



Municipalité du Canton de Magog

## **RESTAURATION DU DELTA DU RUISSEAU CASTLE**

**VOLET 1: CARACTÉRISATION DE  
L'EMBOUCHURE DU RUISSEAU**

**VOLET 2: JUSTIFICATION ET PERTINENCE DU  
PROJET DE DRAGAGE DE  
L'EMBOUCHURE DU RUISSEAU**

**RAPPORT FINAL**

**ROCHE**



Municipalité du Canton de Magog

## **RESTAURATION DU DELTA DU RUISSEAU CASTLE**

VOLET 1: CARACTÉRISATION DE  
L'EMBOUCHURE DU RUISSEAU

VOLET 2: JUSTIFICATION ET PERTINENCE DU  
PROJET DE DRAGAGE DE  
L'EMBOUCHURE DU RUISSEAU

## **RAPPORT FINAL**

NOVEMBRE 2002



N/Réf. : 22331-000

3075, ch. des Quatre-Bourgeois  
Sainte-Foy (Québec) G1W 4Y4  
Téléphone :  
(418) 654-9600  
Télécopieur :  
(418) 654-9699

**RESTAURATION DU DELTA DU RUISSEAU CASTLE**  
**VOLET 1 : CARACTERISATION DE**  
**L'EMBOUCHURE DU RUISSEAU**



Municipalité du Canton de Magog

## **RESTAURATION DU DELTA DU RUISSEAU CASTLE**

### **VOLET I: CARACTÉRISATION DE L'EMBOUCHURE DU RUISSEAU**

## **RAPPORT FINAL**

NOVEMBRE 2002

**ROCHE**

N/Réf. : 22331-000

3075, ch. des Quatre-Bourgeois  
Sainte-Foy (Québec) G1W 4Y4  
Téléphone :  
(418) 654-9600  
Télécopieur :  
(418) 654-9699

## **ÉQUIPE DE TRAVAIL**

---

➤ **Roche Itée, Groupe-conseil**

Claude Vézina, biologiste, superviseur

Daniel Gamache, géomorphologue, chargé de projet

Jacqueline Roy, biologiste

Rénald Pelletier, technicien en sciences naturelles

Nancy Casault, CAO

Jean-Luc Arbour, DAO

➤ **Municipalité du Canton de Magog**

Daniel Charron, inspecteur-adjoint

➤ **Fondation des lacs et rivières du Canada**

Bertrand Côté, ing., M.Sc.A

## TABLE DES MATIÈRES

---

Équipe de travail.....	i
Table des matières.....	ii
Liste des tableaux.....	iii
Liste des figures .....	iii
1.0 Introduction .....	1
2.0 Historique et contexte .....	3
2.1 Chronologie des aménagements et interventions .....	3
2.2 Évolution du delta et mise en situation .....	8
3.0 Bathymétrie du delta sub-aquatique .....	11
3.1 Relevés bathymétriques de 1999.....	11
3.2 Relevés bathymétriques de 2002.....	12
4.0 Stratigraphie des sédiments du delta.....	16
5.0 Caractéristiques physico-chimiques des sédiments.....	18
5.1 Granulométrie des sédiments .....	18
5.2 Qualité des sédiments.....	21
5.3 Gestion et disposition des sédiments.....	22
6.0 Conclusion .....	24
Références .....	27

### Liste des annexes

Annexe I	Dossiers photographiques
	- Photographies aériennes 1960 à 1988
	- Photographies de terrain (30 et 31 octobre 2001)
Annexe II	Plan de localisation
Annexe III	Profils bathymétriques de la surface du delta (1999 et 2002)
Annexe IV	Rapports de forage
Annexe V	Certificats d'analyse et résultats des contrôles de qualité
Annexe VI	Programme de contrôle de qualité du laboratoire Bodycote

## LISTE DES TABLEAUX

---

Tableau 1 Résultats des analyses physico-chimiques des sédiments (2002) – Delta du ruisseau Castle .....	19
---	----

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 Bassin versant du ruisseau Castle .....	2
Figure 2 Localisation du delta sub-aquatique du ruisseau Castle.....	4
Figure 3 Delta sub-aquatique du ruisseau Castle: milieu humide naturel.....	5
Figure 4 Bathymétrie du delta du ruisseau Castle à l'été 1986.....	13

## 1.0 INTRODUCTION



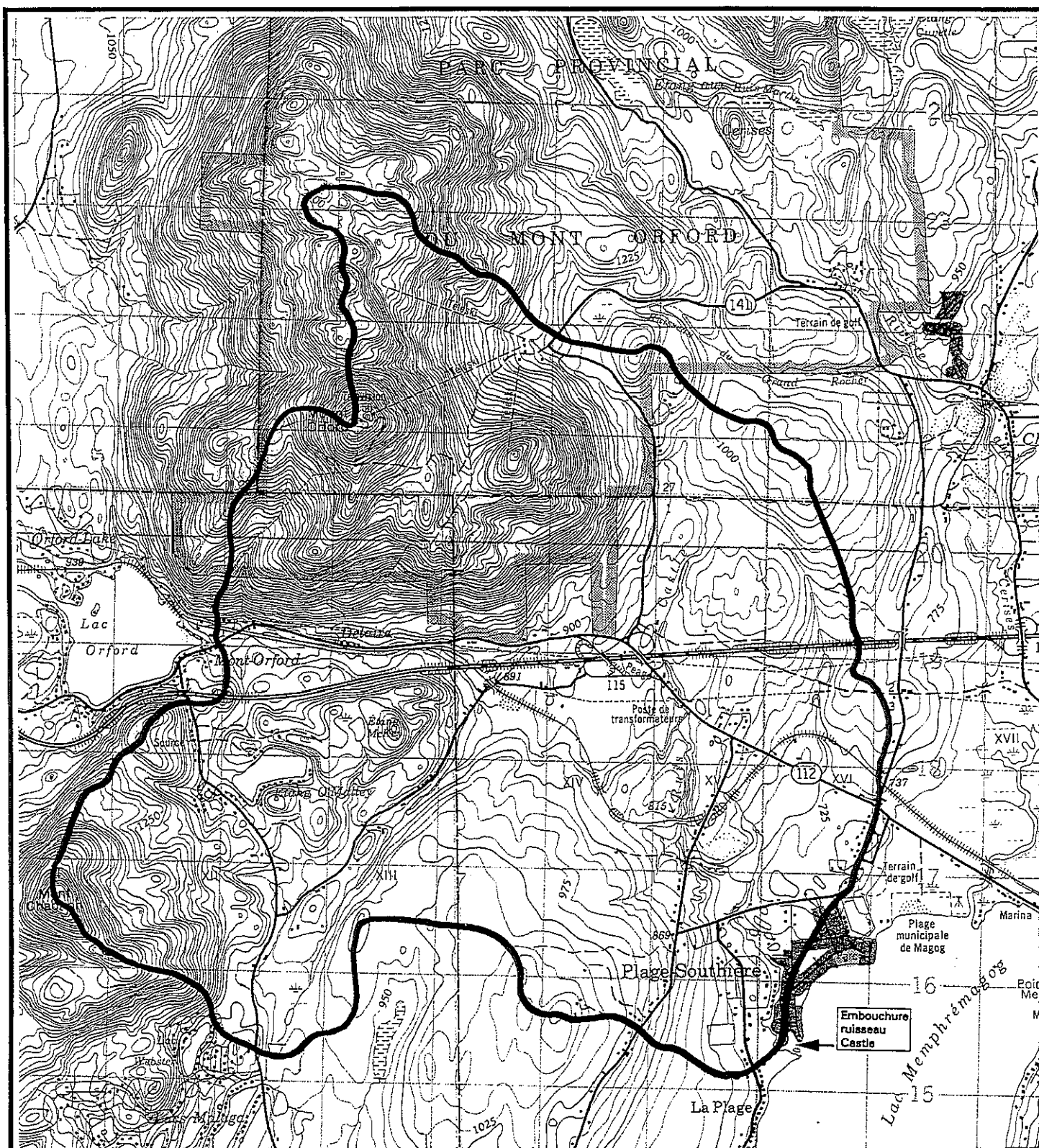
## 1.0 INTRODUCTION

---

Le ruisseau Castle draine les eaux de ruissellement et d'infiltration des versants est, nord-est et sud de plusieurs petits monts (Alfred-DesRochers, Orford, Giroux et Chagnon) localisés dans la partie nord-nord-ouest du bassin versant du lac Memphrémagog (figure 1). Ce ruisseau érode, transporte et dépose à son embouchure, une grande quantité de matériaux meubles. Depuis une quarantaine d'années, il semblerait que ces processus (érosion, transport et sédimentation) aient été amplifiés suite à divers aménagements et changements d'utilisation du sol survenus dans le bassin versant de ce ruisseau.

La municipalité du Canton de Magog, face à cette problématique de sédimentation à l'embouchure du ruisseau Castle, a mandaté la firme Roche ltée, Groupe-conseil afin d'étudier les caractéristiques morpho-sédimentologiques du delta (bathymétrie, variation de niveau, taux de sédimentation) et de déterminer les caractéristiques physico-chimiques des sédiments récemment accumulés. Ces dépôts pourraient constituer une nuisance environnementale et économique et la municipalité se questionne sur le bien-fondé de procéder à leur dragage afin d'assurer la récupération de tous les usages qui ont été affectés par la sédimentation.

Le volet 1, de la présente étude, vise essentiellement à fournir toute l'information appropriée se rapportant aux caractéristiques morphologiques du delta du ruisseau Castle et aux caractéristiques physico-chimiques des sédiments qui le constituent alors que le volet 2 porte sur l'analyse de la pertinence (avantages/inconvénients) de procéder à des travaux de dragage sur le delta.



N° de projet : 22331-000

Date : Avril 2002

Échelle : 1:50 000

Source :  
Ministère de l'Énergie, des mines et des Ressources  
Carte topographique 31 H/8  
Orford, édition 7

**ROCHE**

**MUNICIPALITÉ DU CANTON  
DE MAGOG**

**Bassin versant  
du ruisseau Castle**

Figure 1

## **2.0 HISTORIQUE ET CONTEXTE**

## 2.0 HISTORIQUE ET CONTEXTE

---

Depuis le début des années soixante, le territoire couvert par le bassin versant du ruisseau Castle, qui mesure 37,7 km<sup>2</sup> (3 770 ha) de superficie (voir figure 1), subit de nombreuses modifications. Le lit et l'embouchure de ce ruisseau (figure 2) ont, de plus, fait l'objet de plusieurs interventions visant à en améliorer l'accessibilité.

Afin d'être en mesure de comprendre et tenter de relier ces interventions ou modifications à la problématique de sédimentation à l'embouchure de ce ruisseau, un historique chronologique des principaux événements est présenté dans ce qui suit. Ces données proviennent principalement de la photo-interprétation de photographies aériennes multidates (1933 à 1998) et d'informations historiques fournies par M. Daniel Charron, inspecteur-adjoint de la Municipalité du Canton de Magog et M. Jacques Boisvert (communications faites à M. Charron). Les principales photographies aériennes analysées ainsi que des photographies récentes sur le terrain apparaissent à l'annexe I.

### 2.1 CHRONOLOGIE DES AMÉNAGEMENTS ET INTERVENTIONS

Les principales interventions répertoriées dans le bassin versant du ruisseau Castle sont les suivantes :

- 1933 le delta sub-aquatique à l'embouchure du ruisseau Castle existe déjà et forme un milieu humide naturel intact (figure 3). Le lit du ruisseau présente des courbes (méandres) et par endroit on observe des tronçons de ruisseau abandonnés (délaissés de méandre);
- 1934 contrôle du niveau du lac Memphrémagog à l'aide d'un barrage situé à environ 1,5 km du début (source) de la rivière Magog;
- 1945 déboisement de la partie ouest du Chemin Viens (entre le Chemin Southière et la rue Karl) et déboisement de la partie sud du Chemin Southière, de part et d'autre du ruisseau Castle (plan de localisation, Annexe II). Le marais, à l'embouchure du ruisseau, est toujours intact (photo A 9460 - 21, 1945) et le niveau de l'eau est élevé;
- 1959 aménagement d'un centre de ski sur le versant est du mont Orford;

## 2.0 HISTORIQUE ET CONTEXTE

---

Depuis le début des années soixante, le territoire couvert par le bassin versant du ruisseau Castle, qui mesure 37,7 km<sup>2</sup> (3 770 ha) de superficie (voir figure 1), subit de nombreuses modifications. Le lit et l'embouchure de ce ruisseau (figure 2) ont, de plus, fait l'objet de plusieurs interventions visant à en améliorer l'accessibilité.

