'archivage de toute l'information disponible sur ces événements a été souligné en 1996 par le Cold Region Research and Engineering Laboratory de l'armée américaine (USACE) dans l'article de White qui plaide pour la création d'une base de données complètes et homogènes sur ces aléas.

Il n'y a pas de raison de croire que la même problématique ne s'applique pas à nos rivières du Québec. Heureusement, des efforts importants ont été déployés par les services compétents du gouvernement du Québec pour documenter les embâcles sur la rivière Montmorency, notamment, la contribution de Guy Guilbert du ministère de l'Environnement (région de Québec). Ceci est sans doute lié à la fréquence des problèmes qui y surviennent et aux tentatives répétées d'y apporter une solution, entreprise qui demandait bien sûr de documenter les processus.

Les données portées à notre connaissance sur les embâcles de la rivière (Tableau 4) et des indicateurs sur leur degré de sévérité couvrent la période comprise entre 1947 et 2000, soit 54 ans. La période de 1947 à 1964 n'est documentée qu'au niveau des événements de très grande sévérité soit :

- ?? celui de 1947 à l'Île-Enchanteresse qui, selon des témoins oculaires (Comité de Citoyens de l'Île-Enchanteresse) aurait été totalement submergée en totalité suite à un embâcle majeur accompagné de fort ruissellement;
- ?? celui du secteur des Trois-Sauts qui, également selon des témoins oculaires, a causé une submersion totale et prolongée du secteur des Îlets dans la semaine du 23 décembre 1957.

À partir de 1964, nous avons colligé les données procurées par la Direction régionale de Québec du Ministère de l'Environnement du Québec, informations qui avaient été produites par elle-même ou d'autres services gouvernementaux dont les services centraux du même ministère ainsi que ceux du Ministère de la Sécurité publique. Ces données ont d'ailleurs été colligées sur carte par le ministère de l'Environnement. Cette carte ne montre cependant que l'endroit où s'est établie la tête de l'embâcle et la date d'occurrence. Les photographies prises en avion ou en hélicoptère par le ministère de l'Environnement ou la Sécurité civile ont été étudiées et il est possible de déterminer sur celles-ci l'extension de ces divers événements vers l'amont. Ces résultats feront l'objet de prochains rapports. Dans certains cas, nous avons jugé utile d'ajouter pour certaines années des informations relatives aux interventions réalisées, notamment, 1972.

Enfin, mentionnons les embâcles de l'hiver 2000-2001 qui s'ils sont rapportés sommairement ici comme simple mise à jour, n'ont pu être pris en compte dans les calculs de risques à cause de leur postériorité à la rédaction du rapport. Ces événements ont eu lieu entre le 18 décembre 2000 et le milieu de janvier 2001. Suite à des précipitations abondantes (52 mm), un premier embâcle s'est formé à la hauteur de la rue Bocage qui n'a pas causé de dommages. Dans la nuit qui a suivi, l'embâcle s'est défait est s'est reformé au lac du Délaissé. Une période froide de plus d'une semaine s'en est suivie accompagnée d'une grande production de frasil sur l'ensemble du tronçon

Tableau 4 : Données de base sur les embâcles de la rivière Montmorency (Sources diverses)

DATE	NATURE DE L'ÉVÉNEMENT	SECTEURS AFFECTÉS	REMARQUES	CLASSE	SOURCE
1947	Embâcle de classe catastrophique	Île-Enchanteresse	Peu de vulnérabilité à l'époque, Île-Enchanteresse submergée complètement	5	Comité de citoyens de l'Île-Enchanteresse
57-12-21	Embâcle de classe catastrophique - Inondation majeure -	Des Îlets – Trois-Saults	Embâcle dynamité – dommages d'érosion	5	Michel Leclerc - Témoignages visuels de résidents
64-04-15	Embâcle – Inondation majeure – Évacuation	Secteur au sud de l'Île-Enchanteresse	Domages importants aux résidences, rues et pont Dynamitage inefficace	3	Guilbert (1993) & Barabé (1978)
64-12-28	Embâcle	1.5 km en aval des travaux de nov. 1964	L'embâcle a cédé après son dynamitage	2	Guilbert (1993) & Barabé (1978)
72-08-02	Travaux de creusage pour canaliser les 2 branches (2 août au 20 octobre)	Gros chenal : 92 m. Branche ouest : 730 m.	Travaux pour faire disparaître les hauts fond, Améliorer la période de débâcle et eau libre		Guilbert (1993) & Barabé (1978)
73-12-01	Embâcle sans conséquence	En amont du rapide des Trois Saults en remontant vers l'Île-Enchanteresse	Fondu sans problème au printemps (résultats des travaux aléatoires)	1	Guilbert (1993) & Barabé (1978)
76-04-07	Embâcle – Inondation	Branche secondaire de l'Île-Enchanteresse	Pointe de l'île (chalets)	1	Guy Guilbert (1993)
78-01-11	Embâcle – Inondation – Dommages	Rues du Bocage, Côte-du-Lac (évacuée) et Deux Rapides (embâcle de 3 km et de 5 m de hauteur)	41 chalets et 3 résidences affectés (embâcle de l'aval de lignes de transmission à l'aval de l'Île-Enchanteresse)	3	Guilbert (1993) & Barabé (1978)
79-03-07	Embâcle – Inondation	2 branches de l'Île-Enchanteresse obstruées	Tranchée pratiquée à travers l'embâcle, glace déposée en rive droite, Hauteur de l'embâcle d'environ 3 m	2	Guilbert (1993) & Rapport d'inspection de Gilles Barabé
80-04-11	Embâcle – Inondation	Secteur de la rue des Deux Rapides		2	Guilbert (1993)
81-02-22	Embâcle – Inondation	2 branches obstruées, Rue du Bocage submergée	Déblai du chenal; Accès difficile	2	Guilbert (1993)
82-04-18	Léger embâcle	Aval de l'Île-Enchanteresse	Le secteur n'est pas inondé	1	Guilbert (1993)

**Tableau 4 (suite) : Données de base sur les embâcles de la rivière Montmorency**

<b>83-03-04</b>	Inondation - Dommages	Beauport - Pied du Trois Saults; Boischatel – Eau dans la rue des Émeraudes	Chalets - Glaces, Résidences - refoulement	2	Guilbert (1993)
<b>86-02-10</b>	Embâcle - Dommages - Évacuation - Bris de la prise d'eau	2 branches obstruées; Beauport - Des Îlets	Déblai - Branche secondaire; dommages importants?	2	Guilbert (1993)
<b>86-03-31</b>	Station de pompage de Beauport inondé par les glaces	Hauteur de Des Îlets		3	Guilbert (1993)
<b>88-01-15</b>	Embâcle	Chenal principal obstrué à l'Île-Enchanteresse	Dégel du 3 janvier 1988	2	Guilbert (1993)
<b>89-12-18</b>	Niveau d'eau élevé - Frasil	Beauport - Pied du Trois Saults	Période de froid	1	Guilbert (1993)
<b>90-03-18</b>	Embâcle - Inondation	Hauteur de l'Île-Enchanteresse	Impossible d'intervenir	1	Guilbert (1993)
<b>90-03-19</b>	Embâcle - Inondation	Beauport - Rue du bocage	Impossible d'intervenir	1	Guilbert (1993)
<b>91-01-05</b>	Frasil	Lac du Délaissé	2 chalets inondés	2	Guilbert (1993)
<b>91-04-09</b>	Embâcle - Inondation	En aval - Pointe sud de l'Île-Enchanteresse	Déplacement de l'embâcle à Beauport, rue du Bocage - Pas d'intervention	1	Guilbert (1993)
<b>92-03-12</b>	Embâcle - Inondation - Évacuation	2 branches obstruées	Déblai total de la branche secondaire	4	Guilbert (1993) & Sécurité publique
<b>94-04-17</b>	Embâcle 15 avril	Hauteur des lignes, Beauport	15 résidences affectées, dépenses d'urgence à Sainte-Brigitte-de-Laval	2	Guilbert & Sécurité publique
<b>96-01-25</b>	2 embâcles	Petit chenal pont de l'île et aval de l'île jusqu'à rue bocage	Résidences affectées	2	Guy Guilbert & Sécurité publique
<b>98-02-22</b>	Embâcle	À la hauteur du quartier des Îlets	Résidents évacués, digues fusibles ouvertes à la station de pompage	2	Selon Michel Leclerc
<b>99-01-25</b>	Embâcle	Aval de l'Île-Enchanteresse	Travaux de déglçage 29 janvier	3	Guilbert & Sécurité publique

libéré de ses glaces. L'accumulation massive des glaces et du frasil a entraîné une hausse importante du niveau de l'eau du lac du Délaissé et inondé le segment inférieur de la rue Saint-Pierre. Cinq résidences secondaires ou principales ont subi des dommages ou ont été privées d'accès pour des périodes variables. Des travaux d'urgence ont été nécessaires à l'aide de la « grenouille » et de pelles mécaniques en vue d'aménager un chenal d'évacuation du débit à travers l'embâcle. L'embâcle de la rue Bocage a été classé d'ordre 1 selon le barème adopté pour cette étude et celui du lac du Délaissé est d'ordre 2 à cause des dommages mineurs qui s'en sont suivis.

### 4.3 Processus de dévalaison des glaces et volumes d'embâcles

Les personnes connaissant bien la rivière nous rapportent que le couvert de glace cède généralement au même endroit : à quelques centaines de mètres en aval du Pont du Moulin (chaînage 36 + 000). Une distance d'environ trois kilomètres sépare ce point du début des grands rapides (33 + 000) qui s'étendent jusqu'à l'Île-Enchanteresse.

Des différents témoignages recueillis, on peut tirer deux hypothèses (Barabé 1978).

1. La première voudrait que la glace en amont des rapides cède en premier et, venant s'appuyer sur la glace de rive des rapides, l'entraîne à son tour (effet domino).
2. La seconde théorie voudrait que la glace de rive dans les rapides, généralement plus fragile, cède dans un premier temps. La glace située plus en amont n'étant alors plus supportée sur un côté se décrocherait pour suivre le chenal d'eau libre.

Peu importe l'hypothèse retenue, un énorme volume de glace dévalerait alors les rapides, où la forte pente (moyenne de 1.09%) l'empêcherait de s'arrêter. On peut évaluer l'ordre de grandeur de la quantité de glace d'un embâcle survenant dans le secteur de la rue des Deux-Rapides.

1. En supposant une largeur moyenne de rivière de 70 m. et une épaisseur de glace de 0,50 m.
2. En estimant la longueur des tronçons de rivière fournissant l'apport de glace :
  - ?? Pont du Moulin (36 + 000<sup>5</sup>) au début de la zone des rapides (33 + 000): 3 km;
  - ?? Secteurs des grands rapides (33 + 000 à 18 + 000): 15 km;
  - ?? Fin de la zone des grands rapides (18 + 00) à l'île Enchanteresse (14 + 700): 2,3 km;
  - ?? Île Enchanteresse (14 + 700) à l'amont de la rue des Deux-Rapides (12 + 500) : 3,2 km;
  - ?? Total : **23,5 km**
3. Volume de glace :  $(23\ 500\ \text{m}) \times (70\ \text{m}) \times (0,5\ \text{m}) = \underline{\underline{820\ 000\ \text{m}^3}}$

---

<sup>5</sup> Les chaînages sont ceux de la Figure 1.

Si la débâcle devait continuer jusqu'au secteur des Îlets sur le territoire de la ville de Beauport et y former un embâcle, on peut ajouter au volume déjà calculé :

?? Rue des Deux-Rapides (12 + 500) au secteur des Îlets (9 + 500) : 3 km

?? Total : **4 km**

4. Volume de glace additionnel: (3 000 m) x (80 m) x (0,5 m) = **120 000 m<sup>3</sup>**

5. Volume total pour l'ensemble du tronçon Pont du Moulin – Des Îlets : **940 000 m<sup>3</sup>**.

Il peut toutefois y avoir des haltes en chemin (embâcles temporaires). Ce phénomène, pouvant durer de quelques minutes à quelques heures, se produit lorsque la glace rencontre un obstacle (couvert encore en place, écueils, etc.). Si aucune voie d'évacuation latérale n'existe (ex : un chenal confiné entre de hautes terrasses), les pressions combinées de la glace et de l'eau s'accroissent rapidement jusqu'à ce qu'elles soient suffisantes pour renverser ou contourner l'obstacle. Le court temps de vie de ces barrages de glace suffit cependant à faire augmenter le niveau d'eau en amont et à la limite peut causer des dommages aux installations et habitations vulnérables. Ce genre de phénomène se produit, par exemple, à la hauteur de la rue Parent (km 16 + 400) où des résidents du secteur nous rapportent que des « bouchons » de glace se forment parfois lors de la débâcle.

Lorsque le « train de glace » arrive finalement dans le secteur où la pente s'adoucit (aval de l'Île-Enchanteresse), les conditions favorables se créent pour son immobilisation et la formation d'embâcles permanents. La pente moyenne avant l'Île-Enchanteresse varie entre 0.4 à 0.5% (voir le profil en long à la Figure 9, page 35). Immédiatement en aval de l'île, la pente diminue encore pour se situer autour de 0,3%.

Le même genre de phénomène peut se produire lorsque la glace ne s'arrête pas à l'Île-Enchanteresse, et poursuit son chemin plus bas sur la rivière où les pentes deviennent encore plus faibles. On y trouve aussi d'importantes plaines basses de débordement, surtout en rive gauche, qui, étant donné qu'elles contribuent à évacuer le trop-plein de débit d'eau et de glace, ajoutent à la capacité de ces secteurs de retenir les embâcles. Dans ces circonstances, le problème passe alors du secteur «Rue Parent - rue des Deux-Rapides », au secteur « Rue des Deux-Rapides - des Îlets » en passant par la Côte-du-Lac et la rue Bocage. Cette situation se produit lorsque la glace est détériorée en aval de l'Île-Enchanteresse ou que les débits sont particulièrement élevés lors de la débâcle. Cette zone comptant de nombreux chalets et résidences ainsi que la station de pompage de la ville de Beauport, il n'est pas plus avantageux de voir s'y former un embâcle.

#### **4.4 Caractérisations du couvert de glace**

Lors de l'hiver 1999-2000, la croissance et la fonte du couvert de glace ont été observées dans la région de l'Île-Enchanteresse. Dans un premier temps, des photos de la rivière ont été prises en aval, à la hauteur et en amont de l'Île-Enchanteresse durant toute la saison froide. De plus, du mois de décembre au mois d'avril, des relevés ont été pris sur le couvert de glace à des endroits précis. À ces points stratégiques, la température de l'eau, la concentration de glace à la dérive et

les épaisseurs de neige, de glace et de frasil ont été relevées. Les niveaux d'eau ont aussi été suivis tout l'hiver. Les observations sur le terrain ont eu lieu à une fréquence d'une à deux fois par semaine dépendant de la variabilité des phénomènes observés.

Les données recueillies au cours de la saison hivernale 1999-2000 constituent une intéressante banque de données sur le développement du couvert de glace de la rivière Montmorency. De nos analyses, nous pouvons retenir les points saillants suivants:

- ✍ L'hiver 99-00 fut un hiver tardif. Le temps froid s'installa environ deux semaines plus tard qu'à l'habitude pour la région.
- ✍ La région à l'étude comporte de nombreuses sources souterraines et petits ruisseaux qui se jettent dans la rivière Montmorency. Ces affluents mineurs gèlent moins rapidement que le cours d'eau principal. Cette situation implique que la glace de rive est, à plusieurs endroits, plus fragile qu'on se serait attendu. Nous avons pu observer ce phénomène à de nombreuses reprises lors de nos sorties sur le terrain.
- ✍ Au mois de février 2000, le couvert de glace atteint des épaisseurs allant jusqu'à 80 cm. Nous avons toutefois pu observer des variations importantes dans l'épaisseur et la qualité de la glace aux différents sites de relevés (voir la Figure 11). Parfois, de grandes variations d'épaisseur surviennent dans des zones séparées de quelques mètres seulement.
- ✍ Beaucoup de frasil est généré dans la zone de rapides et s'accumule en aval de l'île Enchanteresse (à la hauteur de la rue des Deux-Rapides). Des mesures prises montrent des épaisseurs allant jusqu'à 110 cm de frasil à cet endroit.



**Figure 11 : Épaisseurs de glace observées à la fin de l'hiver 1999-2000 à l'amont de l'Île-Enchanteresse**

Lors du dégel, nous n'avons pas noté de hausse significative du niveau d'eau. Cela peut s'expliquer par le fait que la température s'est élevée graduellement sur une période assez longue. Le réchauffement a commencé à la fin février pour se poursuivre de façon continue par la suite. Il n'y a pas eu non plus de très fortes précipitations printanières sur le bassin. Aucun événement d'embâcle ne fut donc rapporté cette année-là.

Les connaissances précédemment énoncées nous permettent d'introduire les conclusions préliminaires suivantes :

~~Les~~ Les relevés de l'hiver 1999-2000 permettent de confirmer l'exactitude des renseignements fournis par Guy Guilbert, technicien à Urgence Environnement (ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec), et Claude Côté, responsable des mesures d'urgences à Sainte-Brigitte-de-Laval. Ces deux personnes, avec qui nous avons eu plusieurs rencontres, nous avaient informé du rôle primordial que jouent les rapides (en amont de l'île Enchanteresse et du Trois-Saults) dans la dynamique de la rivière. Ils nous avaient fait aussi mention de l'accumulation de frasil à la rue des Deux-Rapides ainsi que de l'hétérogénéité des types de glace en divers endroits (fragiles dans les rapides, solides près de l'île, etc.).

?? La configuration de la rivière dans le secteur de Sainte-Brigitte-de-Laval laisse peu de marge de manœuvre pour l'installation d'estacades fixes afin de retenir les glaces. En effet, dès que nous nous éloignons à plus de deux ou trois kilomètres de l'île Enchanteresse, nous nous retrouvons dans une zone de rapides s'étendant sur 15 kilomètres. Installer des structures sur un terrain à si forte pente serait inefficace.

~~La~~ La présence de nombreuses sources alimentant la rivière dans cette région pourrait aussi poser un problème au succès d'un quelconque ouvrage de contrôle des glaces. Étant généralement plus chaudes que le cours d'eau principal elles affaiblissent le couvert.

Enfin, la formation et la croissance du couvert de glace ont pu être bien suivies. Toutefois, la saison hivernale 1999-2000 ne nous a pas permis d'observer des conditions d'embâcles. Il nous est donc extrêmement difficile de tirer quelque conclusion que ce soit sur la formation et le développement de ces derniers. Au dire des autorités de Sainte-Brigitte-de-Laval, le printemps 2000 fut exceptionnellement calme et, d'une certaine façon, fort peu représentatif du comportement normal de la rivière. Les relevés de l'hiver 2000-2001 n'étaient pas colligés au moment de la rédaction de ce rapport.

## **4.5 Classification et récurrence des événements d'embâcle**

### **4.5.1 Méthode de classification de la sévérité et fréquence événementielle**

On compte très peu de tentatives visant à développer une technique opérationnelle efficace et ne requérant qu'un minimum de données pour établir la probabilité des aléas d'embâcle. Le CNRC (1990) suggère bien quelques approches analytiques visant à établir la problématique des embâcles au niveau du tronçon mais l'établissement de leur probabilité demeure problématique.

Gérard et Calkins (1984) s'y était essayé et dans leur revue de littérature, aucune contribution d'autres auteurs n'y est mentionnée. Leur approche se fonde sur les niveaux d'eau atteints localement en relation avec ces événements et sur les facteurs susceptibles de déclencher la débâcle qui précède l'embâcle. Les auteurs reconnaissent que cet aspect doit faire appel au jugement de l'analyste balisé par certaines limites raisonnables (« *educated guess* »). Le passage aux probabilités fait appel aux événements antérieurement rapportés, éventuellement à la mémoire collective des résidents du lieu affecté.

Plus près de nous, Laganière (1982), dans son étude sur la rivière Duberger, affirme: « Lorsqu'il s'agit d'inondations par embâcles, le problème principal lorsque l'on veut représenter le dommage en fonction de la probabilité de dépassement réside dans le calcul de la récurrence à associer aux événements survenus ou potentiels »... À cause de la complexité des processus en cause... « Le choix d'une récurrence relève donc beaucoup plus du jugement de l'analyste face aux événements antérieurs que d'une étude exhaustive ». Afin d'établir la période de retour caractéristique des embâcles sur la Montmorency, nous n'avions d'autre choix que de procéder au meilleur de notre jugement selon la démarche présentée à la section 2.4, page 10.

Notre hypothèse de base repose sur la possibilité de lier directement la classe de sévérité d'un événement d'embâcle dans un secteur donné aux taux d'endommagement que cet aléa y produirait. Ceci implique que le niveau d'eau n'est pas traité explicitement; le lien est implicite. Pour ce faire, le cours d'eau doit être subdivisé en zones homogènes de topographie afin que l'effet destructeur de l'embâcle (taux d'endommagement) puisse être applicable uniformément dans la zone. Enfin, étant donné qu'aucun ajustement de loi statistique n'est effectué sur cette classification des événements, la probabilité utilisée est empirique, c'est-à-dire, directement conforme à la série d'observations.

Dans un premier temps, les événements annuels recensés ont été classifiés sur une échelle de sévérité comprise entre 0 et 5 selon les critères suivants :

1. *Niveau 0 (aucun)*: aucun embâcle signalé cette année-là;
2. *Niveau 1 (négligeable)*: embâcles légers plus ou moins annuels ou bi-annuels causant une surélévation momentanée du niveau d'eau à l'amont sans toutefois dépasser celui du débit plein bord et pour lequel aucun dommage n'a été rapporté;
3. *Niveau 2 (léger)*: embâcles plus importants causant un début d'inondation (dépassement du débit plein bord), ou nécessitant un déploiement de moyens préventifs importants et pour lequel des dommages légers ont été rapportés (typiquement 0-5% du stock immobilier pour une zone homogène) ou serait susceptible de se produire avec les éléments vulnérables actuels; un taux unitaire d'endommagement de 2,5% est utilisé pour cette classe.
4. *Niveau 3 (moyen)*: embâcles encore plus importants causant ou pouvant causer des inondations assez importantes et des dommages significatifs sans cependant atteindre des niveaux de destruction trop considérables (typiquement 5-20% du stock de la zone homogène); 12,5% est utilisé comme taux unitaire.
5. *Niveau 4 (majeur)*: embâcles très sévères accompagnés de forts ruissellements avec un potentiel de destruction allant de 20% jusqu'à 50% du stock concerné (ex : 1992 à l'Île-Enchanteresse, près de 30% de dommage par rapport à la valeur au rôle et incluant la part assumée par les riverains); une valeur unitaire moyenne de 25 % est retenue.

6. *Niveau 5 (catastrophique)*: embâcles majeurs ayant un potentiel de destruction allant de 50 % à la totalité du stock immobilier présent et causant des dommages importants aux berges (érosion, glissements de terrain) ainsi qu'aux infrastructures publiques (voirie, services publics, ouvrages en rive). Des embâcles comme ceux de 1947 à l'Île-Enchanteresse et de 1957 aux Trois-Saults sont visés par cette classe. Une valeur de 75% de dommages est retenue pour les calculs.

Il est important de noter ici que cette classification est *événementielle*, c'est-à-dire qu'elle vise l'ensemble de l'embâcle même si celui-ci affecte plus d'un seul voisinage riverain homogène. Ainsi, un embâcle se produisant dans le secteur de la rue des Deux-Rapides peut refouler l'eau dans le secteur immédiatement à l'amont, soit celui de l'Île-Enchanteresse. Cependant, l'éloignement du secteur amont par rapport à la tête de l'embâcle permet d'atténuer l'ampleur des dommages associés à la classe d'embâcle.

Il est aussi important de noter que tous les événements d'embâcle ne sont pas nécessairement rapportés surtout si aucun dommage n'est signalé (types 1 ou 2) ou qu'aucun témoin n'a pu l'observer. C'est le cas au début de la période de référence (décennies 40' et 50'), époque où les lots riverains n'étaient fréquentés qu'en été (chalets) ou qu'ils n'avaient pas encore connu aucun développement, donc aucune vulnérabilité. De plus, le gouvernement de tenait pas de statistiques sur ces événements à l'époque. Il est donc possible que la fréquence des classes 1 (négligeable) et 2 (léger) soit sous estimée; ceci ne porte pas à conséquence sur l'analyse de risque puisqu'aucun dommage n'y est associé. Par contre, les événements de classe plus sévère font pratiquement toujours l'objet d'observations officielles (gouvernementales) ou privées (témoins, riverains) si bien qu'ils sont habituellement mieux documentés (niveaux d'eau, dommages, photographies).

La *période de retour événementielle* est calculée en divisant le nombre d'événements rapportés d'un type donné par la période de référence correspondante.

Dans ce contexte, nous avons pu extraire de la base de données disponible (excluant 2000-2001) les fréquences des événements de différentes classes sans égard au secteur concerné.

**Tableau 5 : Fréquence empirique des événements d'embâcle sur la rivière Montmorency pour la période de 1947 à 2000 – Tous les secteurs confondus**

Classe	Interprétation	Nombre	Nombre dépassant le seuil fixé	Fréquence au dépassement (%/année)	Période de retour moyenne par classe
0	Aucun pour l'année	29	54	100	1,9
1	Négligeable	6	25	46	9
2	Léger	11	19	35	4,9
3	Moyen	4	8	15	13,5
4	Majeur	2	4	7,4	27
5	Catastrophique	2	2	3,7	27
<b>Total</b>		54			

On constate donc que deux événements catastrophiques (1947 et 1957) et deux majeurs (1978 et 1992) se sont produits ce qui donne une fréquence au dépassement de 7,4%/an. En terme de période de retour de ces deux classes d'événements, on trouve 27 ans dans les deux cas. En les combinant, on trouve par conséquent une fréquence doublée ce qui signifie que tous les 13,5 ans en moyenne, un embâcle de type 4 ou 5 cause ou peut causer des destructions majeures ou catastrophiques sur l'un ou l'autre des différents voisinages de la rivière Montmorency. Pour progresser dans l'analyse des risques d'embâcles, il faut donc en plus de cette évaluation événementielle déterminer la probabilité spatiale de ces événements. C'est l'objet de la section suivante.

#### **4.5.2 Distribution spatiale**

Dans un premier temps nous avons identifié de l'amont vers l'aval des zones altimétriques homogènes qui correspondent grossièrement aux voisinages résidentiels (Figure 12):

1. Île-Enchanteresse (IA), Sainte-Brigitte-de-Laval;
2. Rue des Deux-Rapides (DR), Sainte-Brigitte-de-Laval;
3. Côte-du-Lac (CL), Sainte-Brigitte-de-Laval;
4. Rue Bocage (BO), Beauport;
5. Secteur des Îlets (DÎ), Beauport;
6. Rue des Trois-Saults (TS), Beauport;
7. Lac du Délaissé (LD), Beauport, Boischatel.