Afin d'être en mesure de comprendre et tenter de relier ces interventions ou modifications à la problématique de sédimentation à l'embouchure de ce ruisseau, un historique chronologique des principaux événements est présenté dans ce qui suit. Ces données proviennent principalement de la photo-interprétation de photographies aériennes multitudes (1933 à 1998) et d'informations historiques fournies par M. Daniel Charron, inspecteur-adjoint de la Municipalité du Canton de Magog et M. Jacques Boisvert (communications faites à M. Charron). Les principales photographies aériennes analysées ainsi que des photographies récentes sur le terrain apparaissent à l'annexe I.

### 2.1 CHRONOLOGIE DES AMÉNAGEMENTS ET INTERVENTIONS

Les principales interventions répertoriées dans le bassin versant du ruisseau Castle sont les suivantes :

- 1933 le delta sub-aquatique à l'embouchure du ruisseau Castle existe déjà et forme un milieu humide naturel intact (figure 3). Le lit du ruisseau présente des courbes (méandres) et par endroit on observe des tronçons de ruisseau abandonnés (délaissés de méandre);
- 1934 contrôle du niveau du lac Memphrémagog à l'aide d'un barrage situé à environ 1,5 km du début (source) de la rivière Magog;
- 1945 déboisement de la partie ouest du Chemin Viens (entre le Chemin Southière et la rue Karl) et déboisement de la partie sud du Chemin Southière, de part et d'autre du ruisseau Castle (plan de localisation, Annexe II). Le marais, à l'embouchure du ruisseau, est toujours intact (photo A 9460 – 21, 1945) et le niveau de l'eau est élevé;
- 1959 aménagement d'un centre de ski sur le versant est du mont Orford;



N° de projet : 22331-000

Date : Avril 2002

Échelle : 1:15 000

Source :  
Photographie aérienne HMQ-98-38  
10 juin 1998

MUNICIPALITÉ DU CANTON  
DE MAGOG

Localisation du delta  
sub-aquatique  
du ruisseau Castle (1998)

**ROCHE**

Figure 2



N° de projet : 22331-000

Date : Avril 2002

Échelle : aucune

Source :  
Photographie aérienne A 4651-30  
1933

MUNICIPALITÉ DU CANTON  
DE MAGOG

Delta sub-aquatique  
du ruisseau Castle  
Milieu humide naturel (1933)

**ROCHE**

Figure 3



- 1960           déboisement et lotissement (résidences et chalets) de la Pointe Southière (Ave. du Parc, de la Chapelle et des Aulnes). Début de l'exploitation d'une gravière au sud-est du Chemin Southière (rive gauche du ruisseau) (photo 6018 – 79, annexe I);
  
- 1961-62       interventions majeures dans le marais (partie nord) et le lit du ruisseau. Excavation de sédiments et remblayage à la Pointe Southière (au sud de l'Ave. des Aulnes). Excavation de deux bassins dans le lit du ruisseau, au nord de l'Ave. de la Chapelle. Exploitation de la gravière. La Pointe Southière acquiert sa forme actuelle qui ressemble à un U inversé (photo P1849/62 – 438);
  
- 1965–67       construction de l'Autoroute des Cantons de l'Est (A 10). Interventions majeures dans le marais (partie centrale) et le lit du ruisseau sur une distance d'environ 875 m à partir de son embouchure (photo Q66362 - 151). Approfondissement, élargissement et redressement du ruisseau, aménagement de mouillages (bassins) pour les bateaux. Déboisement partiel de la rive droite (ouest) du ruisseau et remblai. Aménagement d'un étang au nord-nord-ouest de la rue Broadbent. Début d'exploitation de gravières/sablières (chemin des Pères et rue Voyer);
  
- 1968           construction du chemin du mont Orford à partir de la sortie 115. Exploitation des gravières/sablières se poursuit;
  
- 1979           sédimentation dans le lit du cours d'eau. Présence de bancs de sable et graviers dans le lit du ruisseau et comblement progressif des mouillages (photo Q79118 – 174). Colonisation, par les plantes aquatiques et semi-aquatiques, des zones de sédimentation. Mise en place d'ouvrages de protection contre l'érosion à la Pointe Southière. Aménagement de plusieurs lacs et étangs artificiels. Le développement résidentiel à la Pointe Southière est pratiquement complété. Remblai dans la partie sud-ouest du marais (rives du marais adjacentes à la rue Dezan);
  
- 1980           remblayage dans la partie sud-ouest du marais se poursuit;



- 1984      projet Berges Neuves – Stabilisation des berges d’une partie du ruisseau Castle (entre le lac et la rue Broadbent
- 1985      le comblement des mouillages se poursuit. La sédimentation dans le ruisseau se poursuit également. Niveau du lac est élevé (peu d’information observable sur la photographie aérienne Q85355 – 106 à l’annexe I). Poursuite de la protection des berges à la Pointe Southière;
- 1986      installation d’un système de production de neige artificielle au mont Orford et réaménagement des pistes de ski (élargissement et reprofilage);
- 1988      peu de changement sur le delta par rapport à 1985 (photo Q88118 – 60). Niveau d’eau sur photographies aériennes est élevé. Plantes aquatiques abondantes sur le delta.

travaux d’aménagement du versant est du mont Giroux (ajout de surface skiable au centre de ski du Mt Orford). Ces travaux provoquent un entraînement important de sédiments dans le ruisseau Castle. Injonction émise par le MENVIQ pour arrêter les travaux.

Construction d’un bassin de sédimentation au pied des nouvelles pistes (communication écrite (12/06/2002) Bertrand Côté, ing., M.Sc.A.) ;

- 1993      bas niveau d’eau sur la photographie aérienne (HMQ 93136 – 93). Le secteur nord de l’Ave de la Chapelle est inaccessible par bateau (présence de nombreux bancs de gravier dans le lit du ruisseau). Le delta sub-aquatique semble plus étalé qu’en 1988;
- 1998      la sédimentation se poursuit dans le cours d’eau et sur le delta. L’étalement du delta est comparable à 1993. Le lit du ruisseau se prolonge vers l’est à la surface du delta (voir figure 2, photo HMQ98-113 – 38). Le niveau du lac est à 207,82 m, soit à 5 cm du niveau idéal du lac;

- 2000 travaux correctifs réalisés dans le parc du mont Orford dans le but de diminuer l'apport en sédiments dans le ruisseau Castle. Protection des berges dans la partie aval du ruisseau et mise en place d'un bassin de sédimentation (à l'extrémité ouest de la rue Broadbent).

## 2.2 ÉVOLUTION DU DELTA ET MISE EN SITUATION

Le delta du ruisseau Castle, tel qu'il apparaît sur la photographie aérienne de 1933 (voir figure 3), constituait un milieu humide naturel bien établi et sa lente progression semblait se faire vers le large soit perpendiculairement au rivage. Le ruisseau Castle, responsable de la formation du delta, serpentait à sa surface, ce qui avait pour effet de diminuer la vitesse du courant et favoriser la sédimentation. Au fur et à mesure de sa progression, la surface du delta était colonisée par les plantes aquatiques et semi-aquatiques, ce qui avait pour effet de diminuer l'effet des courants et des vagues du lac.

Les aménagements (centre de ski et autoroute) et changements d'utilisation du sol (agriculture et quartier résidentiel) effectués dans le bassin versant et les interventions directes (excavations et remblais) réalisées dans le lit et à l'embouchure du ruisseau Castle ont eu pour conséquence de modifier la dynamique sédimentaire de ce dernier et de changer quelque peu l'évolution du delta (difficilement quantifiable). De plus, les changements survenus dans la gestion du niveau du lac Memphrémagog, depuis la construction d'un barrage dans la rivière Magog, ont vraisemblablement eu des effets sur la dynamique et l'évolution du delta.

Si l'on compare la morphologie (forme) du delta en 1998 (voir figure 2) avec celle observée en 1933 (voir figure 3), on note les processus suivants :

- un étalement des sédiments à sa surface (bien que l'on n'ait pas de relevés bathymétriques de 1933 pour le prouver, la superficie du delta semble plus grande en 1998);
- un transport des sédiments vers le nord (côté est de la Pointe Southière vers la plage Southière) par les courants de dérive littorale initiée par les vagues (vents du sud, du sud-est et de l'est).

Une étude récente, réalisée par la firme Teknika inc. pour le compte du Ministère de la Faune et des Parcs du Québec (FAPAQ) et portant sur l'érosion du ruisseau Castle, démontre que:

- le déboisement des descentes de ski du mont Orford augmente le débit des eaux de ruissellement dans le bassin versant et que ce débit additionnel ne représente que 1% du débit à l'embouchure du ruisseau Castle;
- la fabrication de la neige artificielle n'augmente pas les débits de crue dans le cours d'eau puisque cette neige épaisse et compactée prend beaucoup plus de temps à fondre (2 à 3 semaines) que la neige naturelle et les eaux de fonte de celle-ci s'écoulent après la période de crue;
- dans les bassins versants montagneux, les affleurements rocheux, les pentes abruptes, le faible couvert végétal ainsi que les minces couches de dépôts sont tous des facteurs qui contribuent au détachement des matériaux sous l'effet du ruissellement (augmentation de l'écoulement de surface) ce qui provoque des problèmes d'érosion;
- dans les bassins versants montagneux, les sédiments ne proviennent pas seulement du lit du ruisseau mais de l'ensemble des surfaces de ruissellement;
- c'est pendant la crue printanière que la majeure partie des sédiments est arrachée et charriée par les forces de l'écoulement torrentiel.

En plus de ces facteurs, il ne faut pas sous-estimer les facteurs climatiques de grande ampleur tels que les pluies diluviennes, la fonte rapide de la neige occasionnée par de fortes pluies et les phénomènes de débâcle qui déstabilisent les rives des cours d'eau.

Bien que le débit additionnel des eaux de ruissellement dans le bassin versant du ruisseau Castle, occasionné le déboisement des pentes de ski du mont Orford, ne représente que 1% du débit à l'embouchure du ruisseau Castle, celui-ci peut quand même contribuer à éroder beaucoup plus que 1% du volume de matériel (apport de sédiment) transporté par le ruisseau, surtout si la surface déboisée est, en plus, décapée. De même, la neige artificielle damée (qui constitue une surface plus dense et plus imperméable) peut ponctuellement, par temps de pluie, contribuer à augmenter le

débit de ruissellement et par conséquent l'érosion. Il faut aussi mentionner que l'eau servant à la fabrication de neige artificielle provient du bassin versant adjacent et que cet apport contribue également à augmenter le volume d'eau de fonte dans le bassin versant du ruisseau Castle.

Il n'est donc pas facile de quantifier, a priori, l'ampleur des modifications survenues sur la surface du delta du ruisseau Castle et déterminer quelles en sont les causes réelles. S'agit-il de processus d'érosion et de sédimentation naturels ou s'agit-il d'une augmentation de la sédimentation causée par des aménagements et interventions anthropiques (provoqués par l'action de l'homme) dans le bassin versant, dans le lit et à l'embouchure du ruisseau? S'agit-il des conséquences d'événements climatiques majeurs (pluies diluviennes) tels que ceux survenus en Estrie en juillet 1997 et mars 1998, des effets des variations du niveau du lac ou bien d'un ensemble de ces facteurs?

Suite à une visite de terrain effectuée les 30 et 31 octobre 2001, des relevés bathymétriques, des mesures stratigraphiques ainsi qu'une caractérisation des sédiments (campagne d'échantillonnage) furent réalisés, afin d'identifier et de décrire les principaux agents, aménagements ou événements pouvant être responsables de «l'augmentation» de la sédimentation à l'embouchure du ruisseau Castle et afin de déterminer la qualité physico-chimique des sédiments.

### **3.0 BATHYMÉTRIE DU DELTA SUB-AQUATIQUE**

---

### **3.0 BATHYMÉTRIE DU DELTA SUB-AQUATIQUE**

---

Des relevés bathymétriques ont été réalisés à l'hiver 2002 (février et mars) dans le but d'établir la superficie et l'épaisseur (volume) du dépôt sédimentaire dans le delta. Une étude, réalisée en 1999, établissait à 84 000 m<sup>2</sup> la superficie couverte par le dépôt de sédiments. Les deux relevés bathymétriques devaient, en principe, permettre d'établir un comparatif de la surface du delta en 1999 et 2002 et ainsi établir un taux annuel moyen de sédimentation pour cette période.