Chacun des événements rapportés a ainsi été attribué au lieu où l'embâcle s'est produit. À cet égard, diverses considérations sont à mentionner étant donné qu'un embâcle n'est pas un phénomène ponctuel et qu'il s'étend sur une certaine distance. Il n'est pas non plus homogène sur un tronçon donné comme c'est le cas pour le débit. Premièrement, il faut distinguer entre le lieu où se déclenche l'embâcle (la tête), le tronçon où sévit le phénomène (le corps de l'embâcle) et la queue de celui-ci. Étant donné que les accumulations de glace s'étendent habituellement sur 1,5-2,5 km sur la rivière Montmorency, on observe ses conséquences sur plus d'un voisinage (souvent 2 et parfois trois). Par contre, il est raisonnable de postuler que le potentiel dévastateur de l'embâcle ira en diminuant en s'éloignant de la tête. De plus, il est aussi arrivé qu'un embâcle se forme à un endroit, qu'il cède un peu plus tard et qu'il se reforme plus loin dans un autre secteur.

C'est pourquoi, pour les embâcles de classe 2 et plus, le secteur directement affecté s'est vu attribuer l'occurrence d'événement à la valeur maximum de sa classe et les secteurs immédiatement à l'amont sont considérés comme soumis au même aléa mais à un degré moindre (la classe maximale moins 1). Ce postulat est raisonnable dans la mesure où les secteurs de référence mesurent typiquement 1 km et que comparés à la longueur des embâcles, en moyenne 2 à 3 secteurs peuvent être touchés par l'élévation du niveau de l'eau.

Afin d'établir la probabilité au dépassement d'embâcles de différents types par secteur, nous avons procédé avec les fréquences empiriques données au tableau précédent que nous avons appliquées à la période de référence (1947-2000).

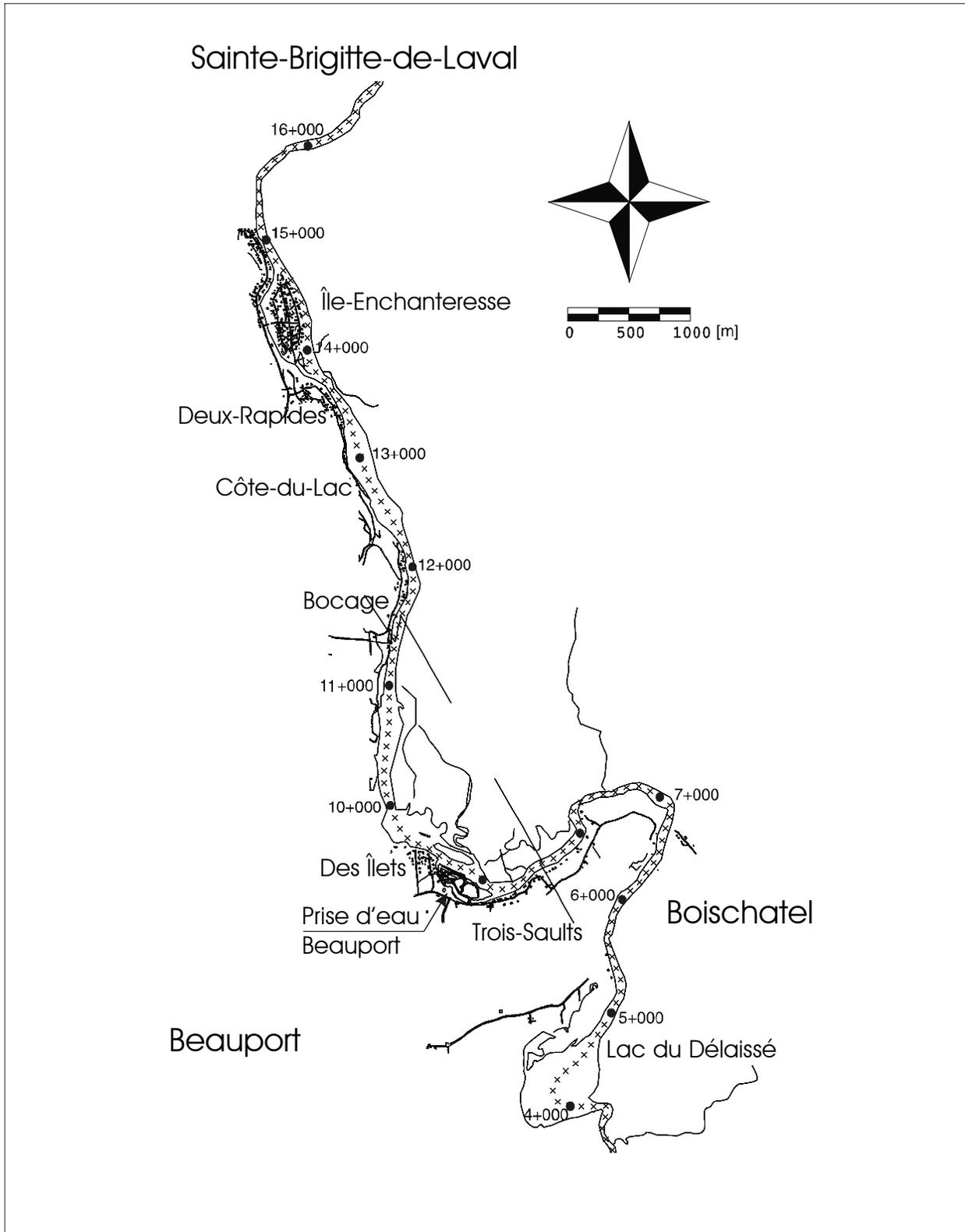


Figure 12 : Localisation des « voisinages » ou zones homogènes pour l'analyse des risques d'embâcles

Celles-ci ont d'abord été cumulées en commençant par les événements de faible récurrence jusqu'aux années où aucun embâcle ne s'est produit. Ces valeurs ont été divisées par la période pour obtenir la probabilité au dépassement (Tableau 7). La Figure 13 met en graphique les résultats de ces calculs. Le Tableau 8 permet de se faire une idée des périodes de retour des événements de différents types par secteur.

**Tableau 6 : Évaluation de la fréquence et de la sévérité des embâcles par secteur d'analyse sur la rivière Montmorency (D'après les données fournies par le MENV (Guilbert, G., Communication personnelle))**

Type	IA	DR	CL	BO	DI	TS	LD
<b>0 (aucun)</b>	40	50	51	47	50	52	51
<b>1 (négligeable)</b>	5			3		1	1
<b>2 (léger)</b>	5	4	2	3	2		2
<b>3 (moyen)</b>	2		1	1	1		
<b>4 (majeur)</b>	1				1		
<b>5 (catastrophique)</b>	1					1	
<b>N/ secteur</b>	<b>14</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>3</b>

**Tableau 7 : Évaluation empirique de la fréquence au dépassement des embâcles de divers types par secteur d'analyse sur la rivière Montmorency**

Type	IA	DR	CL	BO	DI	TS	LD
<b>0 (aucun)</b>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>1 (négligeable)</b>	0,26	0,07	0,06	0,13	0,07	0,04	0,06
<b>2 (léger)</b>	0,17	0,07	0,06	0,07	0,07	0,02	0,04
<b>3 (moyen)</b>	0,07	0,00	0,02	0,02	0,04	0,02	0,00
<b>4 (majeur)</b>	0,04	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00
<b>5 (catastrophique)</b>	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00

Tableau 8 : Évaluation de la période de retour des embâcles de divers types par secteur d'analyse sur la rivière Montmorency

Type	IA	DR	CL	BO	DI	TS	LD
0 (aucun)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1 (négligeable)	3,86	13,50	18,00	7,71	13,50	27,00	18,00
2 (léger)	6,00	13,50	18,00	13,50	13,50	54,00	27,00
3 (moyen)	13,50	>>	54,00	54,00	27,00	54,00	>>
4 (majeur)	27,00	>>	>>	>>	54,00	54,00	>>
5 (catastrophique)	54,00	>>	>>	>>	>>	54,00	>>

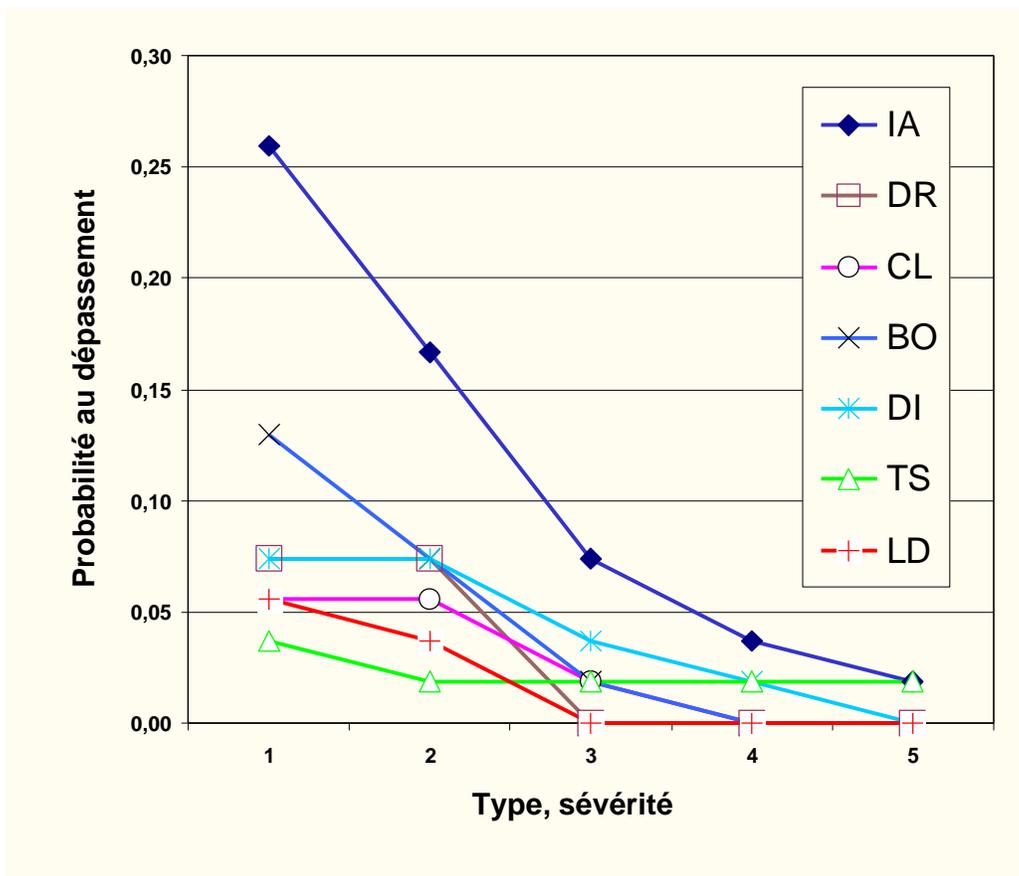


Figure 13 : Probabilité au dépassement des embâcles par secteur selon le niveau de sévérité

## 4.6 Potentiel de vulnérabilité résidentielle

Pour estimer le dommage direct moyen annuel, nous avons appliqué la formule du risque donnée à la page 9. Pour ce faire, il est nécessaire de disposer de l'évaluation foncière totale des propriétés considérées comme vulnérables pour chacun des voisinages identifiés. Pour ce faire, nous avons procédé par une reconnaissance sur le terrain ou en considérant la position des éléments vulnérables (visibles dans la base de données planimétriques) dans le modèle de terrain pour identifier ceux qui subiraient des dommages par les embâcles. La cartographie des risques d'embâcle par la MRC Jacques-Cartier et la CUQ nous a servi à établir les périmètres soumis aux aléas. Dans certains voisinages, par exemple, la rue des Deux-Rapides ou la rue des Trois-Saults, les propriétaires localisés du côté de la rue adjacent à la berge ont plus de chance d'être vulnérable que leur voisins de l'autre côté de la rue construits sur les terrasses fluviales plus élevées. D'après les informations obtenues de diverses sources dont relèvent les différents rôles d'évaluation, nous avons considéré les montants suivants comme représentatifs de la vulnérabilité par voisinage :

1. Île-Enchanteresse (IA), Sainte-Brigitte-de-Laval	(N=93)	3 293 120 \$
2. Rue des 2-Rapides (DR), Sainte-Brigitte-de-Laval	(N=18)	699 690 \$
3. Côte-du-Lac (CL); Sainte-Brigitte-de-Laval	(N=20)	655 830 \$
4. Rue Bocage (BO); Beauport	(N=11)	352 550 \$
5. Secteur des Îlets (DÎ), Beauport	(N=25)	640 000 \$
6. Rue des Trois-Saults (TS), Beauport <sup>6</sup>	(N=6)	150 000 \$
7. Lac du Délaissé (LD), Beauport, Boischatel (n/d):	n/d	
	<b>Total :</b>	<b>6 950 180 \$</b>

Dans le cas du lac du Délaissé, la probabilité d'aléa étant considérée comme faible, possiblement dû à la rareté des données disponibles sur les embâcles, l'exercice d'évaluation de la vulnérabilité n'a pas été effectué. Cependant, des témoins ont rapporté des dommages importants mais limités à un petit nombre de propriétés reliés à des embâcles antérieurs, notamment le déplacement de maisons (ou chalets) hors de leur socle (1983). L'embâcle de 2000-2001 est de nature similaire. Ces informations n'ont pu être traitées dans le présent cadre. Le fait de ne pas considérer ce secteur ici ne signifie pas qu'il ne contribue pas au coût annuel des risques.

## 4.7 Mode d'intervention actuel

Le calcul du dommage moyen annuel direct (physique) dans les conditions actuelles requiert une description du mode d'intervention applicable présentement.

<sup>6</sup> Estimé sommaire qui ne retient que les résidences situées ans la zone des « faibles courants » établie par la Communauté urbaine de Québec (Bouillon, A., communication personnelle, 2000)

Le mode actuel vise la prévention des coûts humains en situation de crise. On cherche d'abord à prévoir le plus tôt possible la survenue des embâcles, soit par un monitoring des mouvements du couvert de glace, soit par l'observation des conditions météorologiques propices au déclenchement de la débacle. On peut occasionnellement compter sur la participation volontaire d'observateurs (riverains). Quand la consigne d'alerte précoce est atteinte ou dépassée, on déclenche une opération d'évacuation des zones à risques.

À Sainte-Brigitte-de-Laval, suite à un embâcle important menaçant des secteurs résidentiels, on procède à l'occasion à des interventions de déblaiement d'un chenal à même l'embâcle en vue de faciliter l'évacuation du débit. Des actions similaires ont été entreprises au lac du Délaissé au cours de l'hiver 2000-2001. C'est donc est une approche purement palliative qui n'influence en rien les causes fondamentales à l'origine des risques.

Du côté de Beauport, on applique depuis quelque temps une approche de digue fusible proposée par l'INRS-Eau pour prévenir la submersion complète des digues formant le périmètre externe des bassins de captation de la prise d'eau Des Îlets. Qu'il s'agisse de crues à l'eau libre ou d'une montée du niveau d'eau associée à un embâcle formé dans le secteur, le délaissé de la rivière Montmorency qui jouxte le quartier résidentiel des Îlets en rive droite ou le bras sud (fossé de ceinture) des bassins de captation sont parfois envahis à une cote telle que les accès routiers sont coupés au secteur résidentiel et les bassins de filtration sont menacés d'être inondés directement par les apports de la rivière. L'excavation transversale en des points précis du périmètre des digues permet alors d'évacuer le débit plus facilement ce qui équivaut à rétablir temporairement les voies de circulation naturelle de l'eau dans le secteur. L'effet bénéfique de cette mesure se fait seulement sentir pour les événements de courte période de retour (typiquement 2-5 ans).

Encore là, il s'agit d'une approche palliative qui permet seulement d'atténuer les risques sans en changer les causes fondamentales.

## **4.8 Le coût moyen annuel des dommages physiques résidentiels**

Avec les données produites dans les sections précédentes, et en utilisant quelques ratios donnés au chapitre « Méthodologie », il est maintenant possible de calculer les dommages physiques résidentiels à l'aide de la formule donnée à la section 2.3.1 (Le dommage moyen annuel, page 8).

Le Tableau 9 présente les résultats obtenus. On y constate d'emblée que l'ensemble des dommages physiques aux infrastructures (surtout la prise d'eau de Beauport) et aux résidences de l'ensemble des secteurs riverains excluant celui du lac du Délaissé se situent à 161 245 \$ en moyenne annuellement sur la base de statistique d'aléas étalées sur une période de 54 ans et du potentiel de vulnérabilité actuel (2000). Comme on s'y attendait, les deux principaux items qui contribuent à cette situation sont l'Île-Enchanteresse (89 951 \$) et la prise d'eau de Beauport (30 556 \$). L'item suivant est le secteur résidentiel des Îlets qui se situe à 12 148 \$ ce qui porte la vulnérabilité annuelle moyenne de ce secteur à 42 704 \$.

Conformément aux ratios caractéristiques établis suite aux derniers événements d'embâcles à l'Île-Enchanteresse et à la politique d'indemnisation du MSP, la ventilation de ces coûts entre les divers intervenants attribue 50% de la facture des dommages au groupe des résidents sinistrés et

l'autre 50% sous la forme d'indemnités versées par le gouvernement, soit 65 345 \$ pour chacun.

Il est particulièrement intéressant ici d'établir l'équité au niveau du contribuable moyen soumis aux risques. Ainsi selon les estimations fournies dans le tableau précédent et en tenant compte du nombre de contribuables affectés, nous obtenons les chiffres suivants pour la part des dommages physiques, meubles et immeubles, que ceux-ci doivent assumer par leur propres moyens: 428 \$ pour le riverain de Sainte-Brigitte-de-Laval (N=131) et 222 \$ pour celui de Beauport (N=42). En moyenne pour la rivière, on obtient 378 \$ (N=173).

**Tableau 9 : Évaluation des risques dommages physiques moyens annuels aux infrastructures et aux résidences par secteur de voisinage et équité entre les intervenants**

Secteur de voisinage	Types de dommage				Équité	
	Immeubles	Meubles	Combinés	Riverains	Gouvernements	Municipalités
<b>Sainte-Brigitte-de-Laval</b>						
Île-Enchanteresse	89 951 \$	17 990 \$	107 941 \$	53 971 \$	53 971 \$	
Deux-Rapides	1 296 \$	259 \$	1 555 \$	777 \$	777 \$	
Côte-du-Lac	2 125 \$	425 \$	2 550 \$	1 275 \$	1 275 \$	
<b>Total</b>	<b>93 372 \$</b>	<b>18 674 \$</b>	<b>112 046 \$</b>	<b>56 023 \$</b>	<b>56 023 \$</b>	
<b>Beauport</b>						
Bocage	1 305 \$	261 \$	1 566 \$	783 \$	783 \$	
Des-Îlets	12 148 \$	2 430 \$	14 578 \$	7 289 \$	7 289 \$	
Trois-Saults	2 083 \$	417 \$	2 500 \$	1 250 \$	1 250 \$	
Station de pompage	30 556 \$					30 556 \$
<b>Total</b>	<b>46 092 \$</b>	<b>3 107 \$</b>	<b>18 643 \$</b>	<b>9 322 \$</b>	<b>9 322 \$</b>	<b>30 556 \$</b>
<b>G. Total</b>	<b>139 464 \$</b>	<b>21 782 \$</b>	<b>161 245 \$</b>	<b>65 345 \$</b>	<b>65 345 \$</b>	<b>30 556 \$</b>

## 4.9 Dommages physiques aux infrastructures

Seule la prise d'eau de Beauport a été considérée à cause de son évidente vulnérabilité à un embâcle important qui se produirait dans le secteur des Trois-Saults ou immédiatement dans le secteur des Îlets où elle est située. Toutes les autres infrastructures publiques comme les ponts, les rues, les lignes de téléphone et d'électricité ou les réseaux d'aqueduc ou d'égout (rares sinon inexistantes) ont été négligés pour la présente étude. Cependant, il n'est pas exclu que des dommages importants se produisent en relation avec ces éléments dans un cas d'embâcle catastrophique associé à de l'érosion massive en berge ou au transport de sédiments et de débris.

Considérons la station de pompage de Beauport. Afin de chiffrer les coûts d'un dommage éventuel à cet équipement (Tableau 9), différents scénarios d'endommagement ont été analysés. Il s'agit des événements *moyen*, *majeur* et *catastrophique*.

Le coût de remplacement de l'ensemble des installations permet de connaître la valeur maximale des dommages en cas de destruction totale. Dans le cas de la station de pompage de la ville de Beauport, une usine conventionnelle coûterait autour entre 20 et 25 millions \$ alors que reconstruire les installations actuelles avec tout l'équipement de l'usine se chiffrerait entre 10 et 12 millions \$.

Un événement *moyen* d'embâcle (classé 3) induirait un envahissement des bassins de captation par l'écoulement à la cote 157-157,5 m, déposant de la glace et par un peu de débris. Les digues et les chemins ne seraient pas touchés significativement sauf aux sites fusibles prévus pour céder en cas de tels événements. Les coûts s'apparenteraient à un entretien majeur qui consiste à enlever une épaisseur d'environ 30 cm de boue et de sédiments fins déposés au fond des bassins, et éventuellement à réaménager les digues fusibles. Le coût est évalué à **50 000\$**.

Un événement *majeur* (classé 4) est défini par un niveau d'eau atteignant 157,5-158 m. Les bassins seraient envahis par de forts courants associés avec des masses importantes de glace et de débris. On anticipe une destruction à 30% des digues et chemins et à 5% de la tuyauterie pour un tel événement. Les coûts de construction des bassins en l'an 2000 sont évalués à 100\$ par m<sup>2</sup> avec une répartition des coûts 50%-50% entre la tuyauterie et les digues et chemins. Actuellement, il y a 14 000 m<sup>2</sup> de bassin. Le coût des dommages, pour cette classe d'événement est évalué **300 000\$** (comprend le 50 000\$ de nettoyage du fond des bassins). Cette évaluation ne tient pas compte des projections futures d'ores et déjà planifiées concernant l'agrandissement des bassins.

Un événement *catastrophique* (classé 5) est caractérisé par un niveau d'eau encore plus élevé (typiquement 158-160 m) qui envahirait l'intérieur de la station de pompage par la porte arrière (cote 158 m). Cet événement est du même ordre que celui s'étant produit en décembre 1957. Les dommages aux équipements intérieurs seraient d'environ 1 000 000 \$. En considérant les dommages aux bassins de captation, les dommages totaux se chiffreraient autour de **1 300 000\$**.

En tenant compte de la fréquence empirique combinée des aléas se produisant dans le secteur des Trois-Saults et des Îlets, nous avons établi que le coût annuel moyen des dommages à cette infrastructure s'établit à 30 556\$ pour Beauport. Cependant, la part pouvant faire l'objet d'indemnisation par leur assureur demeure indéterminée.

Ajoutons à ceci qu'en cas de dommage à la station de pompage la rendant momentanément inopérante, la Ville de Beauport est capable de subvenir à ses besoins en eau pour une dizaine de jours. Si la réparation des installations devait se prolonger plus longtemps, des *dommages secondaires* importants liés à la privation de sa prise d'eau devraient être envisagés pour la population en général ainsi que pour les industries et les commerces. Une telle situation s'est produite au Saguenay en 1996 quand l'Alcan et certaines municipalités ont perdu leur prise d'eau ou leur station de pompage. Pour Beauport, ces dommages éventuels n'ont cependant pas été comptabilisés dans le présent projet.

## 4.10 Coûts d'intervention

### 4.10.1 Municipalité de Sainte-Brigitte-de-Laval

D'entrée de jeu, la politique de remboursement des coûts d'intervention par le Ministère de la Sécurité publique prévoit que 100% de ceux-ci sont remboursés à la municipalité quand ceux-ci sont réalisés en urgence; le pourcentage tombe à 50% quand il s'agit de prévention. L'urgence est de mise quand un embâcle se produit effectivement.

Selon nos informateurs de la Municipalité, la préoccupation de la population vis-à-vis des risques va en grandissant ce qui crée des attentes additionnelles à satisfaire : surveillance, monitoring, travaux préventifs et information du public. Dans les faits, chaque année, une mobilisation additionnelle de la force constabulaire est effectuée pour répondre à cette demande et on considère que cet excédent de travail ne serait pas nécessaire en l'absence de risques ce qui représente un potentiel d'économie récurrent, ou du moins une possibilité de redéploiement vers d'autres priorités jusqu'alors négligées. Selon nos interlocuteurs, le coût fixe en salaires d'une année sans embâcle s'élève à environ 2 000\$ annuellement pour la surveillance, le monitoring et l'information du public. Nous tenons compte de cet item dans les paragraphes suivants.

Le Tableau 10 expose les données obtenues à l'égard des interventions réalisées entre 1990 et 1999 par la Municipalité ainsi que les compensations obtenues de la part du gouvernement selon le caractère urgent ou préventif. Ces coûts sont surtout reliés aux interventions physiques. Pour le volet urgence, il s'agit principalement de l'enlèvement de la glace et la neige dans les rues et le salaire des pompiers volontaires. Pour le volet préventif, les coûts sont rattachés à l'excavation d'un chenal à l'eau libre à travers du couvert de glace, ceci afin de favoriser le transfert du débit en cas de crue importante se produisant avec un embâcle encore en place. Ainsi en 1999, sur des dépenses totales de 31428\$, 8586\$ (27%) sont des salaires, 5312\$ (17%) sont des dépenses reliées au déblaiement des rues et 15890\$ (51%) sont consacrés à l'excavation d'un chenal à l'eau libre à même l'embâcle. D'après les chiffres fournis, lesquels ont été actualisés en dollars 1999 suivant l'évolution de l'indice des prix à la consommation (I.P.C.), le coût annuel moyen des interventions s'élève à 24720\$ (de 1999) pour la période concernée.

Bien qu'il eut été possible de calculer une valeur synthétique du coût annuel qui aurait tenu compte de la période de retour et de la classification de la gravité des événements, nous avons

considéré que l'incertitude assez grande liée à ce type d'exercice ne justifiait pas de le faire. C'est donc la valeur en dollars constants de 1999 obtenue du Tableau 10 qui a été retenue.

**Tableau 10 : Coût des interventions d'urgence ou de prévention de Sainte-Brigitte de Laval reliés aux risques d'embâcles et remboursements obtenus du ministère de la Sécurité publique (Source : Sécurité publique de la municipalité de Sainte-Brigitte-de-Laval)**

Année	IPC (92)	Coût total		Coût municipal <sup>1</sup>		Subventions reçues		Décret MSP
		\$ courant	\$ 1999	\$ courant	\$ 1999	\$ courant	\$ 1999	
1990	93,3	0	0	0	0	0	0	
1991	98,5	0	0	0	0	0	0	
1992	100	162 840	179 938	68 821	76 047	94 019	103 891	609-92
1993	101,8	6015	6529	4992	5419	1023	1110	1541-93
1994	102	14 236	15 422	10 209	11 060	4027	4363	607-94
1995	104,2	2797	2966	2797	2966	0	0	
1996	105,9	7664	7997	6441	6721	1223	1276	177-96, 404-96
1997	107,6	853	876	853	876	0	0	
1998	108,6	2004	2039	2004	2039	0	0	
1999	110,5	31 428	31 428	8263	8263	23 165	23 165	276-99
<b>Totaux</b>		227 837	247 196	104 380	113 391	123 457	133 805	
<b>Moyenne</b>		22 784	<b>24 720 \$</b>	10 438	<b>11 339 \$</b>	12 346	<b>13 381 \$</b>	

<sup>1</sup> Les gouvernements supérieurs couvrent 100% des frais encourus en situation d'urgence et 50% des coûts de prévention

En résumé, le coût annuel moyen des interventions municipales de Sainte-Brigitte-de-Laval est estimé à environ 24 720 \$ (de 1999) en moyenne dont 11 339 \$ sont assumés directement par ses propres et 13 381 \$ par les gouvernements supérieurs.

#### 4.10.2 Beauport et Boischatel

Il n'a malheureusement pas été possible d'extraire une information similaire pour la Ville de Beauport et la Municipalité de Boischatel. Nous avons donc procédé avec une analyse sommaire conservatrice, c'est-à-dire, qui sous-estimerait les coûts plutôt que de les surestimer. Pour Beauport, nous considérons que la problématique de la surveillance concerne la sécurité de la station de pompage en plus des riverains de quatre voisinages entre la rue Bocage et le lac du

Délaissé. En terme de couverture spatiale, la portée est similaire sinon plus étendue qu'à Sainte-Brigitte-de-Laval. Par contre, la fréquence des événements et des mobilisations est probablement inférieure. D'autre part, les données obtenues de Sainte-Brigitte-de-Laval sont grandement influencées par deux événements critiques (1992 et 1999), si bien que les coûts typiques sans embâcles (de l'ordre de 2000 \$/année) sont propulsés à près de 25 000\$/année en moyenne avec ces deux seules années. Nous n'avons pas raison de croire que de tels coûts ne seraient pas nécessaires si des événements similaires se produisaient dans Beauport ou Boischatel. L'hiver 2000-2001 le confirme d'ailleurs car des travaux typiquement de 100 000\$ ont été nécessaires.

C'est pourquoi nous avons figuré des coûts d'intervention de l'ordre de 15 000\$ afin de demeurer conservateurs par rapport aux 25 000\$ de Sainte-Brigitte-de-Laval. En raison du plus grand territoire de Beauport et de sa prise d'eau, nous avons ventilé les coûts ainsi : 80% pour Beauport et 20% pour Boischatel. De plus, comme pour Sainte-Brigitte-de-Laval, l'absorption des coûts se ferait conjointement par les municipalités et les gouvernements supérieurs approximativement à 50%-50%.

En résumé, nous avons le tableau suivant :

1. Beauport : municipalité, 6000 \$; gouvernements supérieurs, 6000 \$.
2. Boischatel : municipalité, 1500 \$; gouvernements supérieurs, 1500 \$.

## 4.11 L'aspect fiscal

### 4.11.1 Le point de vue municipal et scolaire

Nous avons discuté de cet aspect au chapitre « Méthodologie ». Pour établir les paramètres financiers de cette problématique, nous nous sommes basés sur l'expérience de Sainte-Brigitte-de-Laval. Cette rubrique très importante et rarement mise en évidence en analyse de risques a trait à l'écart de rendement fiscal des propriétés à risques. Cet aspect concerne non seulement les municipalités mais aussi les commissions scolaires qui partagent leur fiscalité avec les premières. Étant donné le caractère très tangible et récurrent de ce manque à gagner pour les municipalités, nous croyons qu'ils appartiennent à la catégorie des dommages indirects. Les informations fournies par nos interlocuteurs (Côté, C. et Tremblay, Y., communication personnelle, 2000) permettent de nous faire une idée un peu plus précise de quelques effets pervers reliés à ce genre de situation, effets qui touchent aussi directement les riverains. Nous avons travaillé à paramétrer financièrement ces divers éléments.

D'abord, il est notoire que les propriétés situées dans une zone à risques sont sous-évaluées ( $VA$  ou Valeur actuelle) par rapport à leur valeur effective de remplacement ( $VR$ ). Selon nos sources, les propriétés sont sous-évaluées à 60% de leur valeur ( $VR = VA \times 1,6667$ ) par rapport à une localisation en dehors de telles zones, soit dans les quartiers centraux de la Municipalité. Bien que le rôle d'évaluation est sensé représenter la valeur marchande des propriétés, il a également été reconnu que même cette valeur surestime parfois le niveau réel du marché de la revente dans

ces secteurs puisque plusieurs propriétés se vendent à un montant qui est typiquement inférieur de 30% à l'évaluation foncière. S'il n'a pas de répercussion sur la fiscalité, ce dernier point concerne directement les riverains individuellement.

Dans le cas du rôle d'évaluation, c'est le rendement fiscal annuel des propriétés qui représente l'item à considérer pour les municipalités et les commissions scolaires. Il s'agit en fait d'un manque à gagner qui s'ajoute au coût des interventions. Pour calculer cet item, il est nécessaire de connaître l'évaluation foncière totale des propriétés (excluant les terrains) dans les zones à risques et le taux de taxation applicable. Les données sur les propriétés individuelles nous ont été fournies pour trois secteurs distincts de Sainte-Brigitte-de-Laval: Île-Enchanteresse, Deux-Rapides et Côte-du-Lac, ainsi que pour Beauport : Bocage, Des-Îlets et Trois-Saults. Les données pour le lac du Délaissé (Beauport et Boischatel) n'ont pas été incorporées pour des raisons d'hétérogénéité, soit du parc résidentiel ou du lien avec les embâcles. En fait, nous n'étions pas suffisamment sûrs de la valeur de nos hypothèses dans ces endroits pour les appliquer. Il faudra cependant retenir ce point. Pour les fins du rapport, seuls les valeurs cumulatives par secteur sont fournies.

Conformément à cette approche, la perte totale de rendement fiscal annuel se chiffre à 32 618 \$ pour Sainte-Brigitte-de-Laval (Tableau 11) dont 21 771 \$ pour la Municipalité et 10 847 \$ pour la Commission scolaire. Du côté de Beauport (Tableau 12), l'écart fiscal se chiffre au total à 16 757 \$ répartis ainsi : 14 092 \$ pour la Municipalité et 2666 \$ pour la Commission scolaire. Il est également intéressant de considérer ce que représentent ces chiffres par rapport aux contribuables à risque. Ainsi pour les 131 propriétaires riverains de Sainte-Brigitte-de-Laval, l'écart fiscal se situe à 249 \$ *per capita* au total, soit 166 \$ au municipal et 83 \$ au scolaire. À Beauport, l'écart individuel est plus important étant le taux de taxation qui y est plus élevé, du moins au niveau municipal: 399 \$ *per capita* au total, soit 336 \$ au municipal et 63 \$ au scolaire.

**Tableau 11 : Calcul des écarts fiscaux dans les zones à risque de Sainte-Brigitte-de-Laval**

Secteur	Valeur au rôle (VA)	Valeur de remplacement (VR)	Écart fiscal municipal sur (VR-VA)	Écart fiscal scolaire sur (VR-VA)	Écart fiscal total	N
		VA x 1,6667	0,7025\$/100\$	0,35\$/100\$		
Île-Enchanteresse	3 293 120 \$	5 488 544 \$	15 423 \$	7 684 \$	23 107 \$	93
Deux Rapides	699 690 \$	1 166 152 \$	3 277 \$	1 633 \$	4 910 \$	18
Côte-du-Lac	655 830 \$	1 093 052 \$	3 071 \$	1 530 \$	4 602 \$	20
<b>Total</b>	<b>4 648 640 \$</b>	<b>7 747 749 \$</b>	<b>21 771 \$</b>	<b>10 847 \$</b>	<b>32 618 \$</b>	<b>131</b>

Tableau 12 : Calcul des écarts fiscaux dans les zones à risque de Beauport

Secteur	Valeur au rôle (VA)	Valeur de remplacement (VR)	Écart fiscal municipal sur (VR-VA)	Écart fiscal scolaire sur (VR-VA)	Écart fiscal total	N
		VA x 1,6667	0,7025\$/100\$	0,35\$/100\$		
<b>Bocage</b>	352 550 \$	587 585 \$	4 348 \$	823 \$	5 171 \$	11
<b>Des-Îlets</b>	640 000 \$	1 066 669 \$	7 893 \$	1 493 \$	9 387 \$	25
<b>Trois-Saults</b>	150 000 \$	250 001 \$	1 850 \$	350 \$	2 200 \$	6
<b>Total</b>	1 142 550 \$	1 904 254 \$	<b>14 092 \$</b>	<b>2 666 \$</b>	<b>16 757 \$</b>	42

#### 4.11.2 Point de vue du riverain

Les chiffres qui viennent d'être donnés représentent bien sûr des économies récurrentes quand on adopte le point de vue du contribuable à risque. Si celui-ci doit assumer lui-même une part importante des dommages directs qu'il subit (voir la section 4.8, Le coût moyen annuel des dommages physiques résidentiels, page 52), il bénéficie par contre d'une réduction fiscale liée à la sous-évaluation de sa propriété.

Par ailleurs, il est aussi notoire que les riverains à risques s'abstiennent d'apporter des améliorations importantes à leur propriété étant donné que de tels investissements peuvent difficilement bonifier la valeur marchande en cas de revente éventuelle. Si de telles améliorations sont apportées, c'est tout simplement à leurs risques et périls. De plus, nos interlocuteurs nous ont rapporté que les compagnies d'assurances hésitent, voire refusent d'assurer ces résidences, non seulement contre les risques d'inondation ce qui est la norme dans l'industrie mais également contre tout risque (information non vérifiée). Les quelques compagnies qui acceptent d'assurer exigent des primes élevées.

On peut aussi observer que des propriétés très bien entretenues et d'une bonne valeur en jouxtent d'autres plutôt négligées probablement pour les raisons évoquées. Cette hétérogénéité contribue à maintenir le marché bas dans ces secteurs. L'absence de risques d'embâcles dans ces endroits deviendrait une puissante incitation à la rénovation domiciliaire et nous estimons qu'une plus-value de l'ordre de 20% pourrait être apportée au parc résidentiel, valeur qui pourrait se matérialiser graduellement au fil des années et qui le serait déjà si le risque était absent. Un manque à gagner additionnel pourrait donc être pris en compte dans nos calculs mais nous nous en sommes abstenus afin de demeurer conservateurs.

Enfin, un autre effet pervers est lié au pouvoir d'emprunt sur garantie hypothécaire. Nos interlocuteurs ont fait ressortir que les banques exigent une mise de fond au comptant de 35% de

l'emprunt pour l'acheteur éventuel (information non-vérifiée). Si cet item n'est pas de conséquences fiscales, il représente un handicap important pour la valeur de la propriété. Ici encore, ce constat pourrait est à prendre en considération dans la section concernant les coûts pour les riverains (perte patrimoniale).

#### **4.12 Coût des études**

Nous avons vu au chapitre « Méthodologie » qu'il est raisonnable de lier la fréquence des mandats d'études visant la recherche de solutions à celle des événements dépassant un certain niveau de gravité, typiquement de moyen à catastrophique. Huit de ces événements ont été recensés entre 1947 et 2000. Nous estimons que le coût d'une étude typique peut facilement se situer entre 50 000 \$ et 100 000 \$. Supposons 75 000 \$. Sur la période de référence (54 ans), cela représenterait 600 000\$ selon notre hypothèse, soit, 11 111\$/an. Retenons le chiffre de 10 000\$/an pour nos calculs. Ce chiffre exclut les opérations normales de monitoring, de surveillance effectuées par divers ministères et émergeant au budget interne de fonctionnement, activités qui sont pourtant loin d'être négligeables.

En terme d'équité, nous posons l'hypothèse que les études sont habituellement prises en charge, à niveau de 25% (2500 \$/an) par les municipalités, le reste (75% ou 7500 \$) étant assumé par les gouvernements supérieurs. Pour l'équité, nous avons supposé de plus que les municipalités pouvaient se séparer la facture ainsi : Beauport, 65% (1666 \$); Sainte-Brigitte-de-Laval, 25% (625 \$) et Boischatel, 10% (250\$).

#### **4.13 Synthèse de l'analyse de risques dans l'état actuel**

Le Tableau 13 présente une synthèse des coûts divers identifiés au cours de ce chapitre dans les conditions présentes d'intervention qui se limitent aux urgences, aux indemnisations et à la recherche périodique de solutions (études). Nous avons produit deux chiffres pour le coût annuel des risques : un premier qui tient compte de la perte de rendement fiscal pour les pouvoirs locaux (municipal et scolaire) et un deuxième qui retourne cette perte aux riverains.

Dans ce contexte, le coût annuel moyen des risques associées aux embâcles (dommages, interventions et autres) s'établit à plus d'un quart de millions de dollars (260 441 \$) sur la rivière Montmorency. Cette évaluation n'est pas exhaustive étant donné qu'elle ne prend pas en compte toutes les infrastructures publiques soumises aux risques non plus qu'elle comprend les dommages indirects qui résulteraient de la perte momentanée de celles-ci pour la population, les commerces et les industries des diverses municipalités. De plus, les risques dans le secteur du lac du Délaissé n'ont pu être pris en compte convenablement si bien qu'ils ont dû être négligés.

Pour les groupes d'intervenants identifiés, la facture se répartit ainsi : **65 345 \$** soit 285 \$ chacun en moyenne pour les 173 riverains à risque; **101 370 \$** pour les pouvoirs locaux et **93 726 \$** pour les gouvernements.

**Tableau 13 : Synthèse de coûts annuels moyens des dommages associés aux risques d'embâcles sur la rivière Montmorency en l'an 2000 et équité**

Type	Équité			Total
	Riverains	Pouvoirs locaux	Gouvernements	
<b>Santé et sécurité des personnes</b>	Dommmages variant de lourds à légers selon le secteur et la fréquence	Nécessité de surveillance constante en période critique		N/a
<b>Dommmages physiques résidentiels</b>	65 345 \$	-	65 345 \$	<b>130 690 \$</b>
<b>Dommmages physiques aux infrastructures<sup>1</sup></b>	-	30 556 \$	-	<b>30 556 \$</b>
<b>Coûts d'intervention</b>	-	18 839 \$	20 881 \$	<b>39 720 \$</b>
<b>Dommmages d'incertitude</b>	Perte patrimoniale Non-assurabilité	-	-	-
<b>Fiscalité municipale et scolaire</b>	-	49 475 \$	-	<b>49 475 \$</b>
<b>Études</b>	-	2500 \$	7500\$	<b>10 000 \$</b>
<b>Total</b>	<b>65 345 \$</b>	<b>101 370 \$</b>	<b>93 726</b>	<b>260 441\$</b>
<b>Total tenant compte de l'avantage fiscal pour les riverains<sup>3</sup></b>	13 870 \$	-	-	210 966 \$

<sup>1</sup> Ne tient compte que de la prise d'eau de Beauport; exclut les ponts, routes, lignes de transport d'énergie, de câble et de téléphone.

<sup>2</sup> Valeur marchande en perte de 60 % par rapport à la valeur de remplacement ce qui se traduit par une fiscalité réduite mais aussi par une perte du pouvoir d'emprunt sur garantie hypothécaire et la non-assurabilité.

<sup>3</sup> La perte de rendement fiscal pour les pouvoirs locaux ( 49 475 \$) est considérée redistribuée aux riverains.



## 5. Les moyens d'intervention

---

Pour établir une stratégie régionale à l'échelle du réseau hydrographique à risque, on peut recourir à un ensemble d'interventions de nature soit, *administrative, non-structurale* ou encore, *structurale*. Dans ce chapitre, nous allons faire le point sur les études antérieures réalisées sur la recherche de solutions sur la rivière Montmorency ainsi que sur les éléments de base constituant les divers modes d'intervention habituellement appliqués dans ces circonstances. L'applicabilité à Montmorency incluant les coûts de construction et la faisabilité technique seront examinés. L'identification de scénarios de base vraisemblables regroupant certaines de ces solutions fera l'objet du chapitre subséquent (Chapitre 6). L'impact sur le risque (risque résiduel), rapport coût/bénéfice, les impacts sociaux, environnemental et fiscal seront alors introduits.

### 5.1 Revue des études antérieures sur les solutions à cette problématique

Plusieurs études antérieures ont été réalisées en vue de trouver une ou des solutions à la problématique des embâcles sur la rivière Montmorency. Il est d'ailleurs notable que la plupart de celles-ci ont été commandées suite à des embâcles majeurs ayant laissé beaucoup de dommages dans son sillage. Une des premières études sérieuses visant une recherche plus poussée de solution et comprenant quelques éléments d'analyse coût-bénéfice est celle de Barabé (1978). Plus récemment, on compte également celle de BPR (1994). Les conclusions mises en évidence alors seront rapportées au long de ce chapitre lorsque requis.

### 5.2 Revue des modes d'intervention administrative

Celles-ci incluent :

1. Les systèmes d'alerte précoce;
2. Les plans d'évacuation;
3. La garantie de la sécurité des accès pendant les crises;
4. Le zonage du territoire assorti de règlements d'urbanisme bannissant toute nouvelle construction ou exigeant l'immunisation des bâtiments;

5. La relocalisation partielle ou totale des propriétés menacées.

### 5.2.1 Gérer la crise

Les trois premiers modes identifiés visent surtout la gestion des crises et l'atténuation des conséquences humaines des embâcles. Dans le cas où il serait possible de réduire à néant toute possibilité de risques d'inondation sur la rivière Montmorency en relation avec les embâcles, ces modes d'intervention seraient rendus inutiles. Par contre, l'obtention d'une telle certitude ne pourrait se faire avant une assez longue période de suivi au cours de laquelle la vigilance demeurerait de mise. De plus, même si les risques d'embâcles étaient totalement éliminés, les aléas reliés aux crues à l'eau libre, printanières ou automnales, demeurent une éventualité qui requiert le maintien et éventuellement l'amélioration de ce type de mesure.

### 5.2.2 La réglementation des zones à risques

Le zonage municipal est une mesure préventive visant à contrôler le développement futur de la vulnérabilité en zone inondable. Quel que soit le résultat des aménagements réalisés sur le cours d'eau en terme de réduction des risques, tous s'accordent pour considérer que le zonage établi en fonction du niveau de risque antérieur doit prédominer pour définir la vocation future des régions classées inondables. En effet, relâcher la vigilance par rapport au développement urbain dans ces zones peut conduire à l'ajout de nouvelles constructions qui ne feront qu'accroître le potentiel de dommage. Comme il est impossible de garantir que les aléas seront totalement éliminés dans le futur, qu'il s'agisse des crues à l'eau libre ou d'embâcles plus localisés, tôt ou tard le risque moyen annuel aura tendance à rejoindre le niveau antérieur. Autrement dit, une diminution de la probabilité de l'aléa assortie d'une augmentation de la vulnérabilité finissent par équivaloir en fin de compte à la situation qu'on avait voulu corriger au départ. C'est pourquoi, pour maintenir à long terme les bénéfices des interventions, il faut aussi maintenir les exigences prescrites en zones classées inondables même si une plus grande sécurité y est dorénavant assurée.

### 5.2.3 Relocalisation, expropriation

La relocalisation partielle ou totale des résidences vulnérables dans l'état actuel ou en présence d'aménagements remédiateurs est une éventualité qui doit être considérée dans une stratégie intégrée. Appliquée seule ou de concert avec des interventions structurelles, elle nécessite le déploiement de mesures à caractère financier ou juridique (ex : expropriations) dont le coût est proportionnel à la valeur des immeubles à déplacer. Pour établir cette valeur, on considère trois variables : la *valeur marchande*, la *valeur de remplacement* et la *valeur de parité*.

La *valeur marchande* est utilisée en fiscalité municipale pour établir le compte de taxe, c'est donc cette valeur qu'on voit rapportée dans les rôles d'évaluation. La *valeur de remplacement* correspond plutôt au coût de construction ou de reconstruction en l'état où se trouve le bâtiment

au moment de l'évaluation. En zone inondable, elle est habituellement supérieure à la valeur marchande qui est dépréciée par la présence du risque. De plus, l'hétérogénéité des bâtiments résidentiels qu'on retrouve parfois dans les zones riveraines inondables (chalets jouxtant des résidences principales) liée à la difficulté d'hypothéquer les immeubles à la valeur de remplacement contribue à abaisser la valeur marchande du parc résidentiel. La *valeur de parité* est celle qu'on attribue aux bâtiments lors d'expropriations ou de rachats de gré à gré. Elle se situe souvent à mi-chemin des deux autres.

Malgré qu'il se range *a priori* parmi les modes d'interventions les plus radicaux et coûteux, cette solution possible a retenu notre attention du moins pour le secteur de l'Île-Enchanteresse et la rue des Deux-Rapides qui apparaissent comme le plus susceptible de rapporter des dividendes au niveau du contrôle de la vulnérabilité. Comme elle ne permet pas de solutionner les problèmes qui se posent dans les différents secteurs en aval, cette hypothèse doit être étudiée de concert avec une solution structurelle légère qui prévoirait la retenue des glaces à l'entrée du secteur des Deux-Rapides, soit à l'endroit où ont été provoqués la majorité des embâcles précédents sur la Montmorency. Dans ce cas, le tronçon de l'Île-Enchanteresse deviendrait ce que nous avons appelé un parc à glace lors de tels événements, le risque étant nul puisque la vulnérabilité aurait été annihilée.

### 5.3 Revue des modes d'intervention non-structurale

Celles-ci privilégient la gestion du couvert de glace sans utiliser de structures fixes. Les interventions consistent à affaiblir graduellement le couvert de glace de l'aval vers l'amont par des moyens thermodynamiques ou mécaniques de façon à faciliter l'évacuation des blocs au moment de la débâcle. Par exemple, sur la rivière Beaurivage (un affluent de la rivière Chaudière), on creuse des tranchées dans le couvert en vue de le fractionner. On se sert de la « grenouille » dans le réservoir du barrage d'INERGEX à Charny pour y fractionner le couvert de la rivière Chaudière. On note que, selon les études, percer des trous à l'aide d'un tracteur représente un moyen efficace et peu coûteux. Une fois le couvert affaibli, celui-ci est prédisposé à céder lors de la débâcle et ainsi, la glace est transportée vers l'aval sans pouvoir s'arrêter donc, sans former d'embâcle.

Parmi les interventions non-structurales, on compte aussi l'excavation de tranchées longitudinales dans le corps de l'embâcle en vue de faciliter l'évacuation du débit et maintenir le niveau d'eau à une hauteur acceptable. C'est un moyen préventif utilisé en vue de prévenir les conséquences d'une crue subite postérieure à la survenue de l'embâcle et qui se produirait en présence de celui-ci dans un état consolidé par le gel. Ce type d'intervention a été utilisé sur la rivière Montmorency à la hauteur de l'Île-Enchanteresse. Son efficacité n'a pas pu être démontrée étant donné que le cas de figure ne s'est pas produit.

Pour les fins de ce projet, nous avons considéré ces modes d'intervention comme faisant partie de la gestion de la crise et non pas comme une solution efficace aux problèmes d'embâcles comme tels.

## 5.4 Liste des modes d'intervention structurale et aménagements

Celles-ci sont constituées notamment :

- ?? d'estacades fixes ;
- ?? d'estacades flottantes;
- ?? de seuils ou séries de seuils avec ou sans clé;
- ?? de digues-levées et ouvrages de protection des berges;
- ?? de barrages pour la glace;
- ?? de barrages pour le contrôle des crues déclenchant la débâcle;
- ?? d'aménagements de l'hydraulicité du cours d'eau.

Ci-après, nous allons passer en revue ces différents modes d'interventions afin d'en faire ressortir le principe et l'applicabilité à la rivière Montmorency. Le cas échéant, nous citerons quelques exemples de telles interventions disponibles dans la bibliographie.

## 5.5 Les estacades fixes

### 5.5.1 Le principe

Une autre structure de rétention consiste en un ouvrage plus léger qu'un barrage formant un genre de peigne artificiel construit dans la rivière. Il peut s'agir d'une série de piliers ou mini-îlots aménagés transversalement au cours d'eau. Quand ils sont construits en béton, on utilise parfois ces piliers pour supporter des travées de pont (piliers avec tablier). Les piliers peuvent aussi être fabriqués en enrochements et peuvent avoir différentes formes dans le plan (triangulaires, rectangulaires ou cylindriques). L'espacement entre les « dents » est important pour induire l'effet restrictif sur le passage de la glace. De plus, l'effet de restriction peut avoir pour effet de redresser par effet de « remous » la pente du plan d'eau en amont ainsi que le ferait un seuil, de telle sorte qu'un couvert de glace peut s'y former plus facilement et contribuer à la formation d'embâcle dans le bief d'amont

Le principe consiste à restreindre la section d'écoulement de telle sorte que les premiers trains de glace qui y parviennent lors d'une débâcle vont s'y coincer et provoquer l'empilement de ceux qui suivront. La hauteur de la structure est réglée à la cote du lit majeur soit celle du débit « plein-bord ». Le but est d'emmagasiner la glace jusqu'à ce niveau et de permettre à l'eau de s'évacuer par le trop-plein que représente la plaine de débordement (ou d'inondation) sans que ce milieu soit lui-même envahi par la glace. Il est préférable que le lit majeur comporte des obstacles au passage de la glace comme une forêt mature ou encore des enrochements de taille métrique. Il ne

faut pas que la plaine de débordement à cet endroit soit occupée par des éléments vulnérables (immeubles ou infrastructures). Il n'est pas nécessaire que le trop-plein se fasse des deux côtés de la rivière, un seul peut suffire. Enfin, il est important de considérer la stabilité des berges à l'action érosive du débit ou de la glace. Un aménagement prenant appui sur le roc est sans doute préférable.

Étant donné l'impact environnemental apparemment minime et le coût raisonnable d'un tel aménagement, nous avons posé l'hypothèse que ce type d'intervention présentait un grand potentiel pour la rivière Montmorency. Par contre, sa faisabilité n'est pas encore démontrée parce qu'il n'y a pas eu à ce jour de prototypes construits sur des cours d'eau ayant une pente relativement forte, comparable à celle de la rivière Montmorency, soit 0,4% typiquement en amont de l'Île-Enchanteresse. La difficulté d'implantation dans ce cas est-elle liée à la vitesse et l'inertie des glaçons transportés dans un écoulement si rapide (compétence du cours d'eau) ou s'agit-il du volume d'emmagasinement de la glace qui, pour être suffisant, exige une hauteur d'ouvrage trop grande (à cause de la pente qui raccourcit le tronçon d'emmagasinement) et par conséquent une topographie encaissée ?

### **5.5.2 Des exemples**

Une des plus grosses estacades fixes dans le monde avec une longueur de plus d'un kilomètre (avec tablier) a été construite en 1966 à l'aval du bassin La Prairie vis-à-vis de Montréal immédiatement en amont du pont Champlain sur le fleuve Saint-Laurent. Elle est connue sous le nom d'«estacade de glace». Une deuxième (sans tablier et d'environ 100 m de largeur) a été construite sur la rivière Credit juste en amont de Mississauga (Ontario). Un autre exemple (avec piliers en roches et sans tablier) est celui sur la rivière Lamoille (Vermont) sur lequel nous reviendrons un peu plus loin. En 1999, le CRREL a conçu une structure de type peigne pour la rivière Cazenovia pour protéger la ville de Buffalo.

Dans notre région, on peut citer l'exemple de l'estacade de la rivière Duberger (Figure 14), située juste en amont de l'autoroute de la Capitale et à l'ouest de l'autoroute Du Vallon. Cette structure protège le secteur résidentiel Duberger, juste en aval. La ville de Saint-Raymond (Portneuf) compte aussi, depuis 1976, sur une structure du même type (quoique que beaucoup plus imposante). Construit par le ministère de l'Environnement sur la rivière Sainte-Anne à l'amont de la municipalité (Figure 15), cet ouvrage est destiné à protéger le centre-ville des inondations.