#### **3.1 RELEVÉS BATHYMÉTRIQUES DE 1999**

Des relevés d'arpentage (topométrie) ont été réalisés sur et sous le couvert de glace à l'hiver 1998-99 par la firme Biotop enr. (1999). Ces relevés ont permis d'établir des coupes ou profils bathymétriques de la surface du delta (annexe III). La méthode utilisée consista, à partir d'une station de référence d'élévation relative (localisée à l'extrémité est de la Pointe Southière), à mesurer à l'aide d'un transit et d'un jalon, la profondeur des sédiments à tous les 20 mètres, le long de 11 transects. Lors de ces relevés d'arpentage, des mesures d'épaisseur des sédiments boueux ont également été effectuées.

Les données bathymétriques récoltées en 1999 n'ont malheureusement pas été raccordées à un point géodésique coté. Les profondeurs indiquées sur les profils bathymétriques le sont en référence à une élévation relative dont on ignore l'élévation géodésique et les coordonnées exactes. Aucune information sur la date des relevés ni sur le niveau de l'eau du lac n'est également disponible. Ces données ne seront donc utilisées qu'à titre indicatif puisqu'elles n'ont pu être reliées à une borne géoréférencée.

L'information portant sur l'épaisseur des sédiments boueux n'est utile, pour sa part, qu'à des fins qualitatives du substrat et ne peut être interprétée comme étant uniquement des sédiments récemment déposés. Il s'agit bien plus de sédiments fins déposés, en période hivernale (faibles débits), dans le lit actuel du ruisseau et dans d'anciens chenaux occupés, à un moment donné, par le ruisseau. La répartition des sédiments boueux, à la surface du delta, n'a pu être établie correctement puisque, en

présence d'un couvert de glace appuyé sur le fond, aucune mesure n'a été prise. Il en est de même pour la répartition du gravier sur la surface du delta. La description de la texture des sédiments observés à la surface du delta est visuelle et tactile. La proportion des différentes fractions constituant les sédiments n'a donc pas été mesurée. Aucune analyse granulométrique en laboratoire n'a été effectuée sur des échantillons de sédiments.

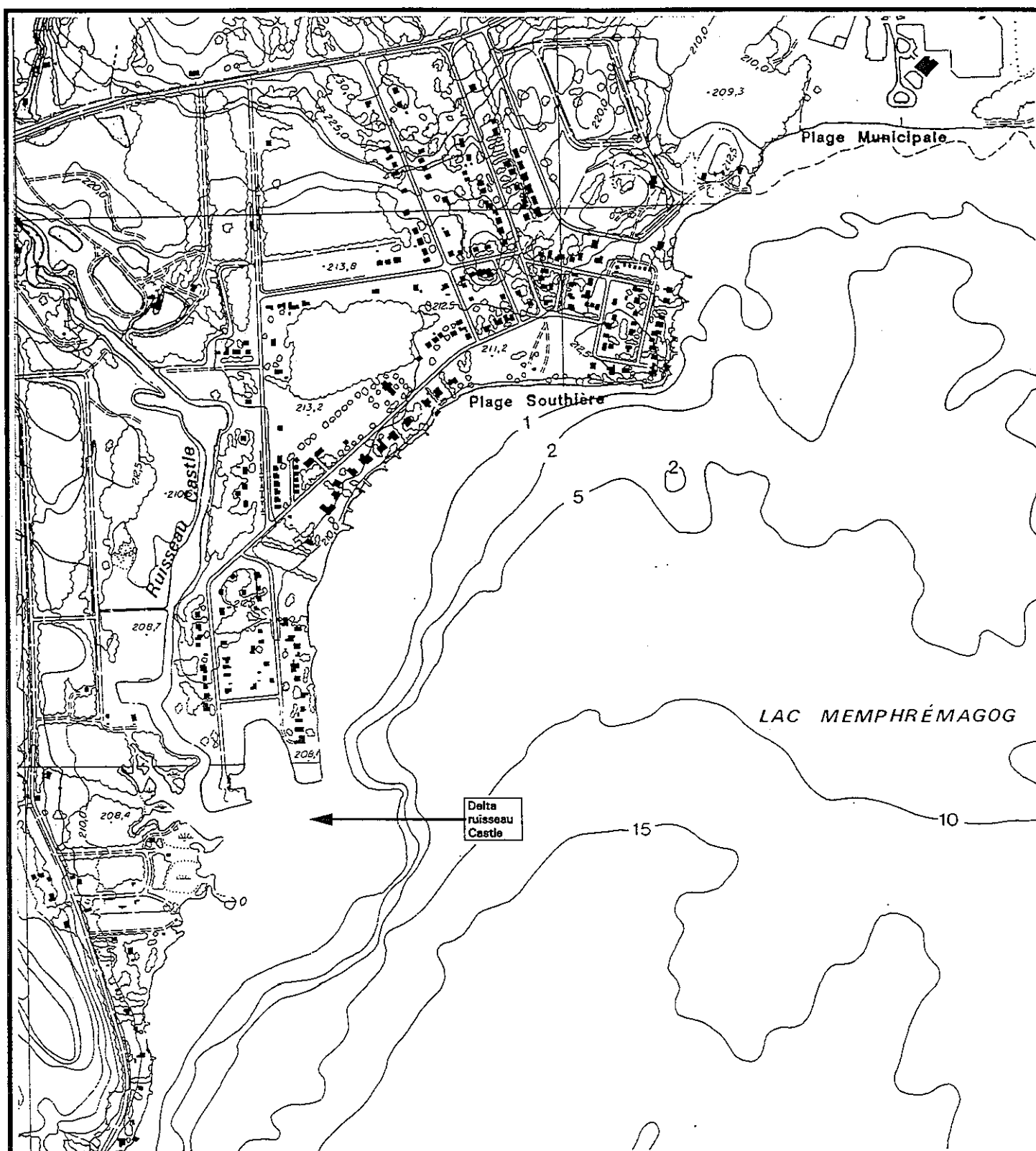
L'épaisseur des sédiments boueux, mesurée lors des relevés de cette étude (Biotope, 1999), ne peut être interprétée comme étant représentative de l'épaisseur totale des sédiments constituant le delta. Tel qu'indiqué précédemment, ces sédiments boueux sont relativement récent puisqu'ils comblent, pour la plupart, d'anciens chenaux ou d'anciens lits d'écoulement du ruisseau Castle, chenaux creusés à même les sédiments de son delta. L'épaisseur maximale des sédiments au front du delta atteindrait, si on se réfère aux coupes longitudinales A-B, C-D, E-F et G-H de l'étude de Biotope, un peu plus de 10 mètres.

Finalement, les relevés bathymétriques de 1999 ne contiennent aucune information sur la stratigraphie du delta. Seule la texture de surface des sédiments est donnée, et cela de façon discontinue.

### **3.2 RELEVÉS BATHYMÉTRIQUES DE 2002**

Les relevés bathymétriques de 2002 ont été effectués, à notre demande, par les Entreprises Normand Juneau inc. de Saint-Nicolas (voir plan des isobathes en pochette). Les profondeurs, exprimées en mètres et ajustées au zéro des cartes (élévation géodésique 207,86 mètres), ont été mesurées à l'aide d'un géoradar (avec antenne) d'une précision de 0,15 mètre. La position des élévations a été obtenue avec un système DGPS utilisé en mode différentiel et en temps réel donnant une précision de 1 mètre.

L'examen de la carte bathymétrique actuelle révèle que, dans l'ensemble, la morphologie (forme) du delta a peu changé si on la compare aux relevés bathymétriques effectués par le service hydrographique du Canada à l'été 1986 (figure 4).



N° de projet : 22331-000

Date : Avril 2002

Échelle : 1: 10 000

Source :  
Roche Ltée

MUNICIPALITÉ DU CANTON  
DE MAGOG

Bathymétrie du delta  
du ruisseau Castle à l'été 1986

**ROCHE**

Figure 4



La surface du delta varie de 0,5 à 1 m sous le zéro des cartes et le front du delta semble occuper la même position qu'en 1986. Le lit du ruisseau, directement à son embouchure, atteint 1,5 m de profondeur alors que sur le delta, sa profondeur diminue à moins de 1 mètre. De part et d'autre de l'embouchure du ruisseau, on observe deux zones de haut-fond dont la profondeur atteint moins d'un demi mètre.

Tel que mentionné à la section 3.1, les profils bathymétriques mesurés en 1999 par la firme Biotope enr. (1999), ne peuvent être utilisés pour établir un comparatif précis d'élévation (profondeur) de la surface du delta avec les données actuelles puisqu'ils ne sont pas rattachés à un point géodésique (élévation et coordonnées des transects inconnus). Cependant, à titre indicatif, l'allure générale de chacun de ces profils peut être comparée aux profils actuels (2002) puisque ces derniers sont localisés pratiquement aux mêmes endroits (voir localisation des profils sur le plan bathymétrique en pochette). Pour fins de comparaison, les profils de 1999 ont été placés juste au-dessus des profils de 2002 (voir annexe III).

Dans l'ensemble, l'allure de chacune des paires de profils (1999 et 2002) se ressemble beaucoup. Les variations d'élévations de la surface du delta sont comparables et le front du delta semble être à la même position (pour le niveau de précision que l'on en a par rapport à 1999). Cependant, sur les profils A-B, G-H et I-J (voir annexe III) on note, par rapport à 1999, des déplacements de sédiments (qui s'apparentent à des bancs de sable et graviers) vers le front du delta. La morphologie du front du delta (profils A-B, C-D, E-D, G-H et E-F) est, de plus, légèrement différente par rapport à ce qu'elle était en 1999. En effet, le replat et le talus du front du delta semblent avoir été tronqués par les vagues. Les sédiments ont, soit été étalés vers le nord, soit déplacés vers la base du front du delta. Finalement, la position du chenal principal du ruisseau semble être légèrement plus au nord (profil E-C et coupes 1, 2 et 4) et sur le profil E-D, un petit chenal secondaire est apparu (voir annexe III).

Il est important de rappeler que la comparaison de ces profils et coupes bathymétriques n'est faite qu'à titre informatif et qualitatif. L'imprécision reliée à l'impossibilité de raccorder les profils de 1999 à une borne de référence cotée pour valider les élévations fait en sorte que la marge d'erreur est grande.

Les forages (4) réalisés sur le delta à l'hiver 2002 ne permettent pas, non plus, d'évaluer l'épaisseur moyenne des sédiments du delta. En effet, ces forages, d'une profondeur de 4,5 mètres, ont été réalisés, comme nous le décrivons au chapitre

suivant, dans le but d'établir un éventuel lien entre la stratigraphie des sédiments et les événements ou aménagements réalisés dans le bassin versant du ruisseau Castle. L'analyse de la texture des échantillons, prélevés dans ces forages, indique qu'à 4 mètres de profondeur on retrouve encore des matériaux d'origine deltaïque. Afin d'établir l'épaisseur réelle des sédiments deltaïque, il aurait fallu effectuer des forages de plus de 10 mètres de profondeur.

Les variations morphologiques de la surface du delta, entre l'hiver 1999 et l'hiver 2002, semblent être normales pour la période de temps mesurée. Il n'y a pas d'évidence marquée de modifications extrêmes. Les modifications observées semblent plutôt reliées à une évolution normale de la surface d'un delta dans pareilles conditions.

La perception qu'ont les gens du milieu face à la sédimentation à l'embouchure du ruisseau Castle peut être faussée ou amplifiée par les bas niveaux du lac observés depuis les deux dernières périodes estivales. En effet, lors de ces bas niveaux, une grande partie de la surface du delta se découvre et s'assèche. Autre fait important à se rappeler, la surface du delta a déjà été en partie creusée pour faciliter l'accès aux embarcations. L'élévation de la surface du delta, avant cette intervention, devait donc être comparable à celle observée de nos jours.

## **4.0 STRATIGRAPHIE DES SÉDIMENTS DU DELTA**

---

## 4.0 STRATIGRAPHIE DES SÉDIMENTS DU DELTA

---

Dans la perspective de déterminer et de décrire un éventuel lien entre les différents lits ou couches de sédiments constituant le delta et les principaux aménagements effectués dans le bassin versant (voir section 2.2), quatre forages de quatre mètres et demi de profondeur ont été réalisés, à partir du couvert de glace, le 18 février 2002 (voir plan en pochette pour la localisation des forages). Bien que la méthode de prélèvement avec un échantillonneur à piston ait été proposée par la municipalité, celle-ci ne permettait pas d'établir un profil stratigraphique des sédiments jusqu'à une profondeur de quatre mètres. La méthode retenue consista à forer dans les sédiments du delta à l'aide d'une tarière à évider montée sur une foreuse à chenille et munie d'une cuillère fendue pour la récolte des échantillons. Cette méthode permettait donc de caractériser et de décrire les différentes couches de sédiments rencontrées sur la profondeur voulue.

Les rapports de forage sont présentés à l'annexe IV. L'analyse et l'interprétation de ces rapports ainsi que les informations recueillies sur le terrain lors des travaux de forage indiquent que les sédiments du delta sont saturés en eau, de faible densité (présence de matière organique), peu consolidés et de texture et stratigraphie variables.

De façon générale on observe, sur les coupes stratigraphiques (rapports de forage F1 à F4, annexe IV), des lits d'épaisseur variable de sable silteux gris, de sable fin à moyen, de sable grossier et de matière organique. La position de ces lits ou couches de sédiments dans les coupes est aléatoire et on n'observe pas de patron défini de déposition ou de mise en place.

Étant donné la grande variabilité d'épaisseur et de composition (texture sablonneuse, limoneuse ou vaseuse) des différentes couches de sédiments observées dans les forages, étant donné la discontinuité spatiale de ces couches à l'intérieur des limites du delta, étant donné les déplacements latéraux du lit du ruisseau sur la surface du delta et étant donné le grand nombre d'interventions effectuées dans le lit et l'embouchure du ruisseau (delta), il est impossible de relier la stratigraphie du delta aux

différents événements anthropiques ou naturels (pluies diluviennes) survenus dans le bassin versant.

D'autre part, l'étude de la FAPAQ portant sur l'érosion du ruisseau Castle (Teknika inc., 2001), indique que la charge sédimentaire estimée pour le ruisseau Castle est de 276 tonnes par année (environ  $150 \text{ m}^3$  de sédiments si on considère un facteur de conversion de  $1,8 \text{ tm/m}^3$ ). Si on répartissait ce volume de sédiments sur l'ensemble du delta ( $84\,000 \text{ m}^2$ ), on aurait une couche de moins de 2 mm d'épaisseur de sédiments qui s'accumulerait à la surface du delta chaque année et cela sans considérer le transport et l'étalement des sédiments par les courants et l'effet des vagues (dérive littorale) et la perte de sédiments au front du delta (progression vers le large). Tel que mentionné aux sections 3.1 et 3.2, il n'a pas été possible d'établir l'épaisseur moyenne de sédiments constituant le delta. On ne peut donc établir ou évaluer, de façon précise, depuis combien de temps ce delta est en construction. Seules des datations au  $\text{C}_{14}$ , effectuées sur des échantillons prélevés à la base du delta, pourraient nous en donner une approximation.

Cependant, l'accumulation de sédiments sur la surface du delta peut, comme on l'a déjà mentionné, être reliée à des événements climatiques majeurs (pluies diluviennes). Le débit du ruisseau peut tripler de façon ponctuelle et le lit du ruisseau, à la surface du delta, peut être érodé et déplacé et les bancs de sable et graviers peuvent être également déplacés. La morphologie de la surface du delta est temporairement modifiée et celle-ci, suite au retour aux conditions normales, se stabilise à nouveau. Les bancs de sable et gravier sont étalés par les vagues et les chenaux temporaires sont progressivement comblés. Ces événements climatiques ainsi que les crues printanières et automnales sont donc en grande partie responsables de la stratigraphie (distribution des couches) des sédiments sur le delta.

## **5.0 CARACTÉRISTIQUES PHYSICO- CHIMIQUES DES SÉDIMENTS**

---

## 5.0 CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES SÉDIMENTS

Quatre stations d'échantillonnage (points d'observation et forages) ont été positionnées à la surface du delta (voir localisation sur le plan bathymétrique en pochette). Les sédiments à la surface du delta ont été échantillonnés à chacune de ces stations, afin d'en déterminer les caractéristiques physico-chimiques et, le cas échéant, le mode de gestion (disposition) s'ils étaient éventuellement dragués.

Les échantillons de sédiments ont été récoltés manuellement (avec une truelle) lors des forages stratigraphiques. Ils ont été prélevés, conservés et préparés selon les recommandations du «Guide méthodologique de caractérisation des sédiments» produit par Environnement Canada (Centre Saint-Laurent), en collaboration avec le ministère de l'Environnement du Québec (CSL, 1992).

Les échantillons ont été transportés dans une glacière et gardés dans l'obscurité et sur la glace jusqu'à leur arrivée au laboratoire de Bodycote à Québec, où ils ont été entreposés dans un réfrigérateur à 4° C en attente d'analyses chimiques. Un duplicata de chacun des échantillons prélevés a été acheminé au laboratoire Technisol inc. de Québec pour analyses granulométriques (fractions grossières) et sédimentométriques (fractions fines).

### 5.1 GRANULOMÉTRIE DES SÉDIMENTS

Les résultats des analyses granulométriques des sédiments récoltés à la surface du delta aux quatre stations d'échantillonnage sont présentés au tableau 1. L'annexe V présente, en détail, les analyses effectuées au laboratoire Technisol enr.

Dans l'ensemble, les proportions de sable varient entre 41,7 et 92,1 % alors que celles de silt sont comprises entre 7,8 et 47,4 %. Les quatre échantillons contiennent des traces de gravier dont les pourcentages varient de 0,1 à 2,2 % alors que seuls les échantillons F1-1, F2-1 et F3-1 contiennent de l'argile en faible proportion (pourcentage variant entre 4,3 et 9,6).

Tableau 1 Résultats des analyses physico-chimiques des sédiments (2002) - Delta du ruisseau Castle

Paramètres	Critères*			Embouchure ruisseau Castle			
	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Station			
	SSE	SEM	SEN	F1-1	F2-1	F3-1	F4-1
<b>Granulométrie (%)</b>	-	-	-				
Gravier	-	-	-	1,7	2,2	1,6	0,1
Sable	-	-	-	41,7	81,6	46,4	92,1
Silt	-	-	-	47,0	11,9	47,4	7,8
Argile	-	-	-	9,6	4,3	4,6	0,0
<b>Métaux (mg/kg)</b>							
Arsenic extractible (As e)	3	7	17	5,6			5,9
Cadmium extractible (Cd e)	0,2	0,9	3	0,18			0,12
Chrome extractible (Cr e)	55	55	100	76			71
Cuivre extractible (Cu e)	28	28	86	14			7
Mercuré total (Hg)	0,05	0,2	1	0,02			0,02
Nickel extractible (Ni e)	35	35	61	120			100
Plomb extractible (Pb e)	23	42	170	< 5			< 5
Zinc extractible (Zn e)	100	150	540	41			42
<b>Carbone organique total (%)</b>	-	-	-	1,7			0,55
<b>Biphényles polychlorés (mg/kg)</b>							
Aroclor 1016	-	0,01	0,1	< 0,02			< 0,02
Aroclor 1242	-	-	-	< 0,02			< 0,02
Aroclor 1248	-	0,05	0,5	< 0,02			< 0,02
Aroclor 1254	-	0,06	0,6	< 0,02			< 0,02
Aroclor 1260	-	0,005	0,05	< 0,02			< 0,02
Total	0,02	0,2	2	ND			ND
<b>Hydrocarbures aromatiques polycycliques (mg/kg)</b>							
Naphtalène	0,02	0,4	0,6	< 0,01			< 0,01
1-méthylnaphtalène	-	-	-	< 0,01			< 0,01
2-méthylnaphtalène	0,02	-	-	< 0,01			< 0,01
1,3-diméthylnaphtalène	-	-	-	< 0,01			< 0,01
Acénaphthylène	0,01	-	-	< 0,01			< 0,01
Acénaphthène	0,01	-	-	< 0,01			< 0,01
2,3,5-triméthylnaphtalène	-	-	-	< 0,01			< 0,01
Fluorène	0,01	-	-	< 0,01			< 0,01
Phénanthrène	0,03-0,07	0,4	0,6	< 0,01			0,03
Anthracène	0,02	-	-	< 0,01			< 0,01
Fluoranthène	0,02-0,2	0,6	2	< 0,01			0,04
Pyrène	0,02-0,1	0,7	1	< 0,01			0,03
Benzo(c)phénanthrène	-	-	-	< 0,01			< 0,01
Benzo(a)anthracène	0,05-0,1	0,4	0,5	< 0,01			< 0,01
Chrysène	0,1	0,6	0,8	< 0,01			< 0,01
5-méthylchrysène	-	-	-	< 0,02			< 0,02
Benzofluoranthènes (som. b,j,k)	0,3	-	-	< 0,01			< 0,01
7,12-diméthylbenzo(a)anthracène	-	-	-	< 0,02			< 0,02
Benzo(e)pyrène	-	-	-	< 0,01			< 0,01
Benzo(a)pyrène	0,01-0,1	0,5	0,7	< 0,01			< 0,01
3-méthylcholanthrène	-	-	-	< 0,01			< 0,01
Dibenzo(a,i)acridine	-	-	-	< 0,01			< 0,01
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	0,07	-	-	< 0,01			< 0,01
Dibenzo(a,h)anthracène	0,005	-	-	< 0,01			< 0,01
7H-dibenzo(c,g)carbazole	-	-	-	< 0,01			< 0,01
Benzo(g,h,i)peryène	0,1	-	-	< 0,01			< 0,01
Dibenzo(a,i)pyrène	-	-	-	< 0,01			< 0,01
Dibenzo(a,e)pyrène	-	-	-	< 0,01			< 0,01
Dibenzo(a,i)pyrène	-	-	-	< 0,01			< 0,01
Dibenzo(a,h)pyrène	-	-	-	< 0,01			< 0,01


\* Centre Saint-Laurent (CSL) et ministère de l'Environnement du Québec (MENV-Q), 1992.

SSE Seuil sans effet

SEM Seuil d'effets mineurs

SEN Seuil d'effets néfastes

- Pas de critère pour ces paramètres

 Fonction du pourcentage de CO<sub>T</sub> (carbone organique total)

120 Résultat dépassant le seuil d'effet néfaste (SEN)

<0,010<sup>1</sup> Présence d'interférences, l'absence du composé a été confirmée par GC-MS



**Tableau 1 Résultats des analyses physico-chimiques des sédiments (2002) - Delta du ruisseau Castle**  
(Suite)

Paramètres	Critères*			Embouchure ruisseau Castle			
	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Station			
	SSE	SEM	SEN	F1-1	F2-1	F3-1	F4-1
<b>Pesticides organochlorés (mg/kg)</b>							
alpha-BHC	0,0003	0,01	0,06	<0,0006			<0,0003
Hexachlorobenzène (HCB)	0,001	0,03	0,1	<0,0006			<0,0003
β-BHC	0,0002	0,03	0,2	<0,0012			<0,0006
gamma-BHC (lindane)	0,0009	0,003	0,009	<0,0010			<0,0005
delta-BHC	-	-	-	<0,0016			<0,0008
Heptachlore	0,0003	0,0003	0,01	<0,0010			<0,0005
Aldrine	0,0006	0,002	0,02	<0,0060			<0,0030
Époxyde d'heptachlore	0,001	0,005	0,03	<0,0008			<0,010 <sup>1</sup>
gamma-Chlordane	-	-	-	<0,0008			<0,0004
o,p'-DDE	-	-	-	<0,0020			<0,0010
Endosulfan I	-	-	-	<0,0004			<0,0002
alpha-Chlordane	-	-	-	<0,0004			<0,0002
p,p'-DDE	0,002	0,007	0,05	<0,0010			<0,0005
Dieldrine	0,0001-0,0008	0,002	0,03	<0,0008			<0,0004
o,p'-DDD	-	-	-	<0,0020			<0,0010
Endrine	0,001	0,008	0,05	<0,0040			<0,0020
Endosulfan II	-	-	-	<0,0004			<0,0002
p,p'-DDD (TDE)	0,002	0,01	0,06	<0,0020			<0,0010
Endrine aldéhyde	-	-	-	<0,0012			<0,0006
Endosulfan sulfate	-	-	-	<0,0020			<0,0010
o,p'-DDT	-	-	-	<0,0020			<0,0010
p,p'-DDT	-	-	-	<0,0040			<0,0020
DDT	0,006	0,009	0,05	<0,0040			<0,0020
Endrine cétone	-	-	-	<0,0018			<0,0009
Méthoxychlore	-	-	-	<0,018			<0,009
Mirex	0,0001	0,011	0,05	<0,0020			<0,0010


\* Centre Saint-Laurent (CSL) et ministère de l'Environnement du Québec (MENV-Q), 1992.

SSE Seuil sans effet

SEM Seuil d'effets mineurs

SEN Seuil d'effets néfastes

- Pas de critère pour ces paramètres

 Fonction du pourcentage de COT (carbone organique total)

120 Résultat dépassant le seuil d'effet néfaste

<0.010<sup>1</sup> Présence d'interférences, l'absence du composé a été confirmée par GC-MS

Les fractions granulométriques mesurées indiquent, pour les échantillons F1-1 et F3-1, une texture limono-sableuse alors que pour les échantillons F4-1 et F2-1, on observe une texture à dominance sableuse avec une faible proportion de silt.