Dans les derniers exemples cités précédemment, les estacades ont toutes eu un impact positif sur le contrôle des inondations dues aux embâcles. Les résidents et les autorités de la ville de Québec et Saint-Raymond se sont déclarés très satisfaits des structures mises en place chez eux.



Figure 14 : Photographie de l'estacade de Duberger dans la Ville de Québec

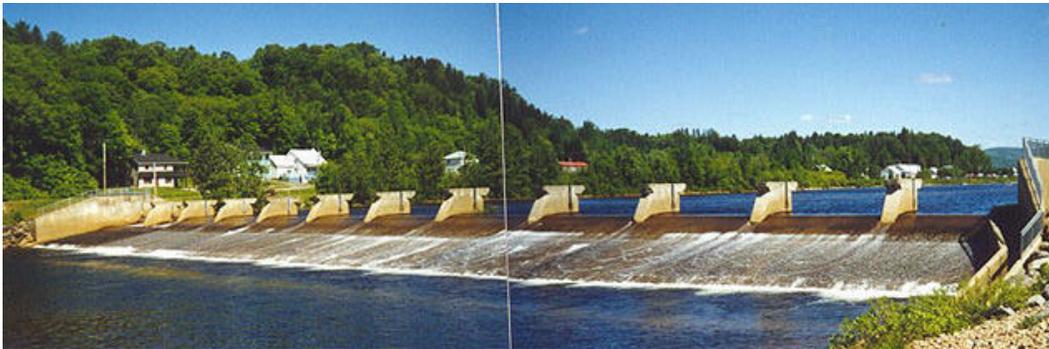


Figure 15 : Photographie de l'estacade à Saint-Raymond de Portneuf sur la rivière Sainte-Anne  
(Source : Ministère de l'Environnement du Québec)

### 5.5.3 Un exemple intéressant : cas de la rivière Lamoille (Vermont)

L'exemple le plus intéressant à considérer est l'estacade mise en place sur la rivière Lamoille à Harwick (Vermont U.S.A.). L'ouvrage qui correspond le mieux à la description donnée au début de la section (Figure 17) a donné d'excellents résultats. La construction avait aussi comme particularité d'être peu coûteuse à réaliser.

L'estacade est composée de blocs massifs de forme conique placés en travers de la rivière en amont de la zone à protéger et près d'une plaine inondable assez basse sur l'une des rives (Figure 16). Les blocs arrêtent le transport de glace et forment un embâcle stable. Les rochers et les arbres de la plaine inondable retiennent les glaces dans la rivière tandis que l'eau peut contourner la structure. La forte crue, souvent enregistrée lors de la formation d'embâcles, peut alors s'évacuer sans que vienne s'y rajouter le volume des glaces. Les larges passages entre les blocs permettent la libre migration du poisson et la circulation des petites embarcations, motorisées ou à rame. Ce genre d'ouvrage est peu coûteux : la structure édifée à Harwick a coûté 3 600 U\$ par mètre de largeur de rivière (en dollars de 1994).



**Figure 16 : Schéma artistique de l'estacade d'Harwick (CRREL)**

L'organisme américain *Cold Regions Research and Engineering Laboratory* (CRREL), un des principaux centres de recherches sur les glaces dans le monde, a fait le suivi de la structure. Un article scientifique publié par l'organisme (Lever et *al*, 1997) explique les dernières innovations reliées à cette technologie. On y mentionne que la présence d'une plaine inondable permettant à l'eau de s'évacuer est souhaitable voire, nécessaire pour que l'estacade soit efficace.



**Figure 17 : Estacade d'Harwick le 16 mars 1995 (Lever et *al*, 1997)**

Dans le processus d'analyse, il faut aussi tenir compte des impacts en amont de la structure. Il faut prévoir que le niveau d'eau s'élèvera temporairement et qu'un important volume de glace encombrera la rivière. Il est donc requis d'estimer rigoureusement la surélévation du niveau d'eau qu'on peut anticiper de la présence d'une telle structure et de la mettre en rapport avec le potentiel de vulnérabilité dans le bief d'amont (i.e. la présence et l'altitude des bâtiments).

#### 5.5.4 Estacades fixes en amont de l'île Enchanteresse ?

Dans le cas de la rivière Montmorency, deux sites potentiels voisins ont été repérés en amont de l'Île-Enchanteresse pour l'installation d'une estacade fixe (Figure 18). Le premier (appelé Site 1 pour la suite) est situé près du ruisseau Euclide (Chaînage 15 + 200) et le second (Site 2) est situé à quelque 500 m. plus en amont sur la rivière (15 + 700). Les deux sites ont une plaine inondable en rive gauche. On trouve la topographie générale de ce tronçon de rivière à la Figure 19. La présence de bâtiments résidentiels en rive gauche sur toute la distance de refoulement des glaces pourrait représenter un potentiel de vulnérabilité quoique l'altitude de la plupart de ceux-ci semble les mettre hors de portée d'inondations éventuelles. Cette donnée importante devra être vérifiée prioritairement afin d'établir la vulnérabilité résiduelle car, pour les deux sites, la plaine de débordement est assez élevée par rapport à la rivière (Figure 20 et Figure 22) ce qui implique des accumulations de glace très importantes en hauteur avant que le trop-plein de débit ne puisse s'évacuer latéralement.

Le site 2 bénéficie de la présence d'un seuil naturel. Cet élément pourrait aider à mieux ancrer la structure en plus de l'aider à mieux jouer son rôle. La plaine inondable est légèrement moins élevée au site 2 qu'au site 1 du moins pour le premier palier.

La première avenue envisageable serait de créer un seuil dans la rivière au site 1 et de lui adjoindre l'estacade prévue. Il est aussi concevable d'aménager le seuil déjà existant au site 2 et de construire l'ouvrage de rétention des glaces à cet endroit.

La présence d'un seuil dans une rivière crée une section de contrôle. En amont du seuil l'écoulement est plus lent. Le couvert de glace peut, lors de sa formation au début de l'hiver, se développer plus rapidement et solidement dans les eaux tranquilles créées par le seuil. Lors de la débâcle, ce couvert solide favorise l'arrêt des glaces au droit de l'estacade.

L'efficacité d'une estacade fixe à l'un ou l'autre des sites identifiés (avec ou sans seuil) est difficile à prévoir dans l'état actuel de nos travaux. Le volume de glace à intercepter, l'hypsométrie du secteur (relation volume-niveau), l'effet de la pente du cours d'eau, encore relativement forte (entre 0,4 % et 0,5%) à ces deux endroits, sur la vitesse des écoulements, ainsi que la hauteur de la plaine inondable doivent être examinés.

En résumé, nous estimons préliminairement que les deux sites démontrent un potentiel. Des études de faisabilité technique seront nécessaires afin de confirmer (ou infirmer) ces hypothèses. De plus, les effets qu'auraient une structure sur le profil de niveau d'eau à l'amont de la rivière n'ont pas, à ce jour, été étudiés du point de vue de la vulnérabilité résidentielle (risques de dommages) et géotechnique (stabilité des dépôts meubles). De même, les conséquences sur la faune, la flore et le domaine récréo-touristique nous sont encore inconnus quoique les impacts de tels structures n'ont pas la réputation d'être importants. Quelques autres endroits, un peu plus éloignés encore de l'Île-Enchanteresse pourraient aussi être intéressants pour la réalisation d'une structure. Cependant, ces sites n'ont fait l'objet que d'observations sommaires (surtout visuelles). Il nous semble encore trop tôt pour les considérer comme démontrant un véritable potentiel. Il serait intéressant de poursuivre de façon plus approfondie les analyses afin de pouvoir être mieux en mesure de juger leurs possibilités.

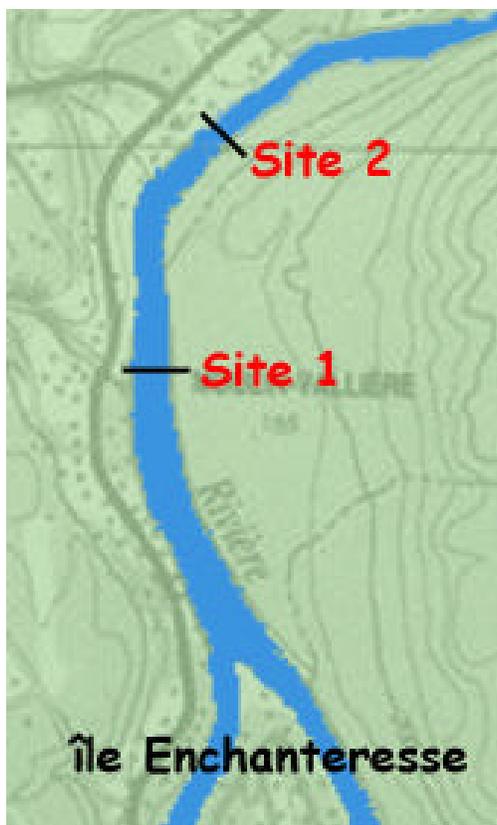


Figure 18 : Localisation des sites potentiels #1 et #2 pour l'installation d'estacades fixes

### 5.5.5 Estacades fixes en aval de l'Île-Enchanteresse

Les observations historiques montrent que la zone située juste en aval de l'Île-Enchanteresse, soit le secteur de la rue des Deux-Rapides, est propice au déclenchement d'embâcles (voir la section 4.2, page 38). Si ce n'était de la grande vulnérabilité résidentielle dans ce secteur ainsi qu'à l'Île-Enchanteresse, il serait tout à fait approprié de considérer *a priori* ce tronçon et sa capacité d'embâcle naturelle afin de chercher une solution pour les secteurs en aval.

Sans l'aide d'aucune structure particulière, la plupart des embâcles sont déclenchés à cet endroit comme le démontrent les statistiques des 54 dernières années (Tableau 4, page 39). Une estacade fixe même assez légère installée à cet endroit serait très probablement efficace pour stopper les trains de glace arrivant de la zone des grands rapides qui, dans l'état actuel des choses peuvent poursuivre leur route vers les zones aval lorsqu'une onde de crue plus importante survient, ou quand le couvert de glace fixe à cet endroit est fragilisé suite soit, à un redoux prolongé ou à la fin de l'hiver. La pente de la rivière y est en effet moins forte (environ 0,3%) que dans les sections amont et le courant y est aussi moins rapide. Il existe, de plus, une plaine de débordement en rive droite et en rive gauche (réseau d'écoulement anastomosé) qui permet déjà au trop-plein du débit (voire, de glace) de s'écouler lorsque des embâcles s'y produisent.

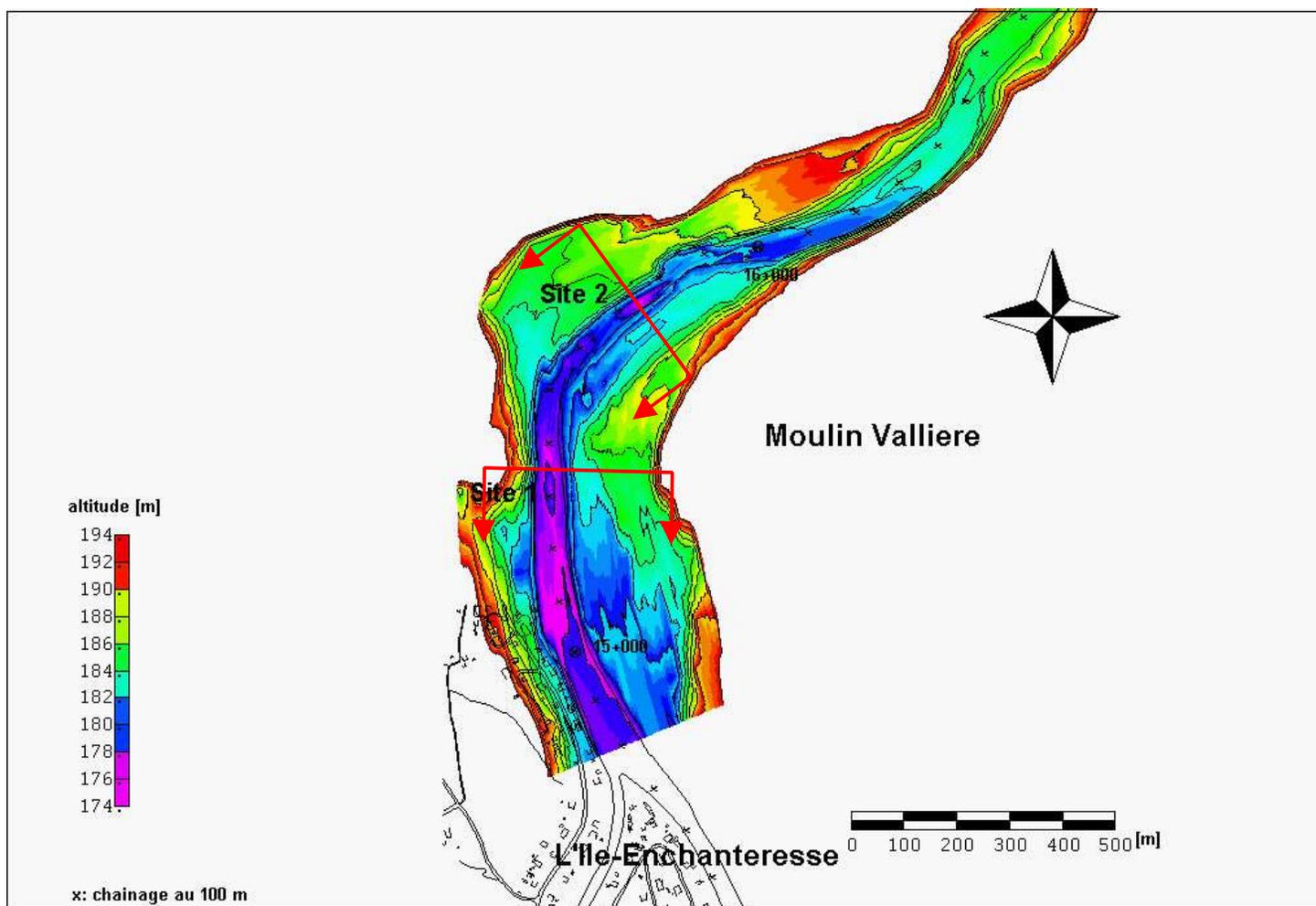
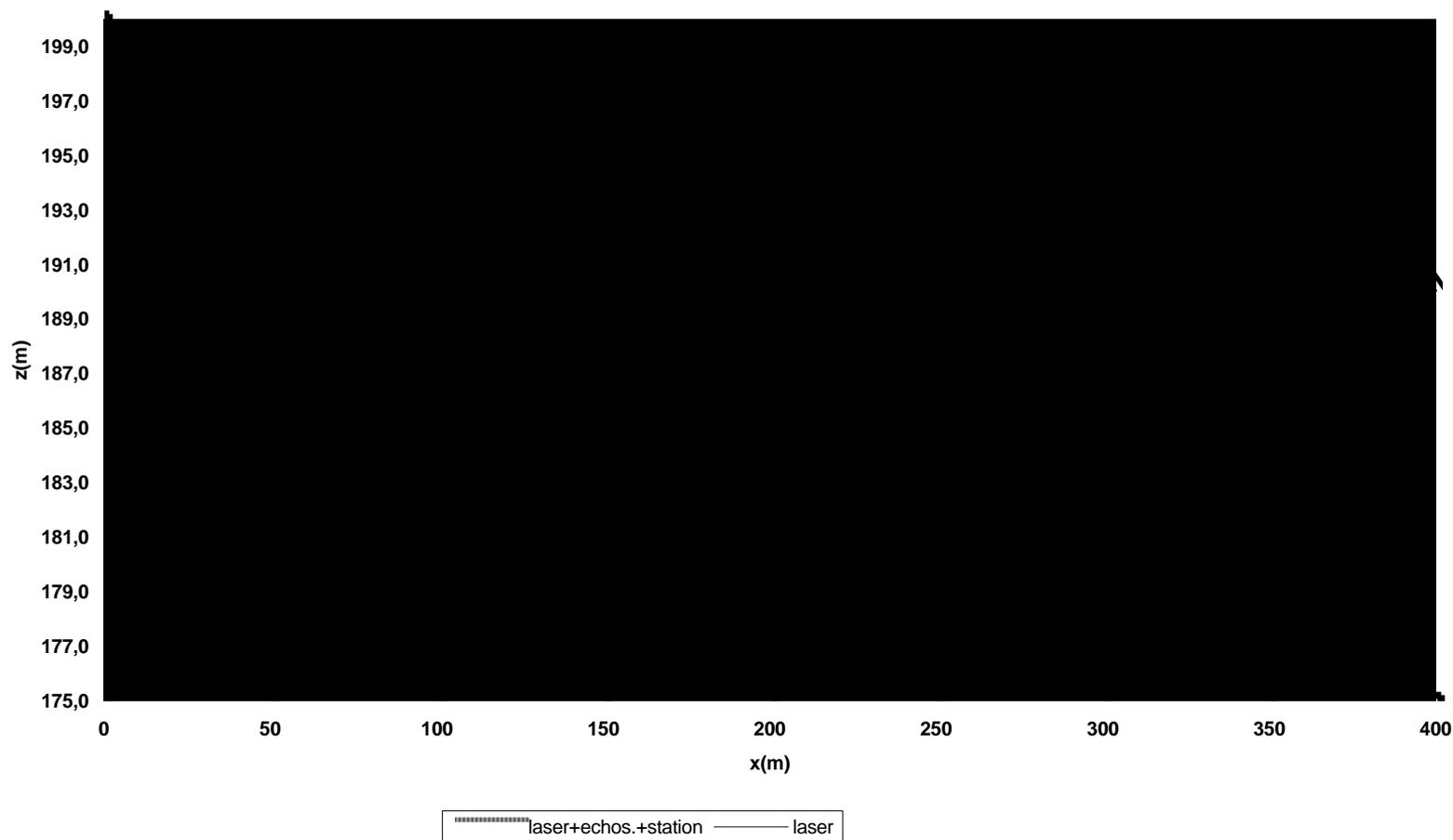


Figure 19 : Contours topographiques dans la région des sites potentiels d'estacade fixe à l'amont de l'Île-Enchanteresse

Note : Les profils transversaux présentés dans les pages suivantes sont positionnés sur la figure

section #190



**Figure 20 : Transect de la rivière Montmorency à la hauteur du site #1**

Note : Le relevé laser (ligne pointillée) indique la hauteur d'eau au moment du survol. Une distorsion est appliquée entre les axes horizontaux et verticaux

section #183

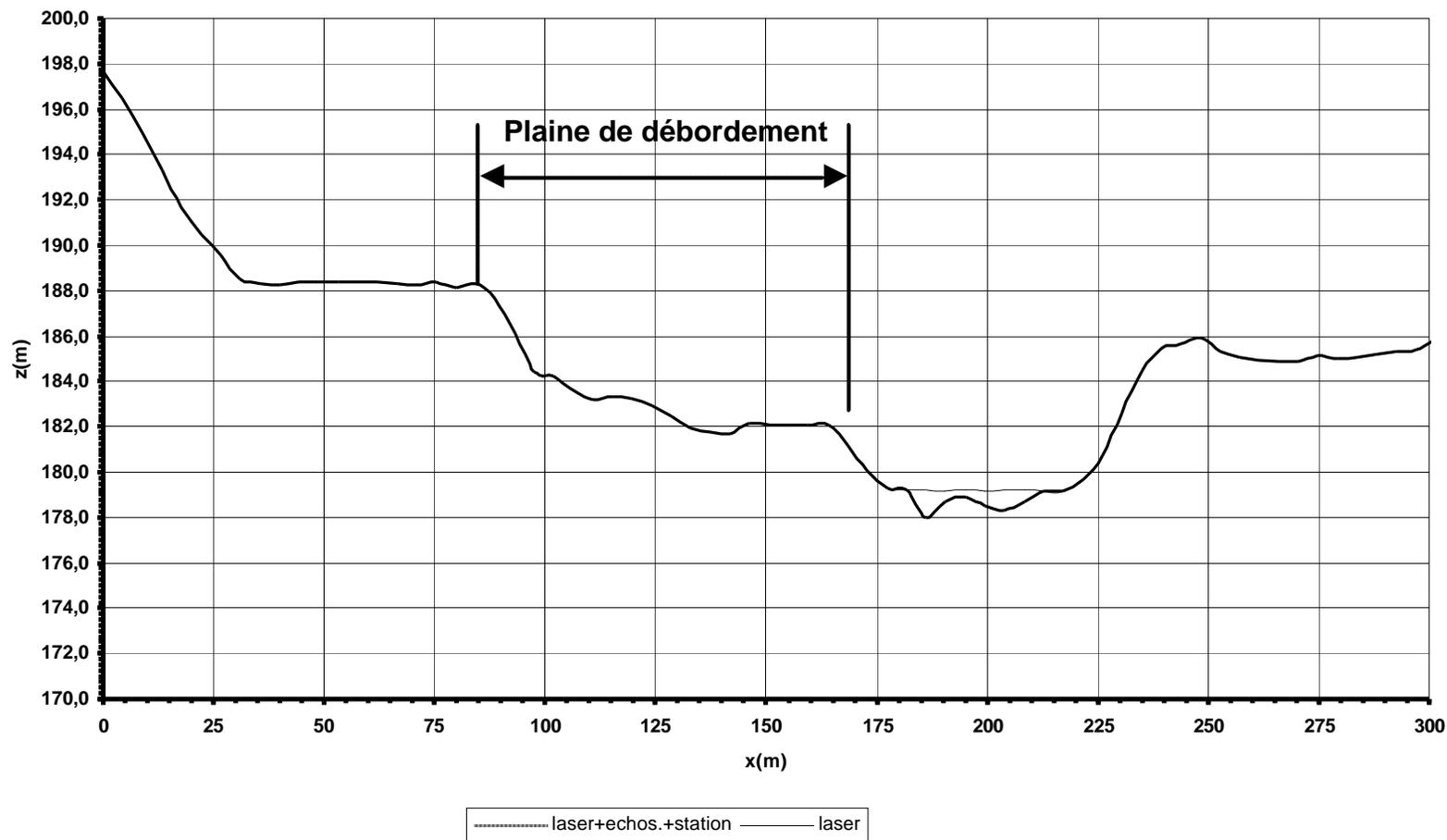


Figure 21 : Transect de la rivière Montmorency à la hauteur du site #2

Note : Le relevé laser (ligne pointillée) indique la hauteur d'eau au moment du survol. Une distorsion est appliquée entre les axes horizontaux et verticaux



**Figure 22 : Vue de l'emplacement pour l'installation d'une estacade fixe au site #2.**

Note : à remarquer le seuil visible par l'affleurement des blocs métriques et du socle rocheux produisant des eaux blanches.

L'avantage de construire une structure de retenue des glaces dans cette zone serait, qu'en plus de bénéficier de conditions naturelles favorables, elle permettrait de protéger les installations de la station de pompage de Beauport ainsi que les quatre voisinages résidentiels immédiatement en aval (de la Côte-du-Lac à la rue des Trois-Saults). Le couvert de glace entre l'Île-Enchanteresse et la prise d'eau a, en effet, tendance à fondre sur place si aucune pression n'est exercée sur lui. C'est l'addition des pressions de glace et d'eau provenant de l'amont qui provoque généralement sa rupture. En coupant l'apport des glaces provenant du Pont-du-Moulin et des grands rapides, nous croyons que le risque de décrochage du couvert entre l'Île-Enchanteresse et la station de pompage se trouve particulièrement réduit. La station de pompage est ainsi protégée. Si, par contre, le couvert venait à s'y rompre et à former un embâcle dans le secteur des Îlets (comme en février 98), le volume de glace serait considérablement réduit étant donné la structure de retenue. La quantité de glace serait réduite de 820 000 m<sup>3</sup> à 120 000 m<sup>3</sup> (voir la section 4.3 « Processus de dévalaison des glaces et volumes d'embâcles », page 41). À ce chiffre, peut s'ajouter un certain volume de glaces que pourrait laisser échapper un éventuel ouvrage de retenue, quoique la morphologie naturelle du cours d'eau prévoit de multiples chenaux latéraux d'évacuation de la glace en rive gauche.

Les désavantages d'une estacade fixe dans cette zone sont toutefois considérables. Dans un premier temps, les risques d'inondation à l'Île-Enchanteresse sont grandement aggravés comme nous le verrons au chapitre suivant. Ces risques n'impliquent pas seulement les dommages physiques mais aussi, et surtout, la menace pour les personnes qui est déjà insoutenable pour plusieurs dans l'état actuel. Avec une structure installée juste en aval de l'Île, des mesures importantes devraient être prises pour relocaliser les riverains menacés par cette intervention, c'est-à-dire, vraisemblablement toute la population de l'Île-Enchanteresse et de la rue des Deux-Rapides. De plus, de nombreuses résidences qui ne seraient pas menacées par les inondations parce que situées sur des points surélevés par rapport à la plaine inondable devraient subir les inconvénients d'évacuations périodiques car elles partagent avec les résidences inondables le

chemin d'accès qui longe la rivière. C'est aussi sans compter les dommages d'incertitude applicables comme nous l'avons vu à la valeur foncière et au potentiel fiscal foncier.

Cette solution pourrait être une option envisageable afin de protéger les installations de Beauport et les voisinages de Côte-du-Lac et de la rue Bocage. En raison du principe d'équité évoqué précédemment (non-transférabilité du risque), ce scénario n'est cependant applicable que si les riverains devant subir ce risque accru sont relocalisés et compensés de façon acceptable. C'est donc un scénario composite qui doit être étudié pour établir la faisabilité de l'option. Nous y reviendrons au chapitre suivant.

Aucune analyse topographique précise n'a été faite afin d'étayer davantage la localisation de l'intervention. Des observations visuelles laissent deviner plusieurs sites potentiels, mais aucun n'a été documenté de façon particulière.

## **5.6 Les estacades flottantes**

### **5.6.1 Principe**

Les estacades flottantes sont des structures composées de pontons (ou de troncs d'arbres) flottants sur la rivière, ancrés en rive et reliés entre eux par des câbles d'acier. Une variante à cette structure dite « classique » est d'y ajouter une série de câbles ancrés au fond et qui, dans la section d'écoulement, peuvent former un filet. Cette intervention vise à favoriser la formation d'un couvert de glace stable dans le bief d'amont de l'estacade (Figure 23), stabilité qui peut être mise à profit pour, à l'instar des estacades fixes, y déclencher des embâcles délibérés.



**Figure 23 : Exemple d'estacade flottante (d'après Fleet Technology, Ottawa)**

L'effet immédiat des estacades flottantes est de diminuer la production de glace en mouvement, et de favoriser la formation d'un couvert plus stable et plus épais en amont et plus mince en aval. En effet, les glaces qui se forment sur la rivière à l'automne s'immobilisent et s'accumulent derrière l'ouvrage. Les épisodes froids permettent à ces accumulations de se consolider ultérieurement. Le couvert de glace se forme ainsi plus tôt et plus efficacement en amont d'une

estacade mobile. Lors de la débâcle printanière, les glaces dévalant la rivière sont arrêtées par l'épais couvert formé tôt en saison et reposant sur à la fois sur l'estacade mobile et sur leur encrages en rive. Si l'estacade flottante a été renforcée d'un filet de câbles, ce dernier pourra retenir les glaces voulant basculer sous l'obstacle. Comme pour l'estacade fixe, l'onde de crue doit pouvoir alors évacuer son trop-plein par la plaine inondable adjacente ou par en-dessous de l'estacade.