Les relevés granulométriques visuels et tactiles réalisés le long de 11 transects, par la firme Biotope enr. en 1999 et les résultats d'analyses granulométriques réalisées en laboratoire sur des échantillons récoltés à l'hiver 2002, confirment la variabilité ou l'hétérogénéité de la texture des sédiments à la surface du delta du ruisseau Castle. Ce constat peut s'expliquer, entre autres, par les variations de débit du ruisseau, par le déplacement latéral du lit du cours d'eau sur la surface du delta (chenaux abandonnés et comblés de sédiments fins), par la variation des niveaux d'eau du lac ainsi que par l'action des courants et des vagues du lac (dérive littorale et étalement).

## 5.2 QUALITÉ DES SÉDIMENTS

Les analyses chimiques en laboratoire ont été effectuées par le laboratoire Bodycote, Essais de matériaux Canada pour ce qui est des métaux, des biphényles polychlorés (BPC), des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et des pesticides organochlorés.

Tel que spécifié dans le mandat, seulement deux des quatre échantillons de sédiments récoltés ont fait l'objet d'analyses chimiques. Les méthodes d'analyse utilisées en laboratoire sont celles recommandées par le guide méthodologique ci-haut mentionné. Le programme de contrôle de qualité a été réalisé au moyen d'échantillons contrôlés, de blancs, de duplicata et d'ajouts dosés. Le programme de contrôle de la qualité suivi par le laboratoire Bodycote est présenté à l'annexe VI.

Les certificats d'analyses ainsi que les résultats des contrôles de qualité au laboratoire sont présentés à l'annexe V du présent rapport. Ces certificats permettent d'attester de la validité des résultats obtenus.

Les résultats d'analyses indiquent (voir tableau 1), pour la majorité des paramètres analysés (BPC, HAP et pesticides), que les concentrations mesurées dans les deux échantillons (F1-1 et F4-1) se situent en bas ou près des limites de quantification des méthodes d'analyses utilisées. Pour ces paramètres, les résultats d'analyses se situent sous ou près du seuil sans effet (SSE) des critères du Centre Saint-Laurent (CSL, 1992).

En ce qui a trait aux métaux, les résultats d'analyses indiquent, pour le chrome, des concentrations se situant entre le seuil d'effets mineurs et le seuil d'effets néfastes alors que pour le nickel les résultats d'analyses des deux échantillons indiquent des concentrations dépassant de près du double le critère du seuil d'effets néfastes du CSL. On observe donc, pour les deux échantillons de sédiments analysés, une contamination en nickel dépassant largement le critère critique.

Il n'est présentement pas possible de préciser, à ce stade de caractérisation préliminaire des sédiments (stade exploratoire), si ce type de contamination s'étend sur toute la superficie du delta sub-aquatique. Cependant, la localisation des échantillons (espacés de 200 mètres, voir plan en pochette) ainsi que leur texture différente (sablo-silteuse pour F1-1 et sableuse pour F4-1) laisse à penser que la contamination pourrait couvrir l'ensemble de la surface du delta.

### 5.3 GESTION ET DISPOSITION DES SÉDIMENTS

Tel que démontré à la section précédente, au moins une partie des sédiments de la surface du delta est contaminée en nickel. Afin de préciser la profondeur et l'étendue de cette contamination, il faudrait procéder à une caractérisation exhaustive de ces sédiments.

Le niveau de contamination mesuré rend pratiquement impossible leur disposition, après dragage, en milieu aquatique. L'option ou scénario à considérer est une disposition en milieu terrestre. Les critères de gestion ou de disposition de sédiments contaminés en milieu terrestre sont différents et ces derniers, lorsqu'ils sont sortis de l'eau et transportés en milieu terrestre, doivent être considérés comme des sols et les critères à être utilisés pour déterminer leur niveau de contamination sont ceux utilisés pour les sols (MENV, 1999).

Si on considère les concentrations en nickel mesurées dans les sédiments et qu'on prend, pour en déterminer leur niveau de contamination, les critères des sols contenus dans la Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés du Ministère de l'Environnement du Québec (MENV, 1999), on obtient alors un niveau de

contamination se situant dans la plage B-C, ce qui implique une gestion particulière de ces sols.

Selon la grille de gestion intérimaire des sols contaminés excavés contenue dans la Politique du MENV, on recommande, pour la gestion des sols contaminés dans la plage B-C, une des trois méthodes qui suit:

- une décontamination optimale dans un lieu de traitement autorisé;
- une utilisation comme matériaux de remblayage sur le terrain d'origine à la condition que leur utilisation n'ait pas pour effet d'augmenter la contamination du terrain et que l'usage du terrain soit à vocation commerciale ou industrielle;
- une utilisation comme matériaux de recouvrement journalier dans un lieu d'enfouissement sanitaire (LES).

Sur la base des données actuellement disponibles, il n'est pas possible d'identifier clairement la source de contamination en nickel des sédiments du delta. Selon la nature et les caractéristiques physiques de la roche en place et des dépôts meubles présents dans le bassin versant, il pourrait s'agir d'une contamination d'origine naturelle (bruit de fond élevé pour les paramètres problématiques). Il est toutefois possible que les eaux de drainage provenant de l'autoroute puissent être responsable ou contribuer à la contamination des sédiments en chrome et en nickel. Il est évident qu'il faudra identifier la source de la contamination et s'assurer qu'elle soit éliminée avant de procéder éventuellement au dragage, puisque dans le cas contraire, la zone draguée se contaminerait à nouveau.

## **6.0 CONCLUSION**

## 6.0 CONCLUSION

---

Les causes de la sédimentation observée à l'embouchure du ruisseau Castle sont multiples et ne seraient pas uniquement anthropiques. Plusieurs modifications et aménagements dans ce bassin versant ont pu modifier quelque peu la dynamique de ruissellement et d'infiltration des précipitations (pluies et neige). Le déboisement et le décapage de surface en pente forte (pistes de ski) ainsi que le déboisement des berges et des rives du ruisseau Castle ont pu provoqué, de façon ponctuelle, l'érosion de dépôts meubles et le transport de sédiments. Ces événements, malgré leur effets notable et leur contribution en apport de sédiments sur le delta, ont fait l'objet de mesures d'atténuation telles que la restauration des berges du ruisseau en 1984 (Projet Berges Neuves) et la construction d'un bassin de sédimentation au pied des nouvelles pistes de ski en 1988.

Le relief prononcé du bassin versant, la faible épaisseur des dépôts meubles, les crues printanières ainsi que les événements climatiques majeurs sont, cependant, autant de causes naturelles favorisant l'érosion des sols. Les eaux de ruissellement chargées de sédiments s'écoulent vers le ruisseau et aboutissent au lac. À son arrivée dans le lac, la vitesse du courant du ruisseau diminue grandement et les sédiments transportés sont rapidement déposés.

Selon une étude hydrologique (Teknika inc., 2001), réalisée dans le but d'évaluer l'apport hydrique additionnel relié aux aménagements du centre de ski et à la fabrication de la neige artificielle, le déboisement des pistes de ski et l'apport de neige supplémentaire sur le mont Orford auraient peu d'impact sur le débit de la crue printanière. La problématique d'érosion du ruisseau Castle serait surtout reliée à la crue printanière, aux conditions naturelles défavorables du relief montagneux du bassin versant et aux événements climatiques majeurs.

Les données bathymétriques recueillies et l'analyse des niveaux d'eau du lac depuis les cinq dernières années confirment qu'au cours de périodes de faible hydraulité (niveau du lac plus bas), des problèmes de navigation et d'accessibilité surviennent à l'embouchure du ruisseau Castle, soit au niveau de son delta sub-aquatique.

Il n'a pas été possible de relier les différentes couches de sédiments (stratigraphie) observées dans le delta avec les aménagements et interventions réalisés à l'intérieur des limites du bassin versant du ruisseau Castle. Tel que décrit, la dynamique fluviale du ruisseau Castle à son embouchure (déplacement latéral du lit), les interventions qui ont affecté la surface du delta (excavations de voies d'accès pour les bateaux et mouilles), les augmentations subites de débit (pluies diluviennes) ainsi que la dynamique lacustre (étalement des sédiments par les vagues et les courants) sont autant de facteurs ayant pu en modifier la stratigraphie.

Les résultats d'analyses chimiques d'au moins une partie des sédiments présents à la surface du delta indiquent que ceux-ci sont contaminés en nickel et à un moindre degré en chrome.

Une étude récente (Roche, août 2002), visant à évaluer la qualité des sédiments sur les plages localisées au nord de l'embouchure du ruisseau Castle (plages Southière et Municipale), a permis d'identifier, suite à la caractérisation des sédiments du lit du ruisseau, la principale source de contamination (en nickel et chrome) des sédiments de la surface du delta. La source de contamination serait localisée à la tête du bassin versant où il y aurait présence d'un gisement de roche et des dépôts meubles (till) riches en nickel et chrome. Tel que mentionné précédemment, il est essentiel de tarir ou, du moins, d'atténuer grandement la source de contamination avant de procéder à une éventuelle réhabilitation des sédiments ou une décontamination de la surface du delta. L'ajout de bassins de sédimentation directement à l'aval de la source de contamination ainsi que la stabilisation et la protection des rives du ruisseau et de ses tributaires devraient être considérés comme mesures d'atténuation efficace pour diminuer l'apport de contaminants.

Si des travaux de dragage étaient réalisés, la disposition des sédiments de dragage contaminés en milieu aquatique ne sera probablement pas permise. Il n'existe présentement pas, au Québec, de site de traitement capable de décontaminer ces sédiments (méthode ou technologie non disponible). Leur disposition en milieu terrestre pourra être envisagée à la condition de les acheminer dans un site déjà

autorisé à recevoir des sols contaminés dans la plage B-C (soit comme matériel de recouvrement journalier dans un LES) ou de les confiner à proximité du site.

L'excavation (dragage) d'une couche de sédiments à la surface du delta du ruisseau Castle pourra avoir un impact direct sur la dynamique sédimentaire et le bilan sédimentaire de la plage Southière (plage privée) localisée au nord du delta. En effet, les sédiments du delta constituent la principale source d'approvisionnement de matériel granulaire (sable et graviers) pour cette plage. Le maintien de cette plage est donc étroitement lié à cette source de sédiments.

La décision de procéder à des travaux de dragage sur le delta du ruisseau Castle devra être prise en accord avec tous les groupes d'intervenants du milieu. Il faudra examiner attentivement les avantages et les inconvénients que cela comporte. L'embouchure d'un ruisseau est un milieu dynamique qui évolue dans le temps et tend vers un équilibre. Toute intervention dans ce milieu risque de causer des impacts dans le milieu adjacent.

Afin de s'assurer que les futurs aménagements et interventions, projetés pour ce bassin versant, soient effectués en tenant compte de sa capacité de support et en terme de développement durable et pérennité des aménagements, il serait souhaitable de procéder à la formation d'un comité de gestion du bassin versant du ruisseau Castle. Ce comité de gestion aurait, entre autres, comme fonction d'intégrer les différentes études, les inventaires et évaluations de façon à avoir une image juste et réelle des caractéristiques biophysiques, hydrographiques, hydrogéologiques (qualité des eaux souterraines) de ce bassin versant. Le comité pourrait également être en charge du plan directeur ou plan de gestion du bassin et ainsi évaluer et coordonner les projets d'aménagement, les demandes d'interventions ou les demandes de dérogation des citoyens. Finalement, le comité de gestion du bassin versant pourrait, en informant et consultant la population, servir d'interface entre les citoyens et les différents organismes ou ministères impliqués dans le développement du bassin versant du ruisseau Castle.



## **RÉFÉRENCES**

---

## RÉFÉRENCES

---

- Beaudry, Caroline, 1997. *Étude de la qualité de l'eau des principaux tributaires québécois du lac Memphrémagog: analyse et recommandations, été 1996*. Essai présenté à la faculté des Sciences en vue de l'obtention du grade de Maître en Environnement (M. Env). Faculté des Sciences, Université de Sherbrooke.
- Bernatchez, P. et Girard, F., 1996. *Caractérisation environnementale du dépotoir désaffecté du Chemin du Roy, Municipalité du Canton de Magog, Québec*. Rapport final présenté à la Municipalité du Canton de Magog. 42 p.
- Biotope enr., 1999. *Ruisseau Castle – Évaluation topographique du delta à son embouchure sur le lac Memphrémagog*. Étude réalisée pour la Municipalité du Canton de Magog. Pagination multiple.
- Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE), 1992. *Projet d'aménagement de plages au lac Memphrémagog*. Rapport d'enquête et d'audience publique #55. Gouvernement du Québec. 125 p. 5 annexes.
- Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE), 1990. *Le dragage en regard de la rivière aux Brochets dans la baie de Missisquoi*. Rapport d'enquête et d'audience publique #34. Gouvernement du Québec. Pag. multiple.
- Dubois, Jean-Marie, 1992. *Éléments de critique du rapport d'impact du Groupe-conseil Roche sur l'aménagement de plages à la tête du lac Memphrémagog: milieu physique côtier*. Rapport d'évaluation réalisé pour le groupe Opération nettoyage Magog inc. 13 p.
- Environnement Canada, 1987. *Échantillonnage et conservation des sédiments en vue de la réalisation des projets de dragage*.
- Environnement Canada et ministère de l'Environnement du Québec. 1992. *Guide méthodologique de caractérisation des sédiments*.