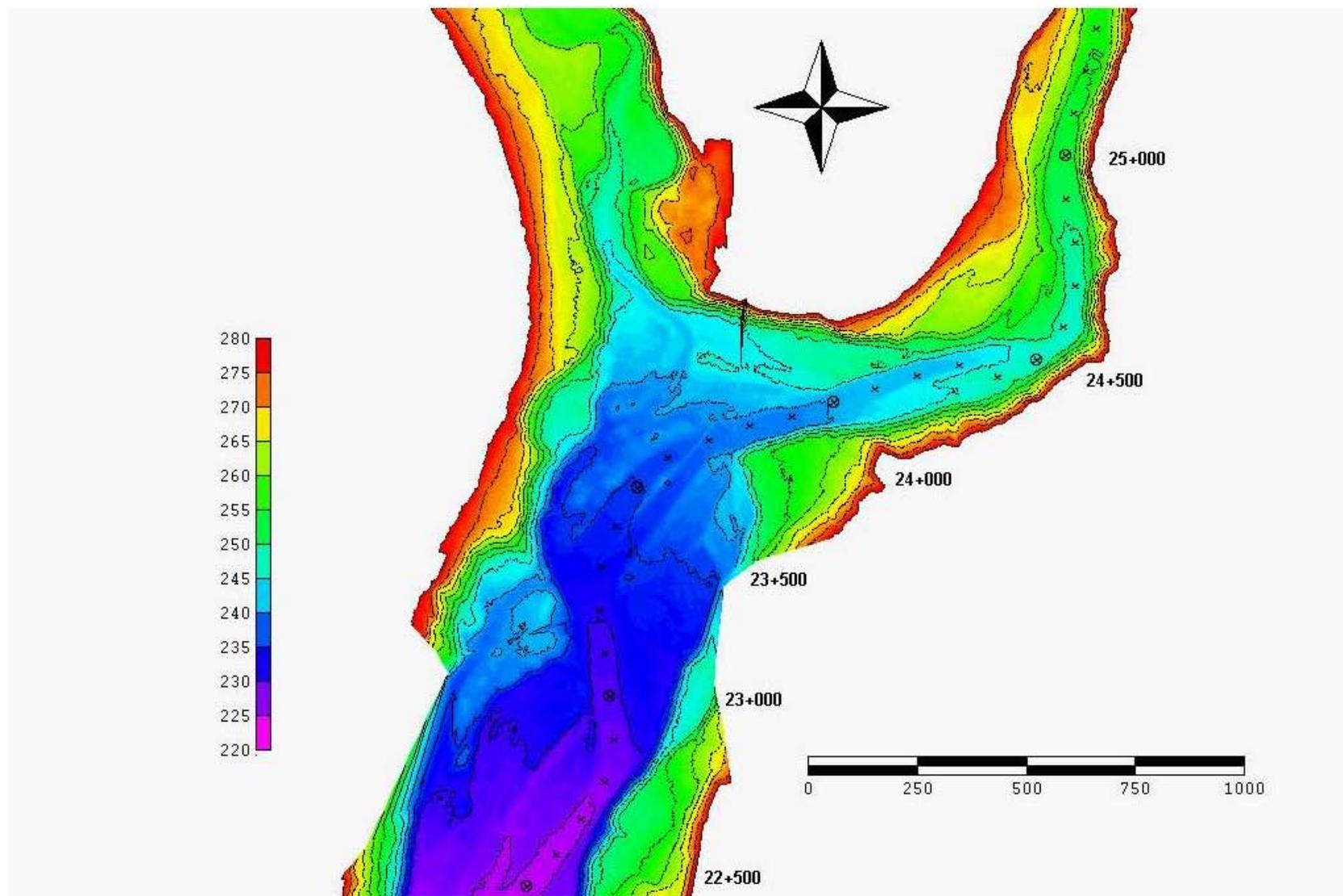
Cette structure peut être retirée à la fin du printemps pour permettre la libre circulation des embarcations sur la rivière. Cela implique donc des coûts d'opération récurrents annuels pour l'installation et le retrait, montants qui peuvent cependant être assez minimes et prise en charge en régie municipale.

### **5.6.2 Estacades flottantes en amont de l'île Enchanteresse**

Les sites envisageables pour la pose de ce type d'équipement sur la rivière Montmorency sont localisés en deux secteurs distincts et deux emplacements ont été identifiés pour chacun. Le premier secteur (désigné Secteur #1 pour la suite) se trouve immédiatement à l'amont de l'Île-Enchanteresse et vise les mêmes sites que ceux pré-sélectionnés pour les estacades fixes (voir la Figure 18, page 71). L'autre secteur (Secteur #2) à considérer comprend deux sites situés respectivement à l'embouchure de la rivière Saint-Adolphe (chaînage 23 + 700; pour situer ces sites d'après ce repérage, voir la Figure 1, page 2) et sur le tronçon principal de la rivière Montmorency immédiatement en amont des grands rapides (chaînage 33 + 000).

Pour ce qui est du secteur #1, les sites préalablement identifiés comportent des difficultés techniques importantes. En effet, la technologie présente sur les estacades flottantes n'est documentée, utilisée et réputée efficace que dans le cas de tronçons de faible pente et de vitesses réduites typiquement inférieures à 0,7 m/s). La section de rivière choisie est à l'extrême limite des pentes et des vitesses acceptables et devra être vérifiée avec soin. Comme dans le cas des estacades fixes, l'aménagement complémentaire de seuils dans le but de réduire localement la pente et les vitesses d'écoulement est concevable. Vu l'état actuel des connaissances et de l'état de l'art sur le sujet, nous croyons qu'une estacade flottante avec seuil a plus de chances de succès et que ce serait un concept d'intervention à considérer pour les études ultérieures de faisabilité.

Considérons maintenant le second secteur. Comme il a été dit précédemment, un tronçon de trois kilomètres de glaces (entre le chaînage 33 + 000 et 36 + 000) alimente, voire, provoque la débâcle de la rivière Montmorency en même temps qu'il ajoute au volume de glace apporté par la zone des grands rapides. Il serait opportun d'analyser plus à fond l'idée de placer une estacade flottante au début de cette région de rapides afin de retenir cette section de trois kilomètres. L'embouchure de la rivière Saint-Adolphe pourrait aussi être un site approprié pour l'installation d'une estacade flottante (Figure 24). Une estacade à cet emplacement empêcherait les glaces de cet important tributaire de contribuer à la débâcle de la Montmorency. Si l'hypothèse que la débâcle de la rivière Saint-Adolphe est un facteur pouvant déclencher un effet « domino » comme le serait la débâcle des grands rapides, on détiendrait ainsi un clé de solution. Pour l'instant, cet énoncé n'est que pure spéculation et ne doit pas être considéré autrement qu'une hypothèse.



**Figure 24 : Topographie d'ensemble à la confluence de la rivière Saint-Adolphe et de la Montmorency**

Note : Les croix indique le chaînage et la position générale du lit de la rivière

Aucune donnée précise n'a encore été colligée pour ces deux endroits mais les données topographiques disponibles dans le modèle numérique de terrain devraient permettre de mieux définir ces options.

### 5.6.3 Estacades flottantes en aval de l'Île-Enchanteresse

La même réflexion s'applique dans le cas d'estacades flottantes en aval de l'île Enchanteresse que celle déjà faite dans la section 5.5.5 (« Estacades fixes en aval de l'Île-Enchanteresse », page 71). En effet, à cause de la pente moins forte et des vitesses réduites dans ce secteur, des estacades flottantes auraient d'excellentes chances de succès afin de retenir les glaces. Les mêmes avantages et désavantages mentionnés pour les estacades fixes s'appliquent concernant les risques accrus pour les populations environnantes et le besoin d'interventions administratives visant la relocalisation des riverains.

## 5.7 Les seuils ou séries de seuils

### 5.7.1 Principe

Comme nous l'avons mentionné plus tôt à l'occasion, on peut aménager des seuils pour réduire la pente d'un tronçon et les courants qu'on y trouve. Les seuils permanents peuvent être en construits en béton ou de façon plus économique en s'inspirant des techniques développées pour reconstruire les biefs d'écoulement ravagés par les crues du Saguenay (Communication personnelle, Claude Beaulieu, ing., Groupe-Conseil BPR), c'est-à-dire, en enrochements, ce qui se justifie également mieux sur le plan environnemental.

Une des techniques consiste à former un V dont les extrémités prennent appui en rive en position inversée (la pointe du V dirigée vers l'amont) de telle sorte que la structure s'arc-boute contre le courant et la glace en condition de résistance à la poussée de ces forces. Ainsi, l'ouvrage travaille en compression ce qui lui confère une grande solidité. Le profil du seuil se caractérise par une dépression en son centre ce qui permet de laisser passer le débit à une hauteur normale en situation habituelle ou lors des embâcles. Une telle configuration peut-elle permettre l'évacuation d'un débit très important ? C'est ce qu'il faut analyser. Peut-on être sûr de l'efficacité d'un tel ouvrage pour induire la formation d'embâcle ? Pour favoriser la formation d'un couvert de glace, on a parfois aussi recours à la pose d'estacades flottantes en conjonction avec un seuil. Quoi qu'il en soit, la pente et la largeur du bief, la force du courant et la capacité d'emmagasinement en amont forment sûrement des variables importantes à considérer.

S'il s'agit d'un seuil permanent, cette intervention peut avoir un impact à long terme sur les habitats piscicoles. Dans certains cas, l'impact peut être positif en créant des zones de recirculation et d'abri pour le poisson. Il s'agit d'en faire l'évaluation. Il faut aussi considérer les impacts récréatifs, notamment pour la descente de la rivière en canot et en kayak. Là encore, l'impact peut être favorable si le seuil ne présente pas un degré de difficulté insurmontable,

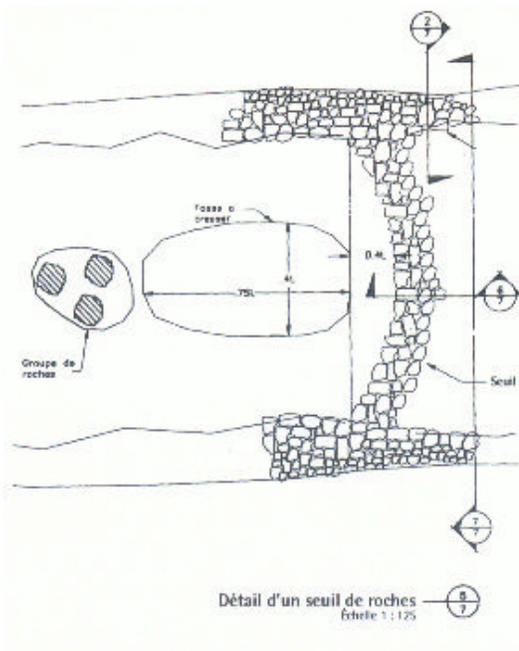
### 5.7.2 Exemples d'aménagement de seuils

L'aménagement de seuils artificiels en rivière est pratiqué depuis plusieurs années (Claude Beaulieu, communication personnelle, 2000). Ces structures sont conçues principalement dans le but de contrôler l'érosion et favoriser les habitats piscicoles, soit par la création de *facies* d'écoulement favorisant les fonctions écologiques d'alimentation et d'abri et en réduisant la mobilisation des matériaux fins qui ont tendance à colmater les sites de frai situés en aval.

Ce type d'ouvrage a fait ses preuves au Québec (rivières des Ha-Ha, à Mars, Nicolet, Cascapédia, etc) et en Ontario (Credit Valley Conservation Authority) dans ces deux domaines. Un tel seuil vient aussi d'être construit sur la rivière Beauport en aval de l'autoroute de la Capitale.



**Figure 25 : Seuil aménagé sur la rivière Cascapédia (Cégertec, source : Claude Beaulieu, Groupe-conseil BPR)**



**Figure 26 : schéma de construction d'un seuil en rivière (Source : Cégertec)**

Bien que l'objectif de ces seuils n'ait pas été de favoriser la formation d'embâcles, un tel effet secondaire a pu être observé sur certaines rivières mais ce fait n'a pas été documenté dans la bibliographie de sorte qu'il est difficile à leur dimensionnement avec ce but particulier. Afin de d'analyser l'applicabilité d'une telle approche d'aménagement sur la Montmorency, nous avons pris en considération différentes stratégies de mobilisation des seuils qui seront exposées dans les sections suivantes. En raison des fortes pentes observées sur les tronçons instables générateurs de glace, ces stratégies nécessitent l'aménagement en série de tels seuils. Ci-après, deux options d'aménagement seront discutées selon que l'on envisage les seuils sans clé ou avec clé.

### 5.7.3 Série de seuils sans clé

Dans un contexte de contrôle des embâcles, les seuils peuvent représenter une alternative. Comme il a précédemment été rapporté, la présence d'un seuil dans un cours d'eau crée une section de contrôle hydraulique, c'est-à-dire, une transition de régime d'écoulement rapidement varié qui va du fluvial au torrentiel puis, qui revient au fluvial. À l'origine, l'écoulement de type rapide pouvait se tenir assez prêt des conditions critiques (typiquement, le ressaut ondulé avec un nombre de Froude voisin de 1). L'effet du seuil est donc d'introduire un contraste plus important dans l'écoulement en fixant le régime amont en conditions fluviales. En amont du seuil, le courant est ralenti à la faveur d'une profondeur accrue.

La pente forte associée aux grands rapides de la rivière Montmorency limite à une courte distance l'effet remous procuré par les seuils si bien que plus la structure est basse, plus grand est le nombre nécessaire pour « casser » la pente. Une structure basse peut cependant être construite sans « clé », c'est-à-dire, sans qu'il soit nécessaire de « l'incruster » dans le lit du cours d'eau afin de lui procurer une plus grande solidité face aux poussées de la glace et au phénomène d'affouillement à la base de la structure soumise aux plus forts courants. Un seuil plus élevé requiert par contre un mode d'implantation plus invasif qui prend la forme d'une clé, donc des excavations dans le lit du cours d'eau.

Si plusieurs de ces ouvrages sont construits à intervalles réguliers dans une zone de rapides, nous verrons apparaître une succession de paliers. Ces paliers d'eau calme favorisent la création de couverts de glace solides contrairement aux zones de rapides où le couvert est fragile ou même inexistant. De plus, la production de frasil, qui se fait surtout dans les rapides, est grandement réduite.

La rivière Montmorency semble être un endroit propice à l'installation de telles structures. La zone de grands rapides s'étendant en amont de l'île Enchanteresse pourrait être exploitée. La création de paliers renforcerait le couvert, fragile à cet endroit, et diminuerait l'accumulation de frasil en aval de l'île. Un couvert solide a plus de chance de résister à l'emportement lors des crues ou sous la poussée de la débâcle en provenance du secteur amont de l'embouchure de la rivière Saint-Adolphe. La diminution de la quantité de frasil produit aurait aussi un impact bénéfique. Présentement, le frasil créé par les rapides s'accumule majoritairement à la hauteur de la rue des Deux-Rapides. Ce frasil ralentit l'évacuation du débit lors des crues subites hivernales.

La présence d'affluents plus chauds tout le long du tronçon pose cependant un problème sur lequel il faudrait se pencher. L'installation de seuils entraîne aussi une transformation

morphologique significative du cours d'eau qui jusqu'à ce jour est demeuré relativement intouché du point de vue visuel. La disparition d'un pourcentage important des rapides au profit de paliers à régime fluvial représente donc un impact important au niveau esthétique et hydraulique. La pratique d'activités nautiques tel le canot-kayak peut en être altérée. Les conditions d'habitats pour la faune et la flore sont également modifiées quoique l'expérience démontre que ces changements peuvent s'avérer favorables en diversifiant les *facies* d'écoulement.

Il faudrait, finalement, s'assurer que les nouveaux couverts formés ne décrochent pas en cas de crues majeures. Il ne faudrait pas que la solution retenue ne soit efficace que lors d'événements mineurs et inefficaces en d'autres circonstances.

La solution d'installer des seuils semble prometteuse, mais demanderait, encore une fois, des analyses et des études plus poussées.

#### **5.7.4 Série de seuils avec clé**

La différence entre ce genre de structure et celui décrit dans la section précédente est la présence d'une clé d'ancrage rendant l'ouvrage plus résistant et permettant de faire des seuils plus hauts et plus forts. Cette solution permettrait de réduire le nombre d'ouvrage à réaliser. Il est à noter toutefois qu'aucun gain financier n'est escompté car l'argent sauvé en réduisant le nombre d'ouvrage est compensé par le prix plus élevé des ouvrages avec clé (C. Beaulieu, communication personnelle, 2000). Nous reviendrons sur les coûts plus loin.

### **5.8 Dignes-levées et protection des berges**

Une digue-levée est un rehaussement des berges, soit par la construction de talus de terre ou de pierres ou encore, par la construction de murs et de barrières. Formant bouclier, ce genre d'ouvrage protège une zone précise en forçant l'écoulement et la glace à la contourner.

Afin de protéger certaines zones ou installations particulières, on peut donc envisager de tels aménagements à des endroits bien ciblés, par exemple : à l'amont de Île Enchanteresse ou à la station de pompage des Îlets. On reconnaît que cette option ne protège les riverains que contre les inondations plus fréquentes et les embâcles d'intensité moyenne, et que la présence des digues peut rehausser légèrement les niveaux d'eau du bief d'amont lors de crues majeures à l'eau libre. Par contre, en incluant le concept de fusible et en plantant des arbres à certains endroits pour au moins protéger les maisons contre l'invasion des glaces, les digues pourraient jouer un rôle. Les études antérieures sur la Montmorency ont aussi démontré que lors d'inondations, on observe en certains endroits des problèmes d'érosion de berges et des glissements de terrain. Des travaux bien aménagés pour atténuer ces éléments peuvent contribuer à une solution polyvalente et globale.

La modification esthétique du paysage visuel est majeure (surtout pour les zones se trouvant derrière la protection). Il est toutefois aujourd'hui courant d'aménager les digues-levées afin de

leur donner un aspect naturel, notamment en faisant appel aux techniques de protection végétale (bio-ingénierie). De plus, le refoulement de la ligne d'eau vers l'amont dû à la restriction de l'écoulement doit être évalué afin de vérifier si cela ne va pas aggraver les aléas d'inondations dans des zones vulnérables.

## 5.9 Construction d'un barrage

Une manière efficace de contrôler les phénomènes hydrauliques sur une rivière est d'y construire un barrage. Ce type de structure a pour but principal l'arrêt définitif des blocs de glace en un point donné de la rivière lors de la débâcle, habituellement en amont d'un secteur à haut risque. C'est le moyen le plus traditionnel et le plus sûr pour contrôler les glaces. Il s'apparente en terme de comportement à l'estacade fixe. Alors que l'estacade fixe ne fait que réduire les courants à l'amont, le barrage crée en plus un réservoir plus ou moins profond qui, en plus de retenir l'eau, peut servir à emmagasiner un grand volume de glace. Évidemment, les coûts de construction sont très élevés et l'impact environnemental sur la rivière est potentiellement important. Ces coûts se justifient seulement par l'ampleur du risque qu'on vise à minimiser, voire éliminer. C'est une question de rapport coût/bénéfice. Les risques associés à un bris de barrage posent des problèmes de conception non négligeables ce qui contribue à accroître les coûts de cette solution. Étant donné ces enjeux, ce n'est pas une solution qui semble intéressante *a priori* pour la rivière Montmorency mais elle a quant même été considérée sommairement.

L'exemple du barrage de Sartigan sur la rivière Chaudière à Saint-Georges de Beauce est un cas classique de structure conçue pour retenir les glaces. Sartigan doit accumuler et retenir jusqu'à la fonte complète, les volumes de glace provenant de la Haute-Chaudière et de ses affluents. Pour cela, il fallait créer un plan d'eau suffisamment grand pour obtenir la formation d'un couvert de glace solide, capable de supporter la poussée des glaces de l'amont (Michel, 1990), l'objectif poursuivi étant alors de créer un obstacle de nature mixte (barrage + couvert de glace) pour arrêter les glaces de la partie supérieure du bassin.

Ce barrage consiste en une structure en béton du type barrage-poids dont la longueur totale, incluant les approches, dépasse les 200 mètres. Sa hauteur est de 12.42 mètres au-dessus du lit de la rivière (Figure 27). Une série de piliers d'un mètre d'épaisseur complète l'ouvrage. Ces piliers sont chapeautés d'un tablier supportant une route (pont-route). Entre les piliers, des grilles ont été installées afin de retenir les glaces et les empêcher d'atteindre le déversoir. La structure a assuré correctement son rôle de protection depuis sa construction.



**Figure 27 : Barrage estacade Sartigan sur la rivière Chaudière à Saint-Georges de Beauce**

La construction d'un ouvrage de retenue « lourd », tel un barrage a été déjà envisagé à quelques reprises sur la rivière Montmorency. En 1978 déjà, Barabé mentionnait cette possibilité (Barabé, 1978). Lors d'une étude plus récente, la firme de consultants BPR mentionnait aussi cette solution (Les Consultants BPR, 1994).

Afin d'obtenir un maximum d'efficacité pour la protection de l'Île-Enchanteresse et des secteurs en aval, un barrage devrait se situer le plus près possible de l'île. Malheureusement, ce choix d'emplacement est difficile étant donné la présence de nombreuses résidences en rive droite et de l'avenue Sainte-Brigitte. Le seul emplacement possible serait plus en amont, à la hauteur de Sainte-Brigitte-de-Laval (Barabé, 1978). La pente obligerait alors la construction d'un ouvrage assez considérable évalué approximativement à 500 000\$ en 1978. Dans une étude datant de 1994, BPR évalue quoique sommairement la construction d'un barrage sur la Montmorency à 10 000 000 \$ (Consultants BPR, 1994). Aucun site n'a cependant été identifié dans cette étude.

Les conséquences environnementales et l'impact sur la rivière seraient évidemment énormes si cette solution était retenue.

### **5.9.1 Tunnel ou canal de dérivation**

La firme BPR dans son étude de 1994 (Les consultants BPR, 1994) suggèrent de créer un tunnel ou un canal de dérivation. Le tunnel (ou le canal) débiterait en amont de l'île Enchanteresse et serait creusé dans la montagne du côté de la rive gauche. Il viendrait se terminer en aval de l'île Enchanteresse.

Cette solution n'a pas été réexaminée dans nos analyses.

## 5.10 Ouvrage de contrôle du débit à l'amont

Pour contrôler et régulariser le débit du cours d'eau ainsi que la température de l'eau, on peut aussi construire et/ou utiliser un barrage en amont vers la tête du bassin. Ce type d'ouvrage est habituellement utilisé pour contrôler les crues en eau libre en faisant appel aux techniques de laminage et d'optimisation (plan de gestion). Les pointes de crues sont alors écrêtées et le surplus d'écoulement est relâché sur une plus longue période ce qui en limite le pouvoir dévastateur. Étant donné que les débâcles et les embâcles subséquents de la rivière Montmorency sont déclenchés par un débit anormalement élevé en hiver ou tôt au printemps, la possibilité de pouvoir contrôler ces épisodes de débit peut représenter une alternative d'intervention. Pour ce faire, des capacités significatives d'emmagasinement et de laminage sont nécessaires.

Un tel ouvrage est disponible sur la rivière Montmorency soit à l'exutoire du lac Des Neiges situé complètement à l'amont du bassin. Il fut autrefois utilisé pour faciliter le transport du bois (la drave) par l'ouverture rapide des vannes d'évacuation (coup d'eau). Cependant, les accès routiers sont fermés durant la période hivernale ce qui en restreint l'utilisation. De plus, sa localisation très à l'amont du bassin donne une assez faible prise sur la gestion du débit du cours d'eau à la hauteur de Sainte-Brigitte de Laval et en aval. L'usage du barrage du lac des Neiges est aujourd'hui de type récréo-touristique (pêche sportive) bien que son accessibilité y demeure très limitée.

Il faudrait alors envisager l'implantation d'un ouvrage plus en aval. Bien que possible, ce type d'intervention n'est pas retenu *a priori* pour la rivière Montmorency à cause de l'impact environnemental significatif, des bénéfices qui ne peuvent être qu'indirects et son rapport coût/bénéfice qui, en plus de sembler faible, n'est associé à aucune garantie d'efficacité.

## 5.11 Aménagements en rivière pour en augmenter l'hydraulicité

On peut réduire les risques de formation d'embâcles en un site donné par des travaux en rivière. Souvent, il s'agit d'enlever des obstructions ou d'élargir ou approfondir la rivière. Dépendant de l'intervention, l'efficacité peut être plus ou moins efficace, le coût peut être élevé ou économique, la durabilité variable et l'impact environnemental important ou négligeable. Ce n'est pas la solution privilégiée dans notre étude mais, en conjonction avec d'autres interventions, ce genre d'intervention pourrait être considéré pour des endroits précis en autant que l'intervention n'est pas majeure. Une contrainte demeure, celle de ne pas transférer les risques dans la cour du voisin comme ce serait le cas avec une intervention de ce type à l'aval de l'Île-Enchanteresse.

## 5.12 Coût des interventions structurelles

Il est difficile (presque impossible) d'estimer précisément les coûts de n'importe quelle solution aux problèmes de la Montmorency à ce stade des analyses. Ici nous allons commencer par considérer le coût des structures proprement dites sans égard aux considérations autres visant,

par exemple, la relocalisation de riverains qu'exigerait l'une au l'autre des solutions. Les données recueillies jusqu'à présent sont plutôt destinées à nous permettre de mieux caractériser les phénomènes que les solutions. Des possibilités et des sites ont par la suite pu être déduits de ces observations. Il est toutefois possible d'avancer les ordres de grandeur suivants que nous avons regroupés au Tableau 14.

- ✍ L'installation d'une estacade fixe près de l'Île-Enchanteresse coûterait, en première estimation entre 700 000 et 800 000\$ (C. Beaulieu, communication personnelle, 2000). Cette valeur devrait être précisée ultérieurement par des calculs faits par la firme de Groupe-Conseil BPR. Bien sûr, une estacade fixe en aval de l'île exige la relocalisation d'un segment important de la population riveraine, incluant celle de la rue des Deux-Rapides;
- ✍ Le coût de construction d'estacades flottantes amovibles est relativement abordable. Il faut toutefois prévoir un montant annuel pour l'entretien et l'installation des structures. Des exemples d'ouvrages de ce type réalisés par la Garde-Côtière Canadienne ou Fleet Technology, un fournisseur spécialisé dans ce domaine, situent les coûts de construction entre 1 500 \$ et 2 000 \$ du mètre de largeur de rivière. Nous pourrions donc évaluer entre 150 000 \$ et 200 000 \$ la réalisation d'une telle structure sur la Montmorency en supposant une largeur de rivière de 100 m., la moitié pour les tronçons plus à l'amont pour lesquels nous figurons 50 m..
- ✍ Selon des chiffres nous ayant été communiqués par (C. Beaulieu, Groupe-Conseil BPR, communication personnelle, 2000), la réalisation d'un seul seuil sans clé (plus bas) coûterait environ 25 000 \$. En supposant la construction d'une série de 20 seuils dans la zone de rapides en amont de l'île Enchanteresse, les coûts pourraient s'élever autour de 500 000 \$; la construction de seuils avec clé permet d'en restreindre le nombre à 10; cependant le coût en est plus élevé et cette solution revient globalement au même en terme de coûts.

Tableau 14 : Tableau comparatif des coûts entre diverses structures prometteuses

Type de structure	Estimé total pour un tronçon type de 100 m de largeur	Coût annuel
Estacade fixe sans seuil (ou clé)	800 000 \$	120 000 \$
Estacade fixe avec seuil (ou clé) <sup>1</sup>	825 000 \$	123 750 \$
Estacade flottante sans seuil	100 000 - 200 000 \$	15 000 - 30 000 \$
Estacade flottante avec seuil <sup>2</sup>	125 000 - 225 000 \$	18 750 - 33 750 \$
Estacade flottante avec filet sous-jacent et seuil <sup>2</sup>	425 000 \$	63 750 \$
Seuils (série de 20 à 25)	500 000 \$	75 000 \$
Seuils avec clé (série de 10 à 15)	500 000 \$	75 000\$
Levée	n/d	n/d
Barrage	10 000 000 \$ <sup>3</sup>	1 500 000 \$
Tunnel ou canal	n/d	n/d

<sup>1</sup> Afin de fournir une première approximation nous avons simplement ajouté le coût de réalisation d'un seuil au prix d'une estacade fixe sans seuil.

<sup>2</sup> Afin de fournir une première approximation nous avons simplement ajouté le coût de réalisation d'une seuil au prix d'une estacade flottante sans seuil.

<sup>3</sup> Basé sur le rapport BPR (1994)

Concernant le coût annuel de tels ouvrages (Tableau 14), nous avons pris en considération leur financement sur une période d'amortissement de 25 ans qui reviendrait à 10% du coût de l'ouvrage en tenant compte des taux d'intérêt actuel et du marché obligataire (M. Rosa, Ville de Beauport, communication personnelle, 2000). Selon la même source, les frais d'entretien, d'installation ou de retrait périodique, le cas échéant, de surveillance et de suivi peuvent s'établir au voisinage de 5% par année pour des ouvrages ou dispositifs relativement stables. En pratique, ces coûts peuvent varier avec la sévérité des événements et ils évoluent en croissant à partir de 1%/an au moment de l'installation.

La prise en considération de ces coûts fera l'objet du prochain chapitre où nous allons également devoir tenir compte des interventions complémentaires comme les relocalisations et les risques résiduels associés aux divers scénarios.

## 6. – Présentation de scénarios remédiateurs - Analyse de risques résiduels

---

### 6.1 Préambule : les pré-requis à toute intervention

Avant de décrire les différents scénarios d'aménagement et/ou de relocalisation qui ont été envisagés, nous croyons important de mettre de l'avant les éléments suivants qui représentent quant à nous des pré-requis à toute solution au problème des embâcles de la rivière Montmorency, soit :

1. Système d'alerte précoce ;
2. Estacades flottantes d'appoint en amont de Sainte-Brigitte-de-Laval.

#### 6.1.1 Système d'alerte précoce

En partant du principe qu'une « personne avertie en vaut deux », il nous semble indispensable que l'on continue à apporter des améliorations au système d'alerte précoce afin de le rendre encore plus efficace et fiable et ceci, quel que soit le scénario envisagé, y compris le *statu quo*, en complément des aménagements structuraux décrits dans les scénarios qui suivent plus loin.

Les prévisions hydro-météorologique et hydrologique, la surveillance automatisée du déclenchement de la débâcle, le suivi des niveaux d'eau sont quelques éléments qui peuvent grandement bénéficier des nouvelles technologies disponibles (modèles prévisionnels, radar météorologique).

Cependant, le déploiement de tels outils d'alerte précoce déborde largement le cadre de la seule rivière Montmorency et son coût dépend de l'envergure et de la sophistication que l'on voudra bien donner au système. Le montant des investissements nécessaires pourra être déterminé suite à des rencontres entre les ministères de la Sécurité Publique, de l'Environnement et les différentes municipalités concernées.

Dans l'analyse de pré-faisabilité, nous avons considéré que cet item affectait de la même façon les coûts quel que soit le scénario. Dans ces circonstances, il n'était pas nécessaire de l'incorporer dans l'analyse comparative des scénarios. C'est un choix conservateur car si le scénario retenu apporte la solution du problème recherchée, son besoin s'estompera avec le

temps, ce qui ne serait pas le cas dans l'hypothèse du maintien du *statu quo*. Cependant, si l'on décidait d'intervenir structurellement pour contrôler les embâcles, le système d'alerte devra continuer d'être opéré durant une assez longue période permettant de confirmer le caractère durable de la technique d'intervention retenue et de se prémunir contre toute défaillance.

### **6.1.2 Estacades flottantes d'appoint**

Dans les différents scénarios présentés plus loin, il sera surtout question d'aménagements structuraux dans les régions immédiatement à l'amont ou en aval de l'Île-Enchanteresse. Toutefois, afin de réduire la quantité de glace dévalant la rivière Montmorency en cas de débâcle, diminuer le volume d'emmagasinement requis pour la contenir derrière les ouvrages, et conséquemment limiter la hauteur des ouvrages et le rehaussement des niveaux d'eau, deux estacades flottantes d'appoint pourraient s'ajouter à toutes les propositions de solution. Deux sites situés respectivement à l'embouchure de la rivière Saint-Adolphe (chaînage 23 + 700; pour situer ces sites d'après ce repérage, voir la Figure 1, page 2) et sur le tronçon principal de la rivière Montmorency immédiatement en amont des grands rapides (chaînage 33 + 000).

Ces deux structures amovibles permettraient de diminuer l'apport de glace. En effet, selon plusieurs personnes de la région, le couvert de glace de la rivière Saint-Adolphe décrocherait et viendrait grossir la quantité de glace descendant la Montmorency lors d'événements majeurs. La seconde estacade flottante, située en amont des grands rapides, retiendrait un tronçon de trois kilomètres de couvert qui s'ajoute naturellement au volume de la débâcle venant ultimement s'accumuler dans les secteurs riverains de Sainte-Brigitte-de-Laval, de Beauport et de Boischatel. L'installation possible d'infrastructures à cet endroit avait d'ailleurs été mentionnée par Barabé (1978).

Nous estimons très sommairement les coûts de réalisation pour les deux estacades flottantes à 200 000 \$, soit 20 000 \$ annuellement comme coût de financement. Il faut aussi compter les frais annuels d'installation, de retrait et d'entretien (5%) qui se montent à 10 000 \$ environ. Ce montant a été fixé selon le coût moyen de réalisation d'estacades flottantes construites ailleurs. Aucune analyse approfondie n'a encore été faite et en fonction des conditions locales de morphologie et de pente, de vitesses de courant et d'accessibilité du cours d'eau, les investissements nécessaires pourraient être rectifiés à la hausse ou à la baisse.

Contrairement au système d'alerte précoce qui n'a pas été chiffré dans aucun des scénarios identifiés, l'installation d'estacades flottantes a été ajoutée à tous les scénarios, sauf le *statu quo*. Un *statu quo* bonifié devrait donc se voir ajouté 30 000\$ pour ces estacades.

## **6.2 Les scénarios identifiés**

Afin de présenter un tableau aussi réaliste que possible des possibilités d'interventions et des coûts et risques résiduels, diverses combinaisons d'interventions administratives et structurelles doivent être envisagées. Nous avons donc pris en considération parmi toutes les hypothèses celles qui présentaient un potentiel ou une garantie raisonnable d'efficacité pour l'ensemble des

tronçons menacés depuis l'Île-Enchanteresse jusqu'à Boischatel. Quand cela était possible, nous avons mis à jour les statistiques en posant comme hypothèse une bonne garantie d'efficacité, ce qui revient la plupart du temps à annuler la probabilité d'occurrence de toutes ou de certaines classes d'événement. Pour établir la rentabilité d'un scénario, les coûts annuels de construction, d'entretien et de suivi ainsi que les coûts des interventions administratives liées aux relocalisations parfois nécessaires ont été additionnés aux risques (le cas échéant) et aux coûts résiduels, le total étant ensuite comparé au *statu quo* qui a déjà fait l'objet d'une analyse détaillée (Chapitre 4, « Analyse de risques – Conditions actuelles » page 37). Les hypothèses particulières à chacun des scénarios seront présentées en temps et lieu. Pour ce qui est du *statu quo*, nous nous contenterons de rappeler le résultat global de l'analyse à la fin de chaque tableau comparatif.

En plus du *statu quo* actuel, les scénarios ou variantes suivantes ont donc été établis, tous comportant l'installation de deux estacades flottantes aux endroits déjà indiqués :

8. **Scénario #1** : Une estacade fixe installée en amont de l'Île-Enchanteresse au site #1 (variante 1.1) ou au site #2 (variante 1.2) qui ne requiert pas ou peu d'intervention administrative (éventuellement, quelques expropriations ou relocalisations);
9. **Scénario #2** : Une estacade flottante dotée d'un filet de câbles sous-jacent au site #1 (variante 2.1) ou au site #2 (variante 2.2) qui ne requiert pas ou peu d'intervention administrative (éventuellement, quelques expropriations ou relocalisations);
10. **Scénario #3** : Une série de seuils dans la zone de grands rapides;
11. **Scénario #4** : Une estacade fixe installée en aval de l'Île-Enchanteresse qui requiert l'expropriation ou la relocalisation massive des riverains de cet endroit et de la rue des Deux-Rapides;
12. **Scénario #5** : Un barrage lourd installé en amont de l'Île-Enchanteresse.

L'analyse suivante n'exclut pas que d'autres scénarios puissent être envisagés par recombinaison des moyens envisagés ou par l'identification d'autres sites propices. Nous croyons cependant que les chiffres fournis dans les chapitres précédents permettront assez aisément de documenter ces solutions sur le plan financier et d'élargir la perspective des interventions possibles.

Les sections suivantes permettront pour chaque scénario (sauf le *statu quo* qui a déjà été analysé et qui servira de référence) de définir les principaux paramètres de l'intervention, d'en identifier les risques résiduels, d'en mesurer les implications techniques, environnementales et sociales, et d'en évaluer la rentabilité.

## 6.3 Scénario #1 : Estacade fixe avec seuil à l'amont de l'Île-Enchanteresse

### 6.3.1 Caractéristiques sommaires de l'intervention

Les estacades fixes avec seuils sont des structures fixes composées de piliers en béton ou en enrochements dont le but est d'arrêter la glace et de former un embâcle stable en amont de la structure pendant que l'eau s'écoule sous la glace, à travers l'amoncellement glace ou encore sur les cotés de la structure, et idéalement par une plaine de débordement exempte d'éléments vulnérables. D'une façon commune, on nomme ce genre d'ouvrage « peigne » par analogie avec cette forme. Pour plus de détails sur ce type de structure voir la section 5.5 du présent rapport.

Deux sites ont déjà été repérés pouvant convenir à l'installation d'un tel ouvrage (voir la section 5.5.4). Le premier (*site #1*) est situé un peu à l'amont du ruisseau Euclide (Chaînage 15 + 300) et le second est situé à quelque 500 m. plus en amont (15 + 700). Un ou deux autres sites un peu plus en amont encore sur la rivière ont été repérés pourraient éventuellement convenir à l'installation d'une structure de type « peigne ». Tous ces sites (repérés ou potentiels) devront être analysés plus profondément. Nous croyons de plus qu'un seuil aidant l'estacade fixe à mieux jouer son rôle devra être incorporé à l'aménagement, et cela peu importe l'endroit où la structure sera construite.

### 6.3.2 Risques résiduels et implications

Pour analyser les risques résiduels, nous avons choisi de considérer l'intervention comme efficace à 100% pour l'ensemble des secteurs situés en aval. Dans ce cas, les risques physiques pour les résidences et les infrastructures, les coûts récurrents d'interventions par les municipalités et les gouvernements ainsi que les coûts des études sont à toute fin pratique annulés.

***Mise en garde***: Cette hypothèse d'efficacité est posée pour les fins de calculs de risque seulement car seule la phase de faisabilité constituant la prochaine étape de la présente étude devrait permettre dans un premier temps d'augmenter notre expertise sur les technologies proposées et fournir de meilleures garanties d'efficacité. À plus long terme, seule l'implantation de prototypes sur le terrain et leur mise à l'épreuve sur une longue période permettra de cheminer vers une solution définitive et fournir les garanties souhaitées.

Dans le cas de la station de pompage de Beauport, notre hypothèse revient à la considérer à l'abri des embâcles majeurs de classe 3 à 5, soit ceux qui lui seraient significativement dommageables à des degrés divers. Il n'est cependant pas impossible que des embâcles locaux et mineurs se forment encore dans les secteurs en aval de l'estacade fixe mais cette fois, le phénomène serait considérablement amoindri en magnitude et en fréquence à cause de la plus grande stabilité du couvert de glace à cet endroit (faibles pentes) et de la longueur réduite du tronçon contribuant à la débâcle<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> Selon nos estimés 120 000 m<sup>3</sup> de glace pour le tronçon compris entre le bief d'aval de l'Île-Enchanteresse et le site des Îlets majoré quelque peu pour tenir compte de la distance additionnelle jusqu'au site d'implantation encore indéterminé, par rapport à 820 000 m<sup>3</sup> alimentant les embâcles du secteur actuellement.

De plus, des analyses restant encore à faire permettront de déterminer si cette solution ne déplacerait pas le problème des embâcles vers l'amont, à savoir dans les secteurs riverains habités de faible densité situés sur environ deux kilomètres en amont des interventions. Le cas échéant, afin de respecter le principe d'équité, certaines résidences, surtout celles situées près de l'ouvrage, nécessiteraient d'être expropriées ou relocalisées en raison de risques accrus pour elles. Pour l'instant, rien ne nous permet d'anticiper une telle conséquence sinon que quelques constructions semblent localisées assez basses près du plan d'eau (moins de cinq mètres d'écart d'altitude) de sorte que toute surélévation de la ligne d'eau au-delà des niveaux extrêmes actuels pourrait leur porter un préjudice indu. La Figure 28 permet de se faire une idée approximative des secteurs qui devront être analysés afin d'en mesurer la vulnérabilité. L'altitude relative des propriétés par rapport au plan d'eau actuel retient l'attention.

Parmi les implications de ce scénario, on doit aussi considérer les impacts écologiques et environnementaux pendant la construction – vs – les techniques de mise en place qui nécessiteront l'usage de machinerie lourde dans le lit du cours d'eau. Par la suite, une fois édifiée, l'ouvrage n'est pas neutre pour la qualité et la disponibilité d'habitats piscicoles. Nous croyons cependant que ses effets seront très limités dans l'espace, soit sur la distance des biefs influencés au niveau des écoulements et de la ligne d'eau (typiquement 100 m. en été), et pas nécessairement négatifs étant donné que de nouvelles zones d'abri (du courant) feront leur apparition en aval de l'ouvrage, derrière le seuil et les piliers, ainsi qu'en amont où l'on verra aussi apparaître un plan d'eau relativement plus calme. Ces sites d'abri peuvent se situer près de veines de dérive d'invertébrés, la source d'alimentation principale pour les salmonidés. Cependant, la structure devra être conçue de manière à ne pas nuire aux mouvements migratoires du poisson, s'il en est, non plus que gêner la circulation des embarcations légères. Dans ce cas, la présence du seuil pourrait même ajouter de l'attrait à certaines pratiques comme le canot-cayak. Toutes ces questions environnementales et récréatives devront être examinées de plus par avis d'experts supportés par des calculs hydrauliques afin de préciser les paramètres exacts près afin d'en préciser

### 6.3.3 Rapport coût bénéfice

L'installation d'une estacade fixe près de l'Île-Enchanteresse coûterait, en première estimation 800 000 \$ (C. Beaulieu, communication personnelle, 2000). Cette valeur devra être précisée par des calculs faits par BPR Groupe-Conseil. La construction d'un seuil est évaluée à 25 000 \$ (C. Beaulieu, communication personnelle, 2000). Les coûts totaux annuels se montent donc à 123 750 \$ en tenant compte des coûts de financement (10%) et des coûts d'entretien (5%). Les coûts éventuels de relocalisations ou d'expropriations dans le bief d'amont n'ont pas été comptabilisés mais devront l'être ultérieurement.

Dans ce contexte, nous avons estimé le coût total de l'intervention combiné aux risques et aux coûts résiduels. Le résultat apparaît au Tableau 15.

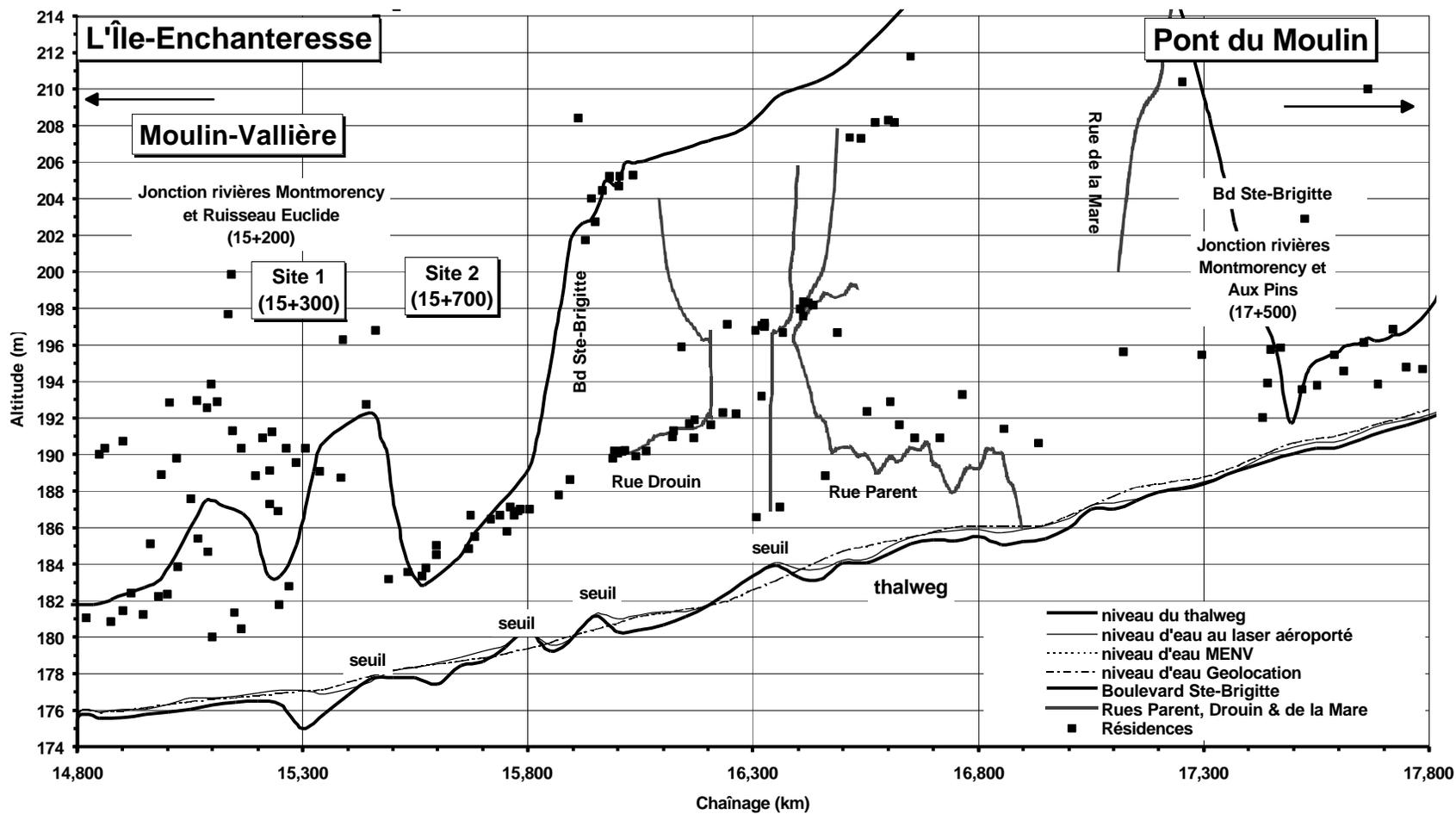


Figure 28 : Profils en long de la rivière dans le bief d'intervention (scénarios #1 et #2) et éléments planimétriques (rues et bâtiments)

**Tableau 15 : Coût des interventions et des risques résiduels moyens annuels pour le scénario #1 (estacade fixe immédiatement à l'amont de l'Île-Enchanteresse et deux estacades flottantes dans le cours supérieur de la rivière)**

Type	Équité			Total
	Riverains	Pouvoirs locaux	Gouvernements	
<b>Santé et sécurité des personnes</b>	Sécurité retrouvée (à valider)	Surveillance constante en période critique (incluse dans le suivi de la solution)		-
<b>Implications écologiques</b>	Anticipées légères (période de construction) ou positives et réversibles, restant à valider			-
<b>Dommages physiques aux résidences et aux infrastructures</b>	Probabilité d'aléa annulée par hypothèse sauf possiblement le bief d'amont immédiat de l'ouvrage			À déterminer selon le risque résiduel
<b>Coûts d'intervention</b>	-	Inclus dans le calcul des coûts d'opération (5%)		-
<b>Dommages d'incertitude</b>	Rétablissement patrimonial Assurabilité ??	-	-	-
<b>Fiscalité municipale et scolaire</b>	Potentiel de rétablissement fiscal ou taxe spéciale de secteur 50 000 \$	-	-	-
<b>Études</b>	-	Incluses dans les coûts de suivi (5%)		
<b>Estacade fixe</b>				123 750 \$
<b>Estacades flottantes</b>				30 000 \$
<b>Coût annuel de la solution</b>		Équité à déterminer		<b>153 750 \$</b>
<b>Statu quo</b>	<b>65 345 \$</b>	<b>101 370 \$</b>	<b>93 726</b>	<b>260 441 \$</b>
<b>Gain annuel possible</b>		-		<b>106 691 \$</b>

En considérant les chiffres présentés, on constate que la solution peut s'avérer avantageuse puisqu'elle dégage une marge de manœuvre de 106 691 \$ pour l'ensemble des intervenants ou victimes. Cette marge permet aussi de rechercher une équité avantageuse pour chacun des groupes d'intervenants. Pour les riverains, le prix à payer est possiblement une taxe de secteur applicable sur une période limitée (10 ans par exemple), calculée sur la base du coût moyen annuel des dommages résidentiels. À plus long terme, l'abolition des dommages d'incertitude

permet d'anticiper un rétablissement de la valeur patrimoniale, donc de la valeur marchande des propriétés et du potentiel fiscal au bénéfice des municipalités et des commissions scolaires, ce qui rendrait alors la taxe de secteur inutile. Dans un tel contexte, les riverains auparavant à risque rejoindraient graduellement le cortège des contribuables ordinaires.

Pour les gouvernements qui ont à intervenir en urgence et administrativement par des indemnités, cette solution peut également s'avérer avantageuse dans la mesure où elle règle un problème à un coût potentiellement plus abordable qu'auparavant en plus d'être prévisible et également réparti dans le temps cette fois, du moins pour une période de 25 ans, soit la période actuarielle retenue pour les calculs.

## **6.4 Scénario #2: Estacade flottante et filet sous-jacent en amont de l'Île-Enchanteresse**

Le deuxième scénario d'intervention retenu concerne l'installation d'une estacade flottante dotée d'un filet de câble sous-jacent près de l'Île-Enchanteresse en amont. Des sites ont déjà été identifiés pour l'installation de ce type de structure dans cette zone.

### **6.4.1 Caractéristiques sommaires de l'intervention**

Les estacades flottantes traditionnelles sont des structures composées de pontons (ou de troncs d'arbres) flottants sur la rivière et reliés entre eux et au fond par des câbles d'acier. Le principe de fonctionnement des estacades flottantes « classiques » est relativement simple. Les glaces qui se forment sur la rivière à l'automne rencontrent et s'accumulent derrière l'ouvrage. Le couvert de glace se forme ainsi plus vite en amont d'une estacade mobile. Lors de la débâcle printanière, les glaces descendant la rivière sont arrêtées par l'épais couvert formé tôt en saison et reposant sur l'estacade flottante.

Dans le cas présent, l'estacade flottante serait pourvue d'un filet suspendu en-dessous reliant les pontons à des ancrages disposés au fond de la rivière. Cette addition a pour but de retenir les glaces cherchant à passer sous les pontons advenant que le couvert solide formé ne réussisse pas à lui seul à stopper entièrement la débâcle. Comme pour l'estacade fixe, l'onde de crue pourra évacuer son trop-plein par la plaine de débordement adjacente. Le principe de fonctionnement des estacades flottantes correspond à la description qui en a été faite à la section 5.6 (Estacades flottantes) du présent rapport.

Deux sites ont déjà été repérés pouvant convenir à l'installation d'un tel dispositif. Ces sites sont les mêmes que dans le cas d'une estacade fixe (voir section 5.6.2 Estacades fixes en amont de l'Île-Enchanteresse). Le premier (site #1) est situé près du ruisseau Euclide (Chaînage 15 + 300). Le second (site #2) est situé à quelque 500 m. plus en amont sur la rivière (Chaînage 15 + 700). Un ou deux autres sites, un peu plus en amont sur la rivière, pourraient aussi éventuellement convenir à l'installation d'une structure flottante. Tous ces sites (repérés ou potentiels) devront être analysés plus profondément.

De nouveau, pour ce scénario, la construction d'un seuil aidant l'estacade à mieux jouer son rôle nous semble essentielle peu importe l'endroit où la structure serait construite.

#### 6.4.2 Risques résiduels et implications

Pour les fins de calcul des risques résiduels, les mêmes remarques que pour le scénario précédent s'appliquent, c'est-à-dire, hypothèse d'efficacité à 100% pour les secteurs en aval, incertitude quant à l'accroissement des risques dans le bief d'amont de l'ouvrage, donc nécessité d'études complémentaires plus approfondies pour évaluer cet aspect particulier.

Une des implications de cette solution concerne les techniques d'installation et de retrait en début et à la fin de la saison hivernale et sa faisabilité dans un bief d'écoulement à forte pente et de faible profondeur, de là l'utilité de pourvoir l'estacade d'un seuil. Des avis pertinents devront être demandés à cet égard à des fournisseurs de ce genre de matériel et des recherches complémentaires devront également être réalisées pour accroître notre expertise sur l'efficacité.

Enfin, nous ne croyons pas *a priori* que cette approche comporte des conséquences adverses du point de vue environnemental étant donné qu'elle n'est mise en œuvre qu'en hiver et que le seuil serait typiquement constitué de matériel alluvionnaire caractéristique de ce qu'on retrouve actuellement dans le lit du cours d'eau, soit un assemblage en profil bas de blocs métriques, de cailloux et galets disposés en vue de rétablir la ligne d'eau sur une courte distance (typiquement 100 m) dans le bief d'amont, et de concentrer l'écoulement dans une ou des ouvertures pratiquées dans la structure. Cette configuration ne devrait pas nuire aux comportements migratoires du poisson, non plus que de nuire à la circulation des embarcations légères. Dans certains cas, l'habitat du poisson pourrait se voir favorisé par l'apparition de zones d'abri du courant en aval de la structure et de zones plus calmes en amont. Des avis d'experts devront être obtenus pour préciser les implications bio-géomorphologiques de cette approche.