- Environnement Canada et ministère de l'Environnement du Québec. 1992. *Critères intérimaires pour l'évaluation de la qualité des sédiments du Saint-Laurent*.
- Memphrémagog – Conservation, inc., 1998. *Schéma d'aménagement du ruisseau Castle (version provisoire)*. Schéma produit par Pierre Jutras, ing., pour la Municipalité du Canton de Magog.
- Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec (MEF), 1994a. *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, Cahier 1: Généralités*. 65 p. + annexes.
- Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec (MEF), 1995. *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales Cahier 5: Échantillonnage des sols*. 53 p. + annexes.
- Ministère de l'Environnement du Québec (MENV), 1999a. *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés*. 124 p.
- Ministère de l'Environnement du Québec (MENV), 1999b. *Guide de caractérisation des terrains*. 92 p.
- Roche Itée, Groupe-conseil, 1988. *Parc littoral récréo-touristique, lac Memphrémagog. Étude d'impact sur l'environnement – Plage et marina*. Rapport final. 238 p. Dossier photographique et annexe (4).
- Roche Itée, Groupe-conseil, 1990. *Aménagement de plages au lac Memphrémagog. Étude d'impact sur l'environnement*. Rapport principal, version finale. 171 p. Dossier photographique et annexe (11).
- Teknika inc., 2001. *Étude sur l'érosion du ruisseau Castle*. Étude réalisée pour le Ministère de la Faune et des Parcs du Québec. 25 p. et 1 annexe.
- Teknika inc., 1989. *Construction d'un bassin de sédimentation - Étude de cas Station de ski du Mont Orford*. Conférence donné par Bertrand Côté, ing., M.Sc.A. Québec, 69<sup>e</sup> Congrès de l'Association générale des Hygiénistes et Techniciens municipaux (11-15 Septembre 1989), Texte des conférences. 41 p.

## **RESTAURATION DU DELTA DU RUISSEAU CASTLE**

**VOLET 2: JUSTIFICATION ET PERTINENCE DU  
PROJET DE DRAGAGE DE  
L'EMBOUCHURE DU RUISSEAU**



Municipalité du Canton de Magog

## **RESTAURATION DU DELTA DU RUISSEAU CASTLE**

### **VOLET 2: JUSTIFICATION ET PERTINENCE DU PROJET DE DRAGAGE DE L'EMBOUCHURE DU RUISSEAU**

**RAPPORT FINAL**

NOVEMBRE 2002

**ROCHE**

N/Réf. : 22331-001

3075, ch. des Quatre-Bourgeois  
Sainte-Foy (Québec) G1W 4Y4  
Téléphone :  
(418) 654-9600  
Télécopieur :  
(418) 654-9699

## **ÉQUIPE DE TRAVAIL**

---

➤ **Roche Itée, Groupe-conseil**

Claude Vézina, biologiste, directeur de projet

Daniel Gamache, géomorphologue, chargé de projet

Jacqueline Roy, biologiste

➤ **Municipalité du Canton de Magog**

Daniel Charron, inspecteur-adjoint

➤ **Fondation des lacs et rivières du Canada**

Bertrand Côté, ing., M.Sc.A

## TABLE DES MATIÈRES

---

Table des matières.....	i
Liste des tableaux.....	ii
Liste des figures .....	ii
1. Introduction .....	1
2. Éléments de justification .....	2
2.1 La restauration d'un milieu contaminé .....	2
2.2 Les effets sur l'alimentation en eau potable dans le lac .....	6
2.3 L'eutrophisation du milieu .....	7
2.4 Les frayères, les déplacements des espèces et les habitats fauniques .....	10
2.5 Les activités récréatives .....	12
2.5.1 La navigation de plaisance .....	12
2.5.2 La baignade et la qualité des plages .....	15
2.6 La valeur foncière des propriétés riveraines .....	16
3. Conclusion et recommandations.....	18
Documents consultés .....	20

## LISTE DES TABLEAUX

---

Tableau 1	Résultats des analyses physico-chimiques des sédiments (2002) - Embouchure du ruisseau Castle .....	2
-----------	--	---

## LISTE DES FIGURES

---

Figure 1	Gestion théorique du lac et niveaux d'eau réels.....	13
----------	--	----



## **1.0 INTRODUCTION**

## 1. INTRODUCTION

---

La municipalité du Canton de Magog s'interroge sur l'opportunité de procéder au dragage de l'embouchure du ruisseau Castle afin de récupérer les usages du ruisseau et du lac Memphrémagog. Certains responsables de la municipalité s'inquiètent du fait que les sédiments présents à l'embouchure pourraient représenter une nuisance environnementale et économique.

La municipalité a mandaté Roche Itée, Groupe-Conseil, afin d'obtenir une vue globale de la problématique et d'évaluer l'opportunité de procéder à l'enlèvement de ce dépôt. Le premier volet, qui a fait l'objet d'un rapport en avril dernier, avait comme objectif d'étudier les caractéristiques morpho-sédimentologiques du delta (bathymétrie, variation de niveau, taux de sédimentation) et de déterminer les caractéristiques physico-chimiques des sédiments récemment accumulés.

Le second volet, qui fait l'objet du présent rapport, vise à analyser les différents éléments qui permettent de justifier ou non une intervention de dragage au niveau du delta ainsi que ceux qui font que le projet pourrait ne pas être accepté par les citoyens et les autorités gouvernementales. Sur cette base, la municipalité pourra décider d'aller ou non de l'avant avec le projet préconisé.

## **2.0 ÉLÉMENTS DE JUSTIFICATION**

## 2. ÉLÉMENTS DE JUSTIFICATION

L'objectif visé par le projet de dragage éventuel du dépôt de sédiments qui s'est accumulé à l'embouchure du ruisseau Castle est la récupération de tous les usages potentiellement affectés par sa présence, autant au niveau du ruisseau Castle qu'au niveau du lac Memphrémagog. Le présent chapitre examine les différents usages qui sont faits de ces deux milieux et comment le dépôt en question peut leur nuire ou les affecter. On pourra ainsi déterminer si ces éléments peuvent constituer ou non une justification solide et défendable de procéder à des travaux d'intervention.

### 2.1 LA RESTAURATION D'UN MILIEU CONTAMINÉ

Lors des relevés effectués à l'hiver 2002 dans le cadre du volet 1 du présent mandat, des échantillons de sédiments provenant du delta du ruisseau Castle ont été prélevés et analysés pour en déterminer la qualité. Ces analyses ont démontré la présence de concentrations élevées en nickel (supérieures au seuil d'effets néfastes des critères intérimaires) et en chrome (entre le seuil d'effets mineurs et le seuil d'effets néfastes) (tableau 1). Pour chacun des métaux, les deux échantillons analysés montrent des concentrations similaires (120 et 100 mg/kg pour le nickel et 76 et 71 mg/kg pour le chrome), ce qui peut laisser croire que la contamination est répartie sur l'ensemble du delta.

**Tableau 1**    *Résultats des analyses physico-chimiques des sédiments (2002) - Embouchure du ruisseau Castle*

<i>Paramètres</i>	<i>Critères intérimaires</i>			<i>Embouchure ruisseau Castle</i>	
	<i>Niveau 1</i>	<i>Niveau 2</i>	<i>Niveau 3</i>	<i>Station</i>	
	<i>SSE</i>	<i>SEM</i>	<i>SEN</i>	<i>F1-1</i>	<i>F4-1</i>
Nickel	35	35	61	120	100
Chrome	55	55	100	76	71

Il est important de mentionner que ces critères intérimaires pour l'évaluation de la qualité des sédiments ont été définis pour le fleuve Saint-Laurent en fonction des concentrations de fond qu'on y observe et des effets sur les organismes benthiques. Ainsi, des concentrations en un seul paramètre donné supérieures au seuil d'effets néfastes (SEN) auraient des effets sur 90 % des organismes benthiques du fleuve. Comme le lac Memphrémagog est susceptible d'avoir des concentrations de fond différentes de celles du fleuve, ces critères doivent donc être appliqués avec discernement.

Le nickel est un métal bioaccumulable par certains organismes. À pH neutre, le nickel présent dans les sédiments se lie aux hydroxydes de fer et de manganèse. En conditions anaérobies, il peut former des complexes insolubles avec les sulfures. Quant au chrome, il n'y a pas d'évidence de bioaccumulation ou de bioamplification dans les maillons de la chaîne alimentaire. En conditions anaérobies,  $\text{Cr}^{4+}$  est réduit en  $\text{Cr}^{3+}$ .  $\text{Cr}^{4+}$  est plus facilement biodisponible que  $\text{Cr}^{3+}$ , et il est considéré sous sa forme la plus toxique (Environnement Canada, 1994).

Les effets biologiques néfastes du chrome comprennent une diminution de la diversité et de l'abondance, une hausse de la mortalité ainsi que des modifications comportementales chez les organismes benthiques, entre autres. Les organismes benthiques sont exposés, par contact superficiel ou ingestion de sédiments, au chrome particulaire ou dissous dans les eaux interstitielles et sus-jacentes, ainsi qu'au chrome lié aux sédiments. La biodisponibilité du chrome varie en fonction de sa répartition entre les phases dissoute et particulaire; on connaît toutefois mal les facteurs qui ont une incidence sur la toxicité ou la biodisponibilité du chrome.

Le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME, 1999) a établi des recommandations provisoires pour le chrome. Ainsi, une concentration de 37,3 mg/kg de chrome est considérée comme ayant rarement des effets biologiques néfastes (RPQS: recommandations provisoires pour la qualité des sédiments). Au-delà de 90,0 mg/kg, les sédiments sont jugés comme ayant souvent des effets biologiques néfastes (CEP : concentration produisant un effet probable). Entre les deux critères, les concentrations ont parfois des effets biologiques néfastes; les concentrations

mesurées dans l'embouchure du ruisseau Castle sont de 71 et 76 mg/kg; elles peuvent donc être jugées comme ayant parfois des effets biologiques néfastes.

En ce qui a trait au nickel, le CCME n'a pas encore défini de critère permettant de juger de l'effet des concentrations mesurées.

Si l'on applique le cadre de gestion défini en fonction de la grille des critères intérimaires pour l'évaluation de la qualité des sédiments du fleuve Saint-Laurent (Environnement Canada et MENV, 1992), lorsque les concentrations sont supérieures au SEN, les sédiments ne peuvent être rejetés en eau libre advenant un éventuel dragage. Toujours selon ce cadre de gestion, lorsque la concentration d'une seule substance excède le seuil d'effets néfastes (SEN), il faut procéder à l'identification et au contrôle des sources de contamination et considérer la possibilité d'entreprendre un processus de restauration. Une évaluation environnementale et une analyse de risques devraient être réalisées.

Chaque cas de restauration étant unique, le niveau de décontamination à atteindre variera selon la situation qui prévaut au site à restaurer ou dans son environnement immédiat. Avant d'en arriver à l'établissement de ce niveau, les paramètres suivants devront être analysés : les teneurs de fond locales, la qualité des sédiments adjacents au site à restaurer, les effets réels sur l'environnement, les risques pour la santé ou la sécurité humaine, les conditions hydrodynamiques, la faisabilité technique du projet de restauration ainsi que ses impacts socio-économiques (Environnement Canada et ministère de l'Environnement, 1992). Pour l'instant, dans le cas du ruisseau Castle, plusieurs paramètres ne sont pas disponibles pour nous permettre de juger si la restauration est la meilleure option possible et si celle-ci justifie à elle seule le dragage de l'embouchure.

Une étude récente (Roche, août 2002), visant à évaluer la qualité des sédiments sur les plages localisées au nord de l'embouchure du ruisseau Castle (plages Southière et Municipale), a cependant permis d'identifier, suite à la caractérisation des sédiments du lit du ruisseau, la principale source de contamination (en nickel et chrome) des sédiments de la surface du delta. La source de contamination serait localisée à la tête

du bassin versant où il y aurait présence d'un gisement de roche et des dépôts meubles (till) riches en nickel et chrome.

Si les sédiments devaient être dragués, ceux-ci devront être disposés en milieu terrestre. Lorsque gérés en milieu terrestre, ils deviennent des sols et les critères de contamination à utiliser pour en déterminer la gestion sont ceux utilisés pour les sols. Selon les concentrations obtenues, les sédiments dragués se situeraient dans la plage de sols B-C. Ils pourraient être utilisés comme matériel de remblayage en milieu terrestre à condition que leur dépôt n'ait pas pour effet d'augmenter la contamination du terrain et que l'usage de ce terrain soit à vocation commerciale ou industrielle et non récréatif.

Le matériel sédimentaire fin extrait lors des activités de dragage est généralement riche en matière organique et en argile; il est habituellement dépourvu d'oxygène (conditions anaérobiques) et peut contenir des quantités appréciables de sulfures. Sous de telles conditions anoxiques, les composés de métaux lourds, et en particulier les formes sulfurées, sont habituellement stables. Certains sédiments peuvent devenir modérément ou fortement acides dans les conditions d'oxydation qui accompagnent l'assèchement et l'égouttement lors d'une mise en dépôt terrestre. Cet environnement a un potentiel élevé de mobilisation des métaux. Ainsi, lorsque des sédiments anoxiques sont exposés à l'air libre, les conditions redox sont changées et il se produit une transformation dans la forme des liens des métaux lourds qui en rendent certains plus disponibles. Les nouveaux environnements de mise en dépôt peuvent donc offrir un potentiel de mobilisation élevé à des métaux potentiellement toxiques lorsque les conditions environnementales sont changées. Les sédiments peuvent alors présenter un risque qui doit être évalué en fonction de la présence et de l'exposition des populations biologiques et des habitats présents dans ou à proximité des nouveaux milieux de mise en dépôt.

En résumé, les sédiments présentent des concentrations élevées en nickel et, dans une moindre mesure, en chrome. Ces métaux sont potentiellement bioaccumulables et biodisponibles sous certaines conditions et peuvent donc représenter une nuisance

réelle. Toutefois, avant de décider d'intervenir et de choisir une option de restauration, le promoteur devra:

- Établir les concentrations de fond locales et déterminer s'il s'agit d'une contamination ponctuelle ou simplement du reflet des conditions générales du lac;
- S'il s'agit d'une source ponctuelle, il faudra en premier lieu la trouver et la tarir, puis déterminer l'étendue de la contamination (profondeur et superficie) sur le delta;
- Évaluer plus précisément les effets réels sur l'environnement et la santé (et trouver un site de dépôt en milieu terrestre qui soit sécuritaire)
- Évaluer la faisabilité technique et économique du projet de restauration

## **2.2 LES EFFETS SUR L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DANS LE LAC**

La prise d'eau de plusieurs municipalités est située sur la rive est du lac, au sud de l'île Charest. Selon l'analyse de l'hydrodynamique littorale, il est fort peu probable qu'elle soit affectée par le transport sédimentaire provenant de l'embouchure du ruisseau Castle. En effet, les sédiments transportés du delta du ruisseau Castle cheminent vers le nord le long de la rive ouest du lac pour éventuellement s'accumuler, si les conditions le permettent et selon leur granulométrie, le long de la plage Southière, de la plage municipale puis des plages de la Pointe Merry. Éventuellement, ils pourraient être transportés vers la rivière Magog. Il est peu probable qu'ils cheminent vers la rive est du lac, de l'autre côté de la rivière Magog. Le secteur où est situé la prise d'eau est plutôt influencé par les courants de dérive littorale qui remontent du sud vers le nord le long de la rive est du lac. La possibilité qu'à long terme, la présence d'un dépôt sédimentaire à l'embouchure du ruisseau puisse avoir un impact négatif sur la qualité de l'eau du lac servant à l'approvisionnement en eau potable est très faible. En effet, la présence de sédiments avec des teneurs élevées en certains métaux n'est pas de nature à affecter significativement la qualité de l'eau tant que les sédiments demeurent dans les mêmes conditions anaérobiques qu'actuellement, puisque les liens sédiments-métaux sont stables sous de telles conditions et tant que les sédiments ne seront pas remaniés, brassés ou sortis de l'eau, ces liens demeureront stables et il y aura peu, voire pas, de remise en solution.



## 2.3 L'EUTROPHISATION DU MILIEU

L'accumulation d'un dépôt sur le delta pourrait par ailleurs contribuer à la prolifération de plantes aquatiques. Ce dernier phénomène dépend de plusieurs facteurs dont la température de l'eau, la profondeur d'eau, l'ensoleillement et les apports en substances nutritives.

Des relevés effectués en 1988 (Robert, 1988) ont montré un réchauffement notable de la température de l'eau le long du ruisseau Castle. Ainsi, entre l'endroit où le ruisseau croise la route 141 (près du Mont Orford) et un point situé à environ 350 m en amont de l'embouchure, la différence de température en été (juin à août) atteint de 4 à 5 °C. Au cours de l'été 1988 (juin à août), la température de l'eau à l'embouchure du ruisseau Castle a oscillé entre 17 °C et 28,4 °C. En juillet, la température était régulièrement de l'ordre de 25 °C. Bien que ces données datent de plusieurs années, rien ne laisse croire que la situation ait changé drastiquement.

En effet, l'ensoleillement du ruisseau est probablement un facteur important du réchauffement entre l'amont et l'aval; la végétation riveraine arbustive et arborée susceptible de fournir un ombrage au cours d'eau est absente en plusieurs endroits et les rives anthropiques en maints secteurs contribuent également au réchauffement graduel de l'eau du ruisseau. Ce problème pourrait avantageusement être réglé par une revégétalisation des rives du ruisseau plutôt que par un approfondissement de l'embouchure, lequel aura un très faible effet sur la diminution de la température compte tenu du temps de résidence de l'eau sur le delta.

Comme le cours d'eau évacue un certain débit à l'embouchure, les eaux empruntent préférentiellement le chenal le plus profond et le temps de résidence n'est pas élevé. Une mince tranche d'eau peut subsister sur les hauts-fonds, mais cette eau aura plutôt tendance à s'évaporer ou à s'absorber dans le substrat lors des chaudes journées d'été. Une fois passé l'embouchure comme telle du ruisseau, ces eaux s'écoulent en surface du lac puisque celui-ci est stratifié en été. Il est certain que plus grande est la profondeur d'eau, moins le réchauffement est important; toutefois, en pratique, compte tenu de la vitesse d'écoulement et de la petite superficie en cause, l'augmentation réelle à l'échelle de la zone nord du lac est très faible, bien que difficile

à chiffrer. De plus, bien que l'effet de l'augmentation de la température soit réel, il est vraisemblablement très ponctuel, compte tenu de l'importance des apports du ruisseau Castle par rapport à l'ensemble du lac (le ruisseau représente 2% du bassin versant, dont 2% des apports).

Outre la température de l'eau, l'ensoleillement et la profondeur, les plantes aquatiques ont besoin d'éléments nutritifs pour se développer, et particulièrement du phosphore. Les résultats de l'étude de Robert en 1988 (Robert, 1988) indiquent que les concentrations, à cette date, étaient généralement sous le seuil de détection de la méthode utilisée (soit inférieures à 0,02 mg/l de P) et sous le seuil associé à un risque de prolifération de plantes aquatiques (également de 0,02 mg/l dans le cas de cours d'eau se jetant dans des lacs dont le contexte environnemental n'est pas problématique – ce critère vise à limiter la nuisance causée par les algues et les plantes aquatiques dans les lacs) (MENV, 2001).

Un rapport sur l'état de situation de la qualité des eaux du lac Memphrémagog, durant les étés 1996, 1997, 1998 et 1999, montre, pour le phosphore total, des concentrations se situant entre 0,01 et 0,015 mg de P/L (MENV, 1999). Ces concentrations indiquent un niveau trophique<sup>1</sup> correspondant à la portion inférieure du stade mésotrophe alors que théoriquement, compte tenu de sa profondeur et de son volume, le lac Memphrémagog devrait être au stade oligotrophe.

Les données mesurées en 1999, dans la partie du lac localisée au nord de l'Île Molson, sont plus faibles, pour la plupart, que celles obtenues durant les trois années précédentes. Selon ces données on considère, pour 1999, que le lac a affiché une

---

<sup>1</sup> Niveau trophique: relatif à la nutrition

- Stade oligotrophe: eaux contiennent peu de matière nutritive dissoute mais sont riches en oxygène.
- Stade mésotrophe: milieu limnique de type oligotrophe dégradé, caractérisé par un déficit relatif en oxygène et un enrichissement des sédiments en matière organique putrescibles.
- Stade eutrophe: eaux riches en matières nutritives et peu oxygénées en profondeur.

cote oligotrophe de Magog à l'Île Molson en ce qui concerne le phosphore. Les données de 1999 indiquent, à l'instar de celles de 1996, une amélioration de la qualité de l'eau du lac par rapport aux données historiques (MENV, 1999). Toutefois, les étés 1997 et 1998 furent très pluvieux et chauds. Les eaux du lac auraient ressenties les effets de ces conditions climatiques. Le niveau trophique du lac demeure néanmoins au stade mésotrophe inférieur, ce qui serait anormal pour un plan d'eau ayant les caractéristiques du lac Memphrémagog. Il y a donc lieu de porter une attention immédiate à la réduction de la pollution par les substances nutritives dans le lac. Les efforts de réduction des quantités de phosphore rejoignant le lac doivent être poursuivis et accentués.

Dans son rapport #49 portant sur un projet de dragage au lac Dupuis, le BAPE cite une citoyenne qui s'inquiétait du fait que « la Ville d'Estérel n'a pas prévu d'autres solutions que le dragage....pour empêcher le processus de détérioration du lac. Avant de procéder à des travaux d'une telle envergure, il serait peut-être avisé de considérer une série de mesures de conservation du lac...On pourra dans 3 ou 4 ans juger de ces mesures conservatrices et, à partir de là, avancer sur des bases solides pour établir des projets d'avenir ».

Nous sommes d'avis que les citoyens des municipalités environnantes au lac et au ruisseau Castle, riverains ou non, auront probablement le même type de réaction et suggéreront de diminuer l'érosion des rives et de rétablir la végétation riveraine afin de diminuer la température de l'eau, et de réduire encore, si possible, les apports en éléments nutritifs pour pallier au problème d'eutrophisation, plutôt que de draguer l'embouchure.

Ajoutons finalement que le développement de la végétation aquatique et riveraine en bordure de l'embouchure du ruisseau pourrait être favorisé par la faible hydraulité du bassin versant du lac, qui se traduit par des faibles niveaux d'eau au cours des dernières années (voir figure 1). Ces bas niveaux dégagent des hauts-fonds au cours de l'été, ce qui génère des conditions qui sont propices à l'établissement de plantes ayant une tolérance moyenne à l'eau.

Si les conditions moyennes d'hydraulicité se rétablissent et que les niveaux du lac sont plus élevés, ces secteurs se retrouveraient sous une tranche d'eau plus épaisse, ce qui entraînerait vraisemblablement la disparition et la diminution de certaines espèces et superficies.

## **2.4 LES FRAYÈRES, LES DÉPLACEMENTS DES ESPÈCES ET LES HABITATS FAUNIQUES**

Les principales espèces de poissons présentes dans le lac Memphrémagog sont la perchaude, l'éperlan arc-en-ciel, le brochet maillé, l'achigan à petite bouche et le meunier noir. D'autres espèces telles que la truite brune, la truite arc-en-ciel, la ouananiche, le doré jaune et le touladi sont également présentes, mais moins abondantes. Le ruisseau Castle abrite plusieurs frayères connues et vérifiées, notamment pour la truite arc-en-ciel et la truite brune. Soulignons finalement que le ruisseau Castle est reconnu comme sanctuaire de pêche (Roche, 1990).

Un des arguments potentiels soutenant la nécessité de draguer serait que ce dépôt a détruit d'importantes frayères de perchaude, de truite brune et de truite arc-en-ciel ou qu'il nuirait à l'accessibilité des frayères situées dans le ruisseau Castle.

Les perchaudes fraient dans la végétation aquatique, notamment dans les plaines inondables au printemps. L'embouchure du ruisseau Castle, actuellement pourvue de végétation riveraine et aquatique inondable au printemps, pourrait constituer un site propice à cet égard. Le dragage et l'enlèvement du dépôt et donc de cette végétation est susceptible, au contraire, de détruire ces habitats.