#### 6.4.3 Rapport coût-bénéfice

L'installation d'une estacade flottante avec filet de câbles près de l'île Enchanteresse est difficilement évaluable étant donné le peu d'exemples de ce type déjà réalisés. Nous estimons son coût à 400 000\$. Cette valeur pourra être modifiée en fonction des résultats des analyses. La construction d'un seuil est évaluée à 25 000\$ (C. Beaulieu, communication personnelle, 2000). Le Tableau 16 résume les divers éléments de risques résiduels et de coûts reliés à ce scénario.

En résumé, ce scénario permet de dégager une marge de manœuvre de 166 691 \$ par rapport au *statu quo* ce qui représente une possibilité très attrayante *a priori*. Cependant, ce scénario nécessite plusieurs validations techniques, environnementales, sociales et fiscales.

**Tableau 16: Coût des interventions et des risques résiduels annuels moyens pour le scénario #2 (estacade flottante munie de filet à l'amont de l'île-Enchanteresse et estacades flottantes d'appoint dans le secteur d'amont)**

Type	Équité			Total
	Riverains	Pouvoirs locaux	Gouvernements	
<b>Santé et sécurité des personnes</b>	Sécurité retrouvée (à valider)	Surveillance constante en période critique (incluse dans le suivi de la solution)		-
<b>Implications écologiques</b>	Anticipées légères ou positives et à valider			-
<b>Dommages physiques aux résidences et aux infrastructures</b>	Probabilité d'aléa annulée sauf possiblement le bief d'amont immédiat du dispositif	À déterminer selon le risque résiduel		-
<b>Coûts d'intervention</b>	-	Inclus dans le calcul des coûts d'opération (5%)	-	-
<b>Dommages d'incertitude</b>	Rétablissement patrimonial Assurabilité ??		-	-
<b>Fiscalité municipale et scolaire</b>	Potentiel de rétablissement fiscal ou taxe spéciale de secteur	-	-	-
<b>Études</b>	-	Incluses dans les coûts de suivi	-	-
<b>Estacade flottante principale</b>				63 750 \$
<b>Estacades flottantes secondaires</b>				30 000 \$
<b>Coût annuel de la solution</b>		Équité à déterminer		<b>93 750 \$</b>
<b>Statu quo</b>	<b>65 345 \$</b>	<b>101 370 \$</b>	<b>93 726</b>	<b>260 441 \$</b>
<b>Gain annuel possible</b>		-		<b>166 691 \$</b>

## 6.5 Scénario #3: Une série de seuils dans la zone des grands rapides

Le troisième scénario d'intervention dont nous discuterons aborde la réalisation d'une série de seuils dans la zone des grands rapides qui s'étendent sur plus de 15 kilomètres en amont de l'Île-Enchanteresse (jusqu'au chaînage 30 + 000).

### 6.5.1 Caractéristiques sommaires de l'intervention

Dans un contexte de contrôle des embâcles, une série de seuils en enrochements peut représenter une alternative appropriée. Traditionnellement utilisée pour favoriser les habitats piscicoles (le saumon, notamment), la présence d'un seuil dans un cours d'eau crée une section de contrôle hydraulique. En amont du seuil, la ligne d'eau se redresse sur une distance limitée par la valeur de la pente générale du lit. Si plusieurs de ces ouvrages sont aménagés à intervalles réguliers dans une zone de rapides, nous verrons apparaître une succession de paliers intercalés entre les seuils. Ces paliers d'eau calme (mouilles) favorisent la création de couverts de glace solides, contrairement aux zones de rapides où le couvert est fragile, voire inexistant. De plus, la production de frasil, qui se fait surtout dans les rapides, s'en trouve réduite d'autant. La description des seuils est faite à la section 5.7 (Les seuils) du présent rapport. En implantant une série de seuils, le but est de répartir sur plusieurs ouvrages la tâche de retenir la glace en dévalaison au lieu de la concentrer en un seul endroit.

La rivière Montmorency semble être un endroit propice pour de tels aménagements, typiquement à intervalle de un km environ ou un peu moins. Leur hauteur pouvant être typiquement de 1-2 m. (sans clé, 2-3 m avec clé) avec une section centrale surbaissée, et la pente générale du cours d'eau étant supérieure à 5 m/km, nous croyons que le refoulement du plan d'eau ne devrait pas dépasser typiquement 100 m vers l'amont de chaque seuil sans clé. Dans certains cas, il suffirait simplement de renforcer le profil de seuils naturels existants. La zone de grands rapides (environ 15 km) s'étendant en amont de l'Île-Enchanteresse jusqu'à 3 km en aval du pont du Moulin pourrait être ainsi aménagée. La création de paliers, renforcerait le couvert, fragile à cet endroit, et diminuerait l'accumulation de frasil en aval de l'Île-Enchanteresse. La diminution de la quantité de frasil produit aurait aussi un impact bénéfique. Présentement, le frasil généré par les rapides s'accumule principalement à la hauteur de la rue des Deux-Rapides.

Si nous croyons que la solution puisse convenir à éliminer les embâcles de magnitude inférieure (1 à 4 selon notre classification), il subsiste encore un doute quant aux événements extrêmes (4-5) qui se produisent entre autres lorsque la rivière atteint un débit élevé en hiver et que la glace est poussée inexorablement vers l'aval par la puissance du courant. Le cas échéant, il faut s'assurer que l'évacuation de l'eau puisse se faire efficacement par le déversoir central, en travers des enrochements perméables ou par-dessus la structure tout en retenant la glace emmagasinée. Si le niveau d'eau devait s'élever si haut que le seuil s'en trouve noyé et n'exerce plus de contrôle hydraulique, l'embâcle de ce bief particulier se déplacerait vers le bief d'aval et viendrait accroître la pression sur le seuil suivant, et ainsi de suite.

La présence d'affluents (sources et ruisseaux) plus chauds tout le long du tronçon pose aussi un problème potentiel sur lequel il faudra se pencher si cette solution devait ultérieurement retenir

l'attention. Dans ce cas, c'est la formation du couvert dans le bief affecté qui pourrait s'en trouver affectée et diminuer l'efficacité de l'aménagement.

### 6.5.2 Risques résiduels et implications

Les remarques introduites au scénario #1 concernant le bien-fondé de la solution s'appliquent encore ici, c'est-à-dire que, pour être retenue, celle-ci devra démontrer les mêmes qualités que les premiers scénarios quant à son efficacité notamment, lorsque la débâcle se produit avec un débit assez élevé. Pour la suite de l'analyse, nous avons posé cette hypothèse et les calculs ont été faits en conséquence.

Sur le plan environnemental, l'aménagement de tels seuils implique des manœuvres de machinerie lourde dans le lit mineur du cours d'eau et avec les impacts environnementaux associés. Ceux-ci sont cependant transitoires, à court terme et immédiatement réversibles. Des précautions rigoureuses peuvent adoptées afin de minimiser ces impacts durant la construction.

À long terme, l'installation de seuils entraîne aussi une transformation morphologique du cours d'eau définitive bien que réversible. Quoique très peu de points de vue permettent actuellement d'admirer les paysages de la rivière Montmorency sauf en aval du bassin, la disparition d'un pourcentage des rapides au profit de paliers causerait un changement significatif au niveau visuel du moins pour les utilisateurs du cours d'eau dans les secteurs habités. Il est cependant possible de concevoir des aménagements qui permettraient les intégrer aussi naturellement que possible dans la trame visuelle du cours d'eau.

Sur le plan écologique, nous avons vu que ce type d'aménagement a traditionnellement été utilisé pour favoriser les habitats piscicoles, notamment les salmonidés. L'expérience démontre en effet que ces changements peuvent s'avérer favorables en diversifiant les *faciès* d'écoulement. Est-ce que la morphologie particulière des seuils proposés permettrait d'atteindre simultanément ce but et d'ajouter de la valeur à leur présence? La disponibilité d'habitats dans la rivière Montmorency pourrait-elle bénéficier de tels aménagements et entraîner une activité récréo-touristique accrue? La réponse à ces question pourrait prendre la forme d'avis d'experts en aménagements piscicoles et prendre en considération la valeur d'habitat actuelle de la rivière Montmorency où la truite mouchetée est omniprésente mais demeure faible en densité.

Enfin, la pratique d'activités nautiques tel le canot-kayak pourrait être altérée par la présence de seuils. S'agirait-il de changements bénéfiques ou indésirables? Nous ne sommes pas encore en mesure de nous prononcer sur ce point particulier et de nouveau, des consultations seront nécessaires avec les milieux concernés pour obtenir des réponses satisfaisantes à ces questions.

### 6.5.3 Rapport coût-bénéfice

Selon Claude Beaulieu (BPR consultants) la construction d'un seuil coûterait 25 000\$. Nous estimons la quantité de seuils nécessaires à une vingtaine. Une première estimation des coûts totaux nous amènerait donc à avancer un total de 500 000 \$.

**Tableau 17 : Coût des interventions et des risques résiduels pour le scénario #3  
(série de seuils dans la zone des grands rapides  
et estacades flottantes d'appoint dans le secteur d'amont)**

Type	Équité			Total/année
	Riverains	Pouvoirs locaux	Gouvernements	
<b>Santé et sécurité des personnes</b>	Sécurité retrouvée	Surveillance constante en période critique (incluse dans le suivi de la solution)		-
<b>Implications écologiques et visuelles</b>	Anticipées légères, réversibles et pouvant être atténuées, ou encore positives (à valider)			-
<b>Dommages physiques aux résidences et aux infrastructures</b>	Probabilité d'aléa annulée par hypothèse	À déterminer selon le risque résiduel		-
<b>Coûts d'intervention</b>	-	Inclus dans le calcul des coûts d'opération (5%)		-
<b>Dommages d'incertitude</b>	Rétablissement patrimonial Assurabilité ??	-	-	-
<b>Fiscalité municipale et scolaire</b>	Potentiel de rétablissement fiscal ou taxe de secteur	-	-	-
<b>Études</b>	-	Incluses dans les coûts de suivi		-
<b>Série de seuils sans clé</b>	-	-	-	75 000 \$
<b>Estacades flottantes secondaires</b>	-	-	-	30 000 \$
<b>Coût annuel de la solution</b>	Équité à déterminer			<b>105 000 \$</b>
<b>Statu quo</b>	<b>65 345 \$</b>	<b>101 370 \$</b>	<b>93 726</b>	<b>260 441 \$</b>
<b>Gain annuel possible</b>	-	-	-	<b>155 441 \$</b>

Concernant les interventions d'urgence, celles-ci seraient dorénavant inutile, du moins, elles changeraient de forme puisqu'elles deviendraient associées à l'opération, l'entretien et au suivi des ouvrages implantés. Nous avons considéré que 5% du coût des ouvrages serait nécessaire pour cette fonction. Tous les autres items considérés dans l'analyse des premiers scénarios reçoivent le même traitement, entre autres pour les dommages d'incertitude, l'impact fiscal. Seul

le risque résiduel potentiel associé à présence de résidences dans le bief d'amont des ouvrages peut différer étant donné que l'intervention serait distribuée sur l'ensemble du cours d'eau au lieu d'être concentrée immédiatement en amont de l'Île-Enchanteresse. Ces aspects nécessiteront d'être examinés plus à fond si cette solution suscitait ultérieurement l'intérêt.

Le Tableau 17 résume les divers éléments de l'analyse de risques résiduels, des coûts et bénéfices anticipés pour ce scénario. On y constate que, par rapport à la situation actuelle, le scénario dégagerait une marge de manœuvre de plus de 155 000 \$ en moyenne annuellement et représenterait l'alternative la plus avantageuse sur le plan économique. Cependant, des doutes sérieux sur le plan de l'efficacité anticipée vis-à-vis des événements de plus grande magnitude, soit les plus dévastateurs, subsistent encore. De plus, si les considérations environnementales et écologiques ouvrent certaines perspectives favorables, elles soulèvent aussi plusieurs questions non-résolues et nous croyons que l'adoption d'une telle solution nécessitera de sérieuses consultations de tous les milieux concernés par l'intégrité de ce cours d'eau demeuré jusqu'à ce jour dans un état pratiquement naturel malgré la proximité d'une région fortement urbanisée.

## **6.6 Scénario 4 : Estacade fixe à l'aval de l'Île-Enchanteresse, expropriation ou relocalisation massives**

### **6.6.1 Caractéristiques sommaires de l'intervention**

Nous avons considéré que sur le plan purement technique, l'endroit idéal pour installer une estacade fixe serait justement l'endroit où la probabilité est actuellement maximale que s'y produise des embâcles, soit immédiatement en aval de l'Île-Enchanteresse. Plusieurs sites potentiels peuvent être exploités en fonction des meilleures possibilités d'évacuation latérale du trop-plein de débit dans la plaine de débordement omniprésente dans le secteur. Comme nous l'avons déjà mentionné au début du chapitre, nous recommandons également deux estacades flottantes, l'une à la confluence de la rivière Saint-Adolphe sur la rivière Montmorency et l'autre à 3 km en aval du pont du Moulin (chaînage 33 + 000).

Bien sûr, étant donnée la très grande vulnérabilité résidentielle de l'endroit, soit sur l'île elle-même et dans le secteur de la rue des Deux-Rapides, une relocalisation massive de ces secteurs est requise dans l'éventualité de cette solution. En effet, on y compte au minimum 111 propriétés directement menacées sans compter les chalets et roulottes, ainsi que celles qui sans être immédiatement inondables (plus hautes en altitude), subiraient tout de même des inconvénients majeurs, c'est-à-dire, les évacuations très fréquentes et les dommages d'incertitude.

On pourrait développer un peu plus ici le scénario de la relocalisation de ces secteurs en leur accordant une nouvelle vocation, par exemple, le récréo-tourisme ou le développement d'un parc thématique naturel dédié à l'interprétation des embâcles l'hiver et le printemps et utilisé en été pour des activités récréatives légères par exemple, un relais cyclo-touristique, un camping public ou sauvage. Cet aspect déborde toutefois le cadre de notre mandat. Mentionnons cependant qu'une telle perspective mériterait d'être examinée étant donné qu'il n'existe pas à notre connaissance de telle infrastructure touristique ailleurs au Canada.

Par contre, et c'est une évidence, il faudrait prendre garde de rétablir en ces endroits un potentiel de vulnérabilité qui contribuerait à restaurer le risque qu'on avait voulu annihiler par la construction d'estacades.

### 6.6.2 Risques résiduels et coûts d'intervention

Étant donné que la solution provoquerait les embâcles sur les sites IA et DR mentionnés précédemment dans l'étude, toute la probabilité d'embâcles s'y trouverait dorénavant concentrée laissant *par hypothèse* les autres secteurs en aval exempts de tout aléa majeur. Notons ici qu'à l'instar des autres scénarios précédemment analysés, des embâcles alimentés localement par la débâcle du couvert de glace compris entre la structure et le secteur des Îlets sont encore possibles mais leur magnitude demeurerait très réduite par rapport à la situation actuelle. De plus, leur fréquence aussi serait considérablement réduite étant donné que ce couvert tant naturellement à fondre en place ou à s'affaiblir avant que la crue printanière du bassin montagneux de la Montmorency ne se produise.

Vus sous l'angle mathématique du risque, les secteurs en aval de la rue des Deux-Rapides se retrouveraient ainsi totalement sécuritaires (*toujours par hypothèse*), du moins par rapport aux embâcles car il subsistera toujours des risques reliés aux inondations à l'eau libre qui semblent cependant beaucoup moins importants que les premiers. De même, les deux secteurs qui absorberaient tous les embâcles futurs ne présenteraient plus de risques puisque le potentiel de vulnérabilité serait retiré du secteur. Donc, en considérant la rubrique « dommages physiques », les items sont annulés.

Considérons les autres éléments. D'abord, les interventions d'urgence. Celles-ci seraient également annulées (*par hypothèse*), du moins, elles changeraient de forme puisque le cas échéant, elles ne seraient associées qu'à l'opération, l'entretien et le suivi des ouvrages implantés. Nous avons considéré que 5% du coût des ouvrages serait nécessaire pour cette fonction.

L'aspect fiscal est plus difficile à considérer puisqu'il implique plusieurs facteurs dont les principaux sont:

1. La portée (extension spatiale) de l'expropriation ou de la relocalisation;
2. La formule de compensation pour la relocalisation et/ou l'expropriation des résidences visées;
3. Le taux de relocalisation dans le territoire de la municipalité de Sainte-Brigitte-de-Laval;
4. La valeur future des propriétés relocalisées ou reconstruites sur le territoire;
5. La formule de financement de l'opération;
6. Le potentiel de mise en valeur à d'autres fins du territoire sécurisé.

Une telle étude est potentiellement complexe et comme nous ne recherchons dans un premier temps qu'un ordre de grandeur, nous avons donc posé quelques hypothèses qui demeureront, bien sûr, sujettes à discussion.

1. L'expropriation ou la relocalisation devrait comprendre toutes les propriétés de l'Île-Enchanteresse et celles de la rue des Deux-Rapides, incluant celles qui ne seraient pas menacées par les dommages mais qui devraient subir les lourds inconvénients des évacuations fréquentes ainsi que les dommages d'incertitudes qui seraient aggravés; nous nous en sommes cependant tenu à celles directement menacées par les aléas;
2. La formule de compensation se situe au minimum au niveau de la valeur marchande actuelle inscrite au rôle d'évaluation et au maximum à une valeur intermédiaire entre la première et la valeur de remplacement, soit la valeur de parité que nous avons située par hypothèse à mi-chemin entre les deux premières. Toutefois, les politiques gouvernementales actuelles à cet égard sont de compenser la valeur au rôle seulement. Selon M. Rosa de la Ville de Beauport (communication personnelle, 2000), on doit également prendre en compte des frais d'administration de l'ordre de 7000\$ par dossier traité pour la Municipalité et de 10 000\$ pour les coûts de relocalisation du côté du propriétaire (déménagement, réinstallation, administration), frais pris en charge par les fonds publics;
3. De même nous avons pris en considération un taux de relocalisation à 50% dans le même territoire, taux qui pourrait être plus élevé si un lotissement avantageusement localisé était réalisé au compte de la Municipalité et mis à disposition des résidents relocalisés à un coût avantageux, ce qui implique évidemment des coûts additionnels, hypothèse que nous n'avons pas voulu rendre en compte ici. Nous en restons donc à un taux de relocalisation intra-municipal de 50% dans des secteurs déjà pourvus des services de base livrés aux autres contribuables de la Municipalité;
4. Nous avons alloué aux futures résidences relocalisées ou reconstruites une valeur correspondant à la valeur de remplacement actuelle afin de tenir compte de leur valeur réelle une fois implantées dans un secteur homogène exempt de tout risque;
5. Concernant la formule de financement, nous avons comme pour les ouvrages, appliqué un taux de 10% par année qui tient compte des taux d'intérêt actuels et du marché obligataire;
6. Nous n'avons pas pris en compte le potentiel de mise en valeur additionnel bien que cette possibilité puisse se réaliser.

Avec ces hypothèses, nous avons obtenu les chiffres présentés au Tableau 18 et au Tableau 19 qui présentent respectivement les coûts de financement globaux et unitaires pour relocaliser et exproprier les riverains situés dans le rayon d'influence de l'estacade fixe, ainsi que l'impact fiscal pour les municipalités de Sainte-Brigitte-de-Laval et de Beauport en fonction des différents secteurs riverains.

**Tableau 18 : Coûts annuels associés à la relocalisation-expropriation des secteurs retenus pour l'installation d'une estacade fixe en aval de l'Île-Enchanteresse (rue des Deux-Rapides)**

Secteur	Valeur de parité	Financement	Coûts unitaires	Total /secteur
Île-Enchanteresse	4 390 832 \$	439 083 \$	158 100 \$	597 183 \$
Deux-Rapides	932 921 \$	93 292 \$	30 600 \$	123 892 \$
<b>Total</b>	<b>5 323 753 \$</b>	<b>532 375 \$</b>	<b>188 700 \$</b>	<b>721 075 \$</b>

**Tableau 19 : Analyse de l'aspect fiscal relié au scénario #4  
(estacade fixe en aval de l'Île-Enchanteresse)**

Secteur	Perte fiscale annuelle sur les sites	Gain fiscal par relocalisation à 50% sur le même territoire	Potentiel de rétablissement du potentiel fiscal	Bilan fiscal net
<b>Sainte-Brigitte-de-Laval</b>				
Île-Enchanteresse	(34 660) \$	28 883 \$	-	(5 777) \$
Deux-Rapides	(7 364) \$	6137 \$	-	(1 227) \$
Côte-du-Lac	-	-	4602 \$	4602 \$
<b>Sous-total</b>	<b>(42 024) \$</b>	<b>35 020 \$</b>	<b>4602 \$</b>	<b>2 402 \$</b>
<b>Beauport</b>				
Rue Bocage	-	-	5171 \$	5171 \$
Des Îlets	-	-	9387 \$	9387 \$
Trois-Saults	-	-	2200 \$	2200 \$
<b>Sous-total</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>16 757 \$</b>
<b>Total</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>14 355 \$</b>

L'examen de ces tableaux révèle que l'aspect relocalisation-expropriation du scénario représente des coûts annuels très importants, soit **721 075 \$** pour les secteurs de l'Île-Enchanteresse et de la rue des Deux-Rapides réunis. D'autre part, la Municipalité de Sainte-Brigitte-de-Laval doit également envisager dans un tel cas une perte fiscale annuelle voisinant 2400 \$ alors que Beauport peut anticiper un gain fiscal récurrent de 14 355 \$ relié à la sécurisation de ses secteurs résidentiels sans compter sa station de pompage.

Dans le cas de la station de pompage de Beauport, nous retenons ici l'hypothèse de traitement des risques résiduels retenue pour le scénario #1, c'est-à-dire, sécurité par rapport à des embâcles majeurs de classe 3 à 5 mais vulnérabilité éventuelle par rapport à des embâcles locaux et mineurs formés dans les secteurs en aval de l'estacade fixe avec un potentiel d'accumulation de 120 000 m<sup>3</sup> selon nos estimés, par rapport à 820 000 m<sup>3</sup> fournissant les embâcles du secteur à l'amont de l'intervention.

Concernant les autres implications techniques et environnementales, nous renvoyons le lecteur à celles introduites lors du scénario #1.

### 6.6.3 Rapport coût bénéfice

Dans ce contexte, nous avons estimé le coût total de l'intervention combiné aux risques et aux coûts résiduels. Le résultat apparaît au Tableau 20.

Tableau 20 : Coût des interventions et des risques résiduels pour le scénario #4 (estacade fixe à l'aval de l'Île-Enchanteresse et estacades flottantes d'appoint dans le secteur d'amont)

Type	Équité			Total
	Riverains	Pouvoirs locaux	Gouvernements	
<b>Santé et sécurité des personnes</b>	Sécurité retrouvée	Surveillance constante en période critique (incluse dans le suivi de la solution)		-
<b>Implications écologiques</b>	Anticipées légères (période de construction) ou positives et réversibles, restant à valider			-
<b>Dommages physiques aux résidences et aux infrastructures</b>	1. Probabilité d'aléa problématique annulée en aval de l'ouvrage principal 2. Potentiel de vulnérabilité relocalisé ou exproprié à l'Île-Enchanteresse et dans la rue des Deux-Rapides			-
<b>Coûts d'intervention</b>	-	Inclus dans le calcul des coûts d'opération (5%)		-
<b>Dommages d'incertitude</b>	Rétablissement patrimonial en aval Assurabilité ??	-	-	-
<b>Fiscalité municipale et scolaire</b>	1. Potentiel de rétablissement fiscal ou taxe spéciale de secteur limité aux résidences à l'aval 2. Perte fiscale partielle ou totale pour les secteurs à l'amont 3. Bilan positif de 14 355 \$ p/r au <i>statu quo</i>			(14 355 \$)
<b>Études</b>	-	Incluses dans les coûts de suivi (5%)		-
<b>Relocalisations</b>	-	-	-	<b>721 075 \$</b>
<b>Ouvrages</b>				<b>153 750 \$</b>
<b>Coût annuel de la solution</b>		Équité à déterminer		<b>860 470 \$</b>
<i>Statu quo</i>	<b>65 345 \$</b>	<b>101 370 \$</b>	<b>93 726</b>	<b>260 441 \$</b>
<b>Coût additionnel possible</b>		-	-	<b>(600 029) \$</b>

Dans ce tableau, le coût annuel d'immobilisation des ouvrages s'établit à 153 750 \$ représentant le financement et l'opération des trois estacades prévues. Le bilan de cette solution représenterait un coût additionnel de plus de 600 000 \$ par rapport au *statu quo*. Par contre, une relocalisation

des secteurs riverains permettrait d'éliminer les risques d'inondation à l'eau libre dans ce secteur qui sans être dominants par rapport aux embâcles n'en demeurent pas moins significatifs. Compte tenu des coûts économiques et sociaux considérables que cette solution représente, des difficultés majeures de réalisation pour les administrations publiques et malgré les excellentes garanties de résultat qu'elle offre, les gains additionnels par rapport aux risques d'inondation à l'eau libre ainsi que le potentiel de reconversion aux activités récréo-touristiques des secteurs riverains concernés qui n'ont pas été quantifiés, nous croyons que cette solution ne devrait être retenue pour les études ultérieures que dans un contexte politique favorable à cette approche.

## 6.7 Scénario #5 : Barrage lourd en amont de l'Île-Enchanteresse

Ce scénario a été écarté *a priori* à cause de son coût disproportionné par rapport au *statu quo* qui est sensiblement comparable sinon supérieur au scénario précédent. De plus, les conséquences environnementales seraient majeures pour l'intégrité écologique du cours d'eau en plus de comporter des éléments de relocalisation potentiel dans le bief d'amont de l'ouvrage. Par contre, un tel ouvrage aurait l'avantage de comporter des capacités d'emménagement permettant de régulariser les débits d'étiage du cours d'eau en été en plus de représenter un certain potentiel récréo-touristique à la même époque de l'année. À notre avis, ces avantages mineurs ne justifient pas à eux seuls les coûts additionnels pour régler le problème des inondations par embâcles de la rivière Montmorency.

## 6.8 Résumé des analyses des scénarios

Le Tableau 21 résume la démarche du présent chapitre pour ce qui est des coûts comparatifs d'intervention par rapport au *statu quo*. On y constate que ce sont les trois premiers scénarios qui offrent une perspective économiquement avantageuse par rapport au maintien du *statu quo*. Les scénarios #4 et #5 peuvent difficilement se justifier à partir des coûts actuels. Par contre, la solution #4 (estacade en aval de l'Île-Enchanteresse) est celle offrant les meilleures garanties tant sur le plan technique qu'environnemental puisqu'elle ne fait que consolider une situation de fait actuelle. Étant donné l'écart défavorable des coûts par rapport au *statu quo*, seul un contexte politique favorable à cette solution pourrait favoriser ce scénario.

Pour ce qui est des interventions légères (#1 à #3), celles-ci n'ont pas toutes les mêmes mérites et représentent des possibilités à valider sur le plan technique. Nous rappelons ici qu'aucun protocole d'étude en laboratoire ou numérique ne permet dans l'état actuel de nos connaissances de prouver l'efficacité à 100% des interventions proposées. Seul un cheminement empirique et une mise à l'épreuve sur le terrain (prototypes) permettra à long terme d'acquiescer cette certitude. Nous croyons cependant que l'estacade fixe à l'amont de l'Île-Enchanteresse est celle qui a le plus de chance de conduire à des résultats satisfaisants dans le contexte particulier des fortes pentes de la rivière Montmorency. Les autres possibilités devront cependant être analysées plus à fond afin d'en explorer le potentiel. Des recommandations seront formulées à cet égard pour la phase II de faisabilité.

Par ailleurs, la résolution du problème des embâcles par l'un ou l'autre de ces scénarios soulève quelques questions importantes quant aux risques résiduels et aux impacts environnementaux. Dans le premier cas, le bief aménagé pour contenir les glaces pourrait bien voir aggraver les risques par rapport à la situation actuelle ce qui pourrait nécessiter quelques relocalisations, mais rien en comparaison du scénario #4 qui prévoit la relocalisation de toute l'Île-Enchanteresse et de la rue des Deux Rapides. Quant aux impacts environnementaux, nous ne croyons pas qu'ils soient très importants et selon des avis préliminaires, certains pourraient même s'avérer positifs pour les habitats piscicoles. Mais il ne nous appartient pas d'en juger et les processus consultatifs statutaires prévus par la loi sur la Qualité de l'Environnement devront être mis en branle pour construire les consensus nécessaires à la mise en œuvre de la solution retenue, le cas échéant.

**Tableau 21 : Résumé de l'analyse coûts-bénéfices moyens annuels pour l'ensemble des scénarios analysés**

Scénario	Coût annuel de la solution	Comparaison par rapport au <i>statu quo</i>
<i>Statu quo</i>	260 441 \$	-
<b>Scénario # 1</b> Estacade fixe en amont de l'Île-Enchanteresse et estacades d'appoint en amont de Sainte-Brigitte-de-Laval	153 750 \$	106 691\$
<b>Scénario # 2</b> Estacade flottante en amont de l'Île-Enchanteresse et estacades d'appoint en amont de Sainte-Brigitte-de-Laval	93 750 \$	166 691 \$
<b>Scénario # 3</b> Série de seuils en amont de l'Île-Enchanteresse et estacades d'appoint en amont de Sainte-Brigitte-de-Laval	105 000 \$	155 441 \$
<b>Scénario # 4</b> Estacade fixe en aval de l'Île-Enchanteresse, relocalisations et estacades d'appoint en amont de Sainte-Brigitte-de-Laval	860 470 \$	(600 029) \$
<b>Scénario # 5</b> Barrage lourd en amont de l'Île-Enchanteresse	Typiquement 1,5M\$	(1,25M\$)

---

## 7. Conclusions et recommandations

---

Étant donné les nombreux riverains soumis au risque d'inondation par embâcles sur la rivière Montmorency et la présence d'une station de pompage alimentant 90 000 personnes en eau potable, il est important de tenter de résoudre ce problème, non seulement à cause des coûts des dommages, mais aussi à cause des coûts sociaux et des dommages d'incertitude que la situation présente occasionne. Si la mise en œuvre d'une solution doit s'effectuer dans un climat de partenariat et demeurer équitable pour tous les intervenants impliqués dans cette problématique, elle doit toutefois éviter de causer des impacts environnementaux négatifs à ce cours d'eau demeuré très près de son état naturel jusqu'à aujourd'hui. Suite aux visites sur le terrain et à l'évaluation en phase de pré-faisabilité des différents aspects de la problématique, nous croyons sérieusement envisageable la réalisation d'une solution technique économiquement viable sur ce cours d'eau.

### 7.1 Sur la méthodologie

Ce projet comportait plusieurs aspects méthodologiques innovateurs pouvant s'avérer utiles pour d'autres problématiques similaires. Nous les faisons d'abord ressortir ci-après.

Premièrement, la revue de données existantes fournies par les divers partenaires du projet et la campagne de terrain réalisée au cours de l'hiver 1999-2000 nous ont permis de constituer un vaste recueil d'informations sur les embâcles de la rivière Montmorency. Nous avons aussi pu valider les observations de plusieurs personnes ayant à intervenir sur le cours d'eau (non-homogénéité dans l'épaisseur du couvert, présence importante de frasil, etc.). Malgré l'hétérogénéité des informations obtenues de sources diverses et l'incertitude inhérente qui les caractérise, une base de données informelle échelonnée sur 54 ans a pu être constituée et celle-ci démontre la faisabilité de mettre en place une véritable base de données officielle pour l'ensemble des cours d'eau subissant ce genre de risque, à condition bien sûr que le même effort de caractérisation y ait été réalisé.

L'analyse des conséquences actuelles ou potentielles de plus de 25 événements distincts (excluant 2000-2001) à l'aide d'une méthode permettant de relier leur potentiel dévastateur à une probabilité empirique à la fois événementielle et sectorielle a permis d'évaluer quantitativement le risque annuel moyen de dommages pour l'ensemble des secteurs menacés. L'approche tient compte du niveau de vulnérabilité de chaque secteur au niveau résidentiel ou de ses infrastructures. Par sa simplicité, la méthode comporte des incertitudes plus importantes que celle appliquée pour les inondations à l'eau libre qui peut compter sur des séries hydrologiques

établies rigoureusement. Cependant, elle a le mérite de jeter un éclairage nouveau et objectif sur les risques de dommages.

La méthode de calcul des risques, en plus d'innover sur le plan statistique a aussi permis de mettre de l'avant des principes d'équité permettant d'identifier dès le départ la ventilation des coûts des dommages et des interventions entre les divers intervenants qui ont à les subir ou à les appliquer à divers titres. C'est ainsi que la part des risques prise en charge par les riverains, les diverses municipalités, les instances régionales et gouvernementales, voire par les Commissions scolaires a pu être explicitée. Des rubriques additionnelles de dommages ont pu être définies, notamment ceux associés aux risques d'incertitude qui se traduisent en manque à gagner fiscal et en pertes patrimoniales pour les riverains. Même les coûts des études consécutives aux événements de magnitude plus importante ont été considérés.

Étant donné l'importance stratégique de disposer d'une topographie fiable pour évaluer les possibilités d'implantation de solutions techniques structurelles et évaluer les risques de dommages, l'étude a permis de mettre à profit pour la première fois dans un contexte de risques d'embâcles des jeux de données massifs obtenus par la méthode de caractérisation par balayage laser aéroporté. L'identification de sites d'intervention morphologiquement acceptables a pu être réalisée grâce à ces données.

Enfin, en plus de permettre la révision des méthodes d'intervention administratives pouvant représenter un complément utile aux interventions structurelles, l'étude a permis de passer en revue les nouvelles possibilités techniques qui s'offrent à coût économique pour intervenir. C'est ainsi que diverses options nouvelles ou des améliorations de techniques existantes se présentent : seuils ou séries de seuils, estacades fixes, estacades flottantes équipées de filets, dans les deux cas, avec ou sans seuil ont été identifiées et analysées en vue d'en connaître les conditions d'applicabilité.

## **7.2 Sur le coût annuel moyen des risques dans les conditions actuelles**

L'application de la méthode classique de calcul du risque moyen annuel adaptée afin de tenir compte des statistiques empiriques d'embâcle et de certaines catégories de dommages d'incertitude et des coûts d'interventions a permis d'estimer à plus de 260 000 \$ (**260 441 \$**) le coût annuel de cette problématique dans le cas de la rivière Montmorency.

Ce calcul ne tient pas compte des coûts des risques à l'eau libre qui représentent une composante distincte de la problématique. Il ne tient pas compte non plus de plusieurs rubriques non-quantifiables comme les coûts humains associées à la menace permanente de tels aléas pour les riverains, sans compter les dommages sanitaires lorsque des embâcles importants se produisent. D'autres coûts n'ont pas été comptabilisés comme ceux du secteur du lac du Délaisé ainsi que les dommages indirects qui résulteraient de la perte ou de restrictions temporaires du service d'eau potable de Beauport pour les contribuables, les commerces et industries de cette municipalité. D'autres coûts d'interventions antérieures n'ont pas été pris en considération comme celui de la reconstruction du pont de l'Île-Enchanteresse (750 000 \$) afin de le rendre compatible avec le transport des glaces.

Le principe d'équité requérant qu'on établisse la ventilation des coûts, l'exercice qui fut fait a permis d'estimer la part des divers intervenants. La facture se répartit donc ainsi : **65 345 \$** pour les riverains; **101 370 \$** pour les pouvoirs locaux et **93 726 \$** pour les gouvernements. Dans le cas des 173 riverains à risque identifiés, nous estimons que ceux-ci assument 285 \$ chacun en moyenne.

La gestion de la problématique des embâcles même dans le cas du *statu quo* devrait comporter des interventions additionnelles comme la mise en place d'un système d'alerte précoce véritablement efficace pour prévenir les coûts humains associés à ces aléas. Il n'est pas exclu que le scénario du *statu quo* puisse être modifié pour incorporer des estacades flottantes à l'amont du tronçon à l'étude comme il a été proposé pour les autres scénarios. Il est difficile cependant d'évaluer l'efficacité d'une telle solution étant donné que des embâcles pourront toujours se produire avec la débâcle des glaces du cours principal de la rivière Montmorency en aval des estacades. Si l'effet l'hypothèse « d'effet domino » était fondée, une telle solution pourrait cependant contribuer à diminuer les risques sur la rivière sans pourtant les éliminer complètement.

### 7.3 Sur les scénarios remédiateurs proposés

Nos propres observations conjuguées à une recherche dans la littérature existante (l'état de l'art) sur les solutions envisageables, des rencontres avec des spécialistes locaux et étrangers ainsi que des demandes de la part du Comité de suivi de prendre en considération des solutions administratives impliquant des relocalisations massives des secteurs à risques nous amènent donc à considérer sérieusement quatre options.

- 1) **Scénario # 1** : Deux sites au minimum immédiatement en amont de l'Île-Enchanteresse ont été repérés pour l'installation d'une estacade fixe de type peigne. Les deux endroits bénéficient de plaines inondables qui permettraient l'écoulement de l'eau en rive gauche. Pour les deux cas, un seuil devrait être ajouté ou renforcé. Dans tous les exemples nord-américains où une telle structure a été construite, les résultats furent excellents à ce jour mais la période d'expérimentation nécessaire pour évaluer l'efficacité à 100% de telles structures dépasse largement l'âge actuel de ces structures. De plus, sur la rivière Montmorency, la pente assez forte et les hauteurs des plaines inondables devront faire l'objet de vérifications plus poussées afin d'évaluer les chances de succès d'interventions similaires. Pour cet aménagement combiné à deux estacades flottantes en amont de la Municipalité de Sainte-Brigitte-de-Laval, les coûts de construction (financement), d'entretien et de suivi combinés à ceux des interventions et risques résiduels reviendraient à environ **153 750 \$** annuellement ce qui représente un avantage de **98 289 \$** par rapport à la situation actuelle et qui laisse place à procurer une équité intéressante parmi les intervenants.
- 2) **Scénario # 2** Les estacades flottantes pourraient jouer un rôle de plusieurs façons dans une solution au problème. Installées loin en amont (avant la zone de rapides et/ou à l'embouchure de la rivière Saint-Adolphe, elles pourraient réduire l'apport de glace qui aggrave, voire provoque la débâcle sur le cours d'eau principal. C'est pourquoi nous les avons incluses dans tous les scénarios. Installées près de l'Île Enchanteresse (aux endroits

déjà sélectionnés pour l'installation d'une estacade fixe), elles pourraient agir comme ces dernières. Avec le même degré d'efficacité, cela reste à démontrer. Les mêmes remarques déjà faites sur les hauteurs des plaines inondables et de la pente de la rivière s'appliquent encore une fois. Il faut aussi garder en mémoire que, présentement, la technologie des estacades flottantes n'est documentée et utilisée que dans le cas de tronçons à pentes plus faibles que la Montmorency. L'ajout d'un seuil aiderait certainement la structure à jouer son rôle. Nous ne pouvons encore toutefois savoir si cet ajout serait suffisant pour assurer le succès de l'ouvrage. Tous les coûts réunis de ce scénario se chiffrent à **93 750 \$** annuellement soit un gain de **168 289 \$** par rapport au *statu quo*, ce qui en fait *a priori* la solution la plus intéressante sur le strict plan économique. Nous ne pouvons cependant pas affirmer qu'elle offre les mêmes avantages d'efficacité que la solution précédente qui demeure notre premier choix. Mais nous ne pouvons pas l'écarter non plus à cause du potentiel qu'elle représenterait en soi ou en complément éventuel de la première approche. Encore là, ce scénario offre une confortable marge bénéficiaire pour s'assurer d'en faire bénéficier tous les intervenants (équité).

- 3) **Scénario # 3** : L'aménagement d'une série de seuils dans toute la zones des grands rapides pourrait aussi s'avérer une solution intéressante en elle-même ou en conjonction avec d'autres aménagements pour le contrôle des embâcles. Ces seuils créeraient un couvert de glace solide et plus résistant que celui qu'on observe présentement dans la zone de rapides, tout en diminuant la quantité de frasil produit. Une analyse des couverts formés par les seuils soumis à de forts débits devrait être faite. Par ailleurs, cette solution entraîne une modification importante de la configuration du cours d'eau que certains interpréteront sans doute comme une atteinte à son intégrité. Sur le plan écologique, ces seuils sont souvent utilisés pour améliorer la valeur des habitats piscicoles. Les coûts de cette solution s'élèvent à **105 000 \$** annuellement, soit un gain anticipé à long terme de **150 461 \$** par rapport au *statu quo*.
- 4) **Scénario # 4** : Le scénario basé sur l'installation d'une estacade fixe en aval de l'Île-Enchanteresse est sur le plan technique uniquement celui offrant le plus de chance de réussite parmi les aménagements « légers ». Cependant, la nécessité de relocaliser plus d'une centaine de propriétaires riverains rend ce scénario exorbitant par rapport aux coûts actuels sans compter les coûts sociaux associés à un tel déplacement. C'est pourquoi nous ne recommandons pas de donner suite à cette possibilité.
- 5) **Scénario # 5** : La construction d'un barrage en amont de l'Île-Enchanteresse est sans doute la solution la plus efficace et la plus définitive pour le problème des embâcles sur la rivière Montmorency efficace, mais les coûts monétaires, écologiques et sociaux seraient très élevés. C'est pourquoi nous n'avons pas procédé à la recherche d'emplacement propice pour son implantation. Nous ne croyons donc pas que cette solution doit être retenue dans la suite des travaux (phase II, l'objectif de l'étude étant de trouver des solutions économiques valables en tenant compte des enjeux propres à la Montmorency.
- 6) Les digues-levées offrent une protection efficace pour des régions très ciblées. Pour la station de pompage de la ville de Beauport, il s'agit peut-être d'une option intéressante. Par contre, elle serait difficilement justifiable pour la plupart des autres propriétaires riverains y compris pour ceux de l'Île-Enchanteresse sauf peut-être à l'amont de l'Île afin

de former bouclier contre la poussée des glaces. Aucune protection ne peut cependant être fournie contre les inondations qui se produisent alors;

Par ailleurs, la résolution du problème des embâcles par l'un ou l'autre de ces scénarios soulève quelques questions importantes quant aux risques résiduels et aux impacts environnementaux. Dans le premier cas, le bief aménagé pour contenir les glaces pourrait bien voir aggraver ses risques par rapport à la situation actuelle ce qui nécessiterait possiblement quelques relocalisations, mais rien en comparaison du scénario #4 qui prévoit la relocalisation de toute l'Île-Enchanteresse et de la rue des Deux Rapides.

Quant aux impacts environnementaux, nous ne croyons pas qu'ils soient très importants et selon des avis préliminaires, certains pourraient même s'avérer positifs pour les habitats piscicoles. Mais il ne nous appartient pas d'en juger et les processus consultatifs statutaires prévus par la loi sur la Qualité de l'Environnement devront être mis en branle pour construire les consensus nécessaires à la mise en œuvre de la solution retenue, le cas échéant.

## **7.4 Recommandations pour la phase II**

Compte tenu des résultats plus qu'encourageants obtenus à ce jour pendant la phase de pré-faisabilité et des incertitudes qui subsistent, nous recommandons la poursuite de l'étude en phase de faisabilité.

Une étude de faisabilité permettrait en effet de lever la majorité des interrogations que nous posent encore les solutions proposées. Les termes de référence proposés comprennent :

1. La poursuite de la campagne de caractérisation hivernale sur le terrain afin d'affiner nos connaissances pratiques sur le couvert de glace et éventuellement sur un embâcle toujours possible si les conditions propices à son déclenchement survenaient au cours de l'hiver 2000-2001;
2. Une exploitation plus poussée des informations recueillies dans la base de données sur les embâcles, notamment sur les conditions hydro-météorologiques génératrices de ces événements, sur les niveaux d'eau atteints et les volumes de glaces impliquées;
3. La réalisation d'un modèle physique (maquette) polyvalent reproduisant les caractères morphologiques des sites pressentis pour les structures dans le but d'évaluer l'influence de la pente et des hauteurs des plaines inondables sur l'efficacité de différentes variantes d'estacades fixes ou flottantes;
4. Conjointement à la maquette, la réalisation de simulations numériques à (Hec-RAS, Icthk, Modeleur) dans le but d'évaluer hydrauliquement et morphologiquement les tronçons situés à l'amont d'une structure envisagée, tant du point de vue des volumes d'emmagasinement possible de glace, des niveaux d'eau (remous) critiques associés au refoulement de la glace sur le bief d'amont, de la résistance des structures et des poussées exercées, des possibilités d'évacuation sécuritaire du trop-plein de débit en provenance de l'amont ainsi que de la vulnérabilité aux dommages physiques de ces secteurs;

5. La poursuite des études complémentaires visant à préciser les coûts des interventions, leur faisabilité économique, de même que les risques résiduels et les impacts environnementaux associés.

Avec ses outils, l'étude d'ingénierie que nous allons faire lors de la phase de faisabilité nous permettra de cheminer vers l'identification de la solution la mieux adaptée pour réduire les risques subis par les riverains et les municipalités riveraines de la rivière Montmorency.

---

## 8. Bibliographie consultée ou citée

---

- Ashton, G. D. (1996).** River and lake ice engineering, *Water Ressources Publications*
- Barabé, G. (1978).** Rivière Montmorency – Observations de l’Embâcle de 1978 et analyse de solution. Rapport du Ministère des Richesses naturelles, Services des Interventions, Division des Études hydrauliques. Août, 30 pp.
- Beard, L.R., (1997).** Estimating Flood Frequency and Average Annual Damage, *ASCE J. of Water Res. Plan. and Manag.*, **123**(2): 84-87.
- Beltaos, S. (1995).** River Ice Jams, *Water Ressources Publications*, LLC
- Boisvert (1970).** Étude d'une solution visant à atténuer les inondations de l'Île Enchanteresse.
- Booy, C., et L.M. Lye, (1989).** A New Look at Flood Risk Determination, *Water Ressources Bulletin*, **25**(5) : 933-943.
- C.N.R.C., Comité associé d’hydrologie (1990).** Hydrologie des crues au Canada. Guide de planification et de conception. 278 pp.
- Communauté urbaine de Québec (1998).** Cartographie des zones inondables par embâcle dans le secteur Bocage.
- Dantzig, D.V., (1956).** Economic Decision Problems for Flood Prevention, *Econometrica*, **24**(3) : 276-287.
- Davar, K, Beltaos, S., Pratte B. (editor), (1996).** A Primer on hydraulics of ice covered rivers, The Canadian Committee on Rive Ice Processes and the Environnement.
- El-Jabi, N., D. Richard et J. Rousselle (1981).** Estimation des dommages moyens causés par les inondations. Rapport du C.D.T de l’École Polytechnique de Montréal au Ministère de l’Environnement, Québec. Janvier, 77 pp.
- El-jabi, N., et J. Rousselle, (1987).** A Flood Damage Model for Flood Plain Studies, *Water Ressources Bulletin*, **23**(2) :179-188.
- Gerard, R. and D.J. Calkins (1984).** Ice-related flood frequency analysis : application of analytical estimates. Proceedings of the Cold Region Engineering Specialty Conference. (CSCE). April. Montréal. Pp. 85-101.
- Goldman, D., (1997).** Estimating Expected Annual Damage for Levee Retrofits, *ASCE J. of Water Res. Plan. and Manag.*, **123**(2): 89-94.

- Gouvernement du Québec, Services de protection de l'environnement (1984).** Étude de la qualité des eaux de la rivière Montmorency.
- Grigg, N.S. and O.J. Helweg (1975).** State of the art of estimating flood damage in urban areas. *Wat. Res. Bul. (AWRA)* **11**(2), 379-390.
- Holder, G. and Parkinson, F. (1994).** Lac Saint-Pierre, étude de glaces. Rapport no. R 1194 présenté à Brian Morse, Garde côtière canadienne.
- Hopkins, Mark and Daly, Steven (1999)** Discrete Element Modelling of River Ice at Navigation Structures. Proceedings of the 10<sup>th</sup> Workshop on River Ice: River Ice Management With a Changing Climate: Dealing with Extreme Events. Winnipeg, Manitoba. June 8-11. pp. 59-69
- Jantsch, E., (1977).** Technological Forecasting in Perspective, OCDE, 401 p.
- Lafrance (1970).** Géomorphologie et hydrologie des sites d'habitat de l'Île Enchanteresse. Mémoire de Maîtrise. Université Laval.
- Laganière, M. (1982).** Étude des glaces sur les rivières Saint-Charles et Duberger – Analyse avantages-coûts. Rapport du Ministère de l'Environnement. Décembre, 29 pp.
- Laganière, M. (1983).** Mesures de protection contre les inondations par embâcle à Terrebonne – Analyse avantages-coûts. Rapport du Ministère de l'Environnement. Juin, 28 pp.
- Lallier (1998).** Les crues glaciales récentes de la rivière Montmorency près de Québec. Mémoire de maîtrise, Université Laval.
- M. Leclerc, Doyon, B., Y. Secretan, M. Heniche, M. Lapointe et P. Boudreau (1998).** Simulation hydrodynamique et analyse morphodynamique de la rivière Montmorency dans le secteur des Îlets. Pour le compte de la ville de Beauport. Rapport scientifique INRS-Eau #R522a. 120 p.
- Leclerc, M., M. Heniche, Y. Secretan et T. Ouarda (2000).** Travaux d'atténuation des risques de crue à l'eau libre de la rivière Montmorency dans le secteur Des Îlets – PHASE 2. Mise à jour de l'analyse hydrologique, dimensionnement des travaux d'atténuation et risques résiduels pour les résidences. Étude réalisée pour le compte de la Ville de Beauport. Rapport scientifique INRS-Eau #R555, Mars, 176 pp.
- Les Consultants BPR (1994).** Rivière Montmorency – Recherche de solutions aux problèmes d'inondations. Pour les municipalités de Beauport, Boischatel et Sainte-Brigitte de Laval.
- Lever, J.H. and Gooch, G., CRREL (1999).** Cazenovia Creek Ice control Structure: A Comparison of Two Concepts. Proceedings of the 10<sup>th</sup> Workshop on River Ice: River Ice Management With a Changing Climate: Dealing with Extreme Events. Winnipeg, Manitoba. June 8-11. pp. 303-317
- Lever, J. H., Gooch, G., Tuthill A., et Clark, C (1997).** Low-Cost Ice-Control Structure, *Journal of cold regions engineering*, septembre

- Michel, B. (1990).** Poussée des glaces au Barrage Sartigan - Saint-Georges. Recherches Bermic. Mai. 17 p. & 1 annexe.
- Ministère de l'Énergie et des Ressources (1983).** Le cours inférieur de la rivière Montmorency.
- Ministère de l'environnement du Québec (1981).** Influence du déboisement sur les débâcles hâtives de la rivière Montmorency. Rapport interne.
- Ministère de l'Environnement du Québec (1989).** Étude hydrologique du bassin versant de la rivière Montmorency à l'Île Enchanteresse.
- Ministère de l'environnement du Québec (1990).** Problématique d'inondation par embâcle sur la rivière Montmorency dans le secteur de l'Île Enchanteresse. Mémoire interne.
- Ministère des Richesses naturelles (1978).** Rivière Montmorency, observations de l'embâcle de janvier 1978 et analyse de solution. Publié par la division des études hydrauliques.
- Ministère des Terres et Forêts (1950).** Étude sur la débâcle. Publié par le Bureau de Météorologie.
- Morse, B., (2000).** Ice structure Interaction; factors affecting ice loads on wide structures, Perd/CHC Report 10-56, juin.
- MRC Jacques Cartier (1999).** Étude des inondations par embâcles dans le secteur des deux Rapides.
- Ouarda, T. B.M.J., N. El-Jabi, and F. Ashkar, (1995).** Flood Damage Estimation in the Residential Sector, in « *Water Resources and Environmental Hazards* » (R. Herrmann, R. C. Sidle, W. Back and A. I. Johnson Edts.), *AWRA Technical Publication series*, TPS-95-2, 73-82.
- Ouellette, P., D. Leblanc, N. El-Jabi and J. Rousselle (1985).** Cost-benefit analysis of flood plain zoning. *J. Wat. Res. Plan. & Man (ASCE)*. 114(3), 326-334, paper # 22468, May.
- Ouellette, P., N. El-Jabi and J. Rousselle (1985).** Application of extreme value theory to flood damage. *J. Wat. Res. Plan. & Man (ASCE)*. 111(4), 467-477, paper #20103, October.
- PLURAM (1983).** Étude de rentabilité, solutions aux inondations – Ville de Richmond. Mars, 67 pp.
- Recherches Bermic Inc. (1990).** Poussée des glaces au Barrage Sartigan-Saint-Georges. Commanditaire non-spécifié. Mai, 29 pp.
- Sasseville, J.L. et Y. Maranda (2000).** Administration publique de l'eau. Raisons de base sur les questions actuelles et futures. Notes de cours. Tome I. INRS-Eau. 195 p.
- Sayed, Mohamed and Morse, Brian (1999).** Numerical Simulation of Ice Clearing and Jam Initiation in Navigation Channels. Proceedings of the 10<sup>th</sup> Workshop on River Ice: River Ice Management With a Changing Climate: Dealing with Extreme Events. Winnipeg, Manitoba. June 8-11. pp 196-208

- Secretan, Y., M. Leclerc, Y. Roy et collaborateurs multiples (1996).** Logiciel MODELEUR. Développé pour le compte du Fonds de recherche et de développement technologique en environnement (MEF) et HMS-Énergie inc.
- Stedinger, J.R., (1997).** Expected Probability and Annual Damage Estimators, *ASCE J. of Water Res. Plan. and Manag.*, 123(2): 125-135.
- Tuthill, Andrew M. (1995).** Structural Ice Control Review of Existing Methods. CRREL special report 95-13.
- Verreault, P. (1990).** Problématique d'inondation par embâcle sur la rivière Montmorency dans le secteur de l'Île-Enchanteresse. Ministère de l'Environnement. Note technique. Juillet, 6 pp.
- White, Katleen D. (1996).** A New Ice Jam Database. *Water Resources Bulletin*. April. 32(2):341-348