Les truites brune et arc-en-ciel fraient plutôt en tributaire, la première en automne (octobre environ), la seconde au printemps (avril à juin), sur des substrats de sable et gravier bien oxygénés. Selon les forages effectués, il n'y a pas vraiment de gravier dans le delta, ni en surface ni en profondeur, les sédiments étant plutôt composés de sable fin silteux sur la majorité de la profondeur. Il serait donc surprenant que les salmonidés aient déjà frayé à l'embouchure du ruisseau Castle; du moins, cette assertion est difficilement démontrable scientifiquement avec les données disponibles.

Par contre, un tel substrat pourrait actuellement être propice à la fraie de l'achigan à petite bouche qui fait son nid dans les substrats surtout graveleux, mais également sablonneux. L'enlèvement du dépôt pourrait donc théoriquement nuire à cette espèce.

Un autre élément au plan faunique serait que ce dépôt a restreint l'accès à d'autres frayères situées en amont, sur le ruisseau. Les truites brunes et arc-en-ciel migrent vers les tributaires un peu avant la fraie, laquelle se situe vers octobre et avril-juin respectivement. Durant ces mois de l'année, le niveau d'eau à l'embouchure du ruisseau est suffisant pour permettre à ces espèces de transiter du lac vers l'amont du ruisseau. Rappelons qu'un poisson a besoin d'une faible tranche d'eau pour effectuer ses déplacements, soit de l'ordre de 10 à 15 cm, ce qui est amplement disponible au moment des migrations de fraie. Mentionnons également qu'un club de conservation, en collaboration avec la FAPAQ, a placé des incubateurs pour les œufs de salmonidés dans le ruisseau Castle; un tel investissement n'aurait pas été fait si, de l'avis des professionnels de la faune, le ruisseau n'était pas accessible aux périodes critiques de déplacement.

Lors de notre visite de terrain à l'automne 2001, nous avons pu apercevoir plusieurs signes de l'utilisation de cet habitat par les espèces aviennes et les mammifères semi-aquatiques. Un tel haut-fond, entouré de végétation riveraine et aquatique, constitue un habitat de qualité pour bon nombre d'espèces qui y trouvent à la fois un abri et une source d'alimentation composée d'insectes et d'organismes benthiques. La caractérisation des sédiments de la surface du delta indique cependant qu'ils sont contaminés en métaux (voir rapport volet 1). Selon ces résultats, la valeur de cet habitat pourrait donc en être réduite. Une étude des effets de cette contamination sur la faune (terrestre, aquatique et benthique) devrait être effectuée avant d'entreprendre toute action corrective. Le dragage pourrait entraîner, à notre avis, une perte à ce niveau (habitat de qualité), laquelle devrait vraisemblablement être compensée en vertu de la Loi sur les pêches et de la Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune.

## 2.5 LES ACTIVITÉS RÉCRÉATIVES

### 2.5.1 La navigation de plaisance

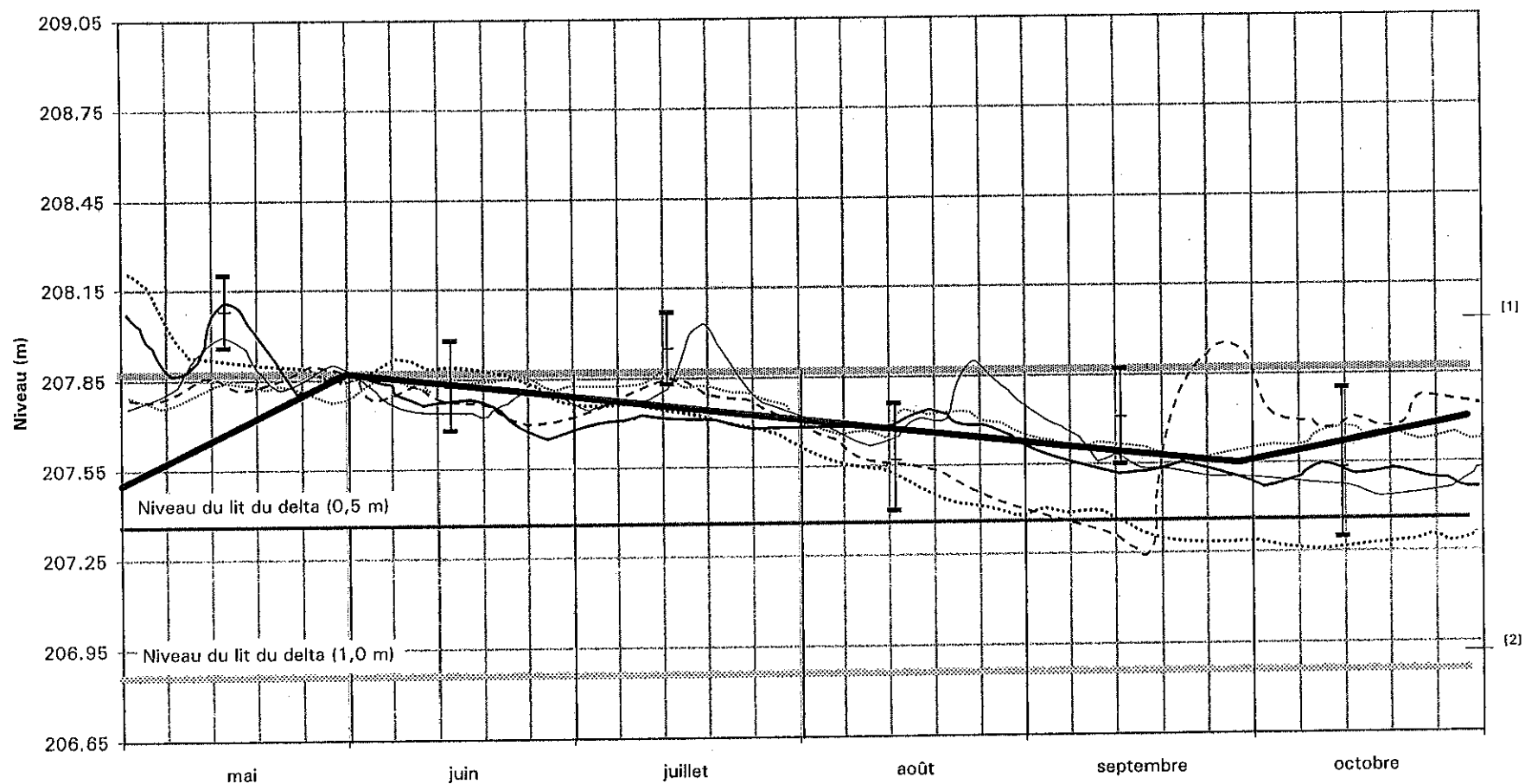
Au début et au cours des années de développement résidentiel du secteur entourant le ruisseau Castle, et particulièrement au début des années 60, ce ruisseau a fait l'objet de plusieurs interventions afin d'assurer une profondeur d'eau permettant aux résidents de transiter entre leur quai privé situé sur le ruisseau et le lac. Toutefois, avec le temps, le ruisseau tend à retrouver son profil d'origine et la sédimentation (naturelle ou liée à des modifications anthropiques, et qui s'opère surtout lors des crues et des événements climatiques majeurs) n'a pas ou peu diminué au cours des ans. Cette sédimentation, conjuguée avec les bas niveaux d'eau du lac en certaines périodes, empêche à toutes fins pratiques, la navigation dans le ruisseau Castle.

Un des objectifs visé par le dragage éventuel du dépôt de sédiments serait de restaurer les conditions de profondeur nécessaires à la navigation entre le lac Memphrémagog et les résidences situées en amont sur le cours du ruisseau Castle. Dans l'état actuel des choses, la surface du delta varie de 0,5 à 1 m sous le zéro des cartes (situé à la cote de 207,86 m). Le lit du ruisseau, directement à son embouchure, atteint 1,5 m de profondeur, alors que sur le delta, la profondeur diminue à moins de 1 m. De part et d'autre de l'embouchure du ruisseau, on observe deux zones de hauts-fonds dont la profondeur atteint moins de 0,5 m. Théoriquement, ces profondeurs devraient être suffisantes pour assurer la navigation des embarcations à faible tirant d'eau si le lac était maintenu à son niveau normal de 207,87 m.

Toutefois, en pratique, c'est la gestion du lac qui influence la profondeur réellement disponible. La figure 1 présente le niveau normal du lac ainsi que le niveau théorique à suivre pour sa gestion à partir du barrage situé sur la rivière Magog.

On y a également transposé les niveaux d'eau observés de 1997 à 2001 pour la période de mai à octobre (période de navigation) ainsi que les niveaux moyens observés de 1934 à 1988 (moyenne mensuelle et écart-type). Ainsi, bien que toutes les années ne nous soient pas disponibles, les niveaux d'eau observés au cours de la période 1997-2001, et plus particulièrement les niveaux d'eau en juillet et septembre, sont en-dessous des niveaux historiques pour la période de 1934-1988 (voir figure 1).

Figure 1 Gestion théorique du lac et niveaux d'eau réels



**Gestion niveau du lac\***

<sup>(1)</sup> Niveau maximal : 208,05 m

<sup>(2)</sup> Niveau minimal : 206,91 m

Écart entre le niveau maximal  
et le niveau minimal : 1,14 m

\*Selon une commission conjointe internationale en 1935.

Mesures de niveau revues et confirmées en 1977.

Source : Bruno d'Anglejan, MCI, 1997.

----- Niveau normal

\_\_\_\_\_ 1997

\_\_\_\_\_ 1998

----- 1999

\_\_\_\_\_ 2000

..... 2001

———— Niveau à suivre

┌─── Écart-type

├── Niveau moyen de 1934 à 1988

└── Écart-type

En août, les niveaux pour 1997 à 2001 sont compris à l'intérieur des variations observées pour la période 1934-1988, bien que situés sous la moyenne et sous les niveaux théoriques à suivre, particulièrement en 1999 et 2001.

Ainsi, la perception qu'ont les gens du milieu face à la sédimentation à l'embouchure du ruisseau Castle peut être faussée ou amplifiée par les bas niveaux du lac observés au cours des dernières saisons estivales (ce qui est probablement lié à la faible hydraulicité des cours d'eau québécois en général). En effet, lors de ces bas niveaux, une grande partie de la surface du delta se découvre et s'assèche. Rappelons qu'avant les interventions de creusage au début des années 60, l'élévation de la surface du delta devait être comparable à celle observée de nos jours.

Selon un rapport du BAPE (1992) portant sur un projet de dragage au lac Dupuis, le fait que les propriétaires riverains aient déjà pu jouir d'un chenal navigable peut constituer un argument valable pour procéder à des travaux de dragage. Toutefois, la commission souligne aussi que « même si la faible profondeur de l'eau représente un empêchement pour la circulation des embarcations motorisées, les plans d'eau québécois qui présentent cette caractéristique sont légion et il n'en devient pas pour autant nécessaire de les draguer ». La commission était également réticente à recommander le dragage, dans le cas du lac Dupuis, en raison du fait que les sédiments étaient contaminés (HAP) et que les effets sur la qualité de l'eau lors des travaux et après (compte tenu du peu de données sur le devenir de tels contaminants) étaient de nature à oblitérer les effets positifs. Dans le cas du projet du ruisseau Castle, les sédiments présentent également des concentrations élevées en certains métaux et éventuellement, il faudra prendre des précautions particulières pour les draguer et en disposer de façon sécuritaire. Il ne faut pas négliger, de plus, qu'il y aura vraisemblablement des effets récurrents sur l'environnement dus au dragage d'entretien qui devra avoir lieu à une fréquence à déterminer (ce qui cadre peu avec la notion de développement durable puisqu'il ne s'agit pas d'un projet de dragage qui restaurera les profondeurs de façon permanente) ainsi que des effets sur la dynamique sédimentaire (effet de «trappe à sédiments»), ce qui pourrait nuire au transport de sédiment (dérive littorale), notamment vers le secteur des plages Southière.



L'argumentaire positif pourrait également être limité du fait que les profondeurs qui permettaient la navigation dans le ruisseau Castle étaient le résultat d'une action humaine (dragage ou creusage des années '60) et non pas de conditions naturelles. Dans le rapport #34 du BAPE portant sur la rivière aux Brochets, la commission s'interrogeait également : « d'autres options pourraient-elles faciliter l'atteinte des mêmes buts sans modifier l'équilibre naturel de la plage littorale... ». Dans notre cas, cela implique de regarder d'autres possibilités d'arrimer les bateaux dans le secteur ou d'évaluer la possibilité de baliser un chenal d'accès passant dans la zone de 1 m pour les bateaux à plus faible tirant d'eau.

### 2.5.2 La baignade et la qualité des plages

Deux plages publiques (plage municipale et plage de la Pointe Merry) et deux plages privées (Petite plage Southière et Grande plage Southière) sont présentes dans la partie nord du lac. Celles-ci accueillent des milliers de baigneurs chaque année. La qualité du substrat est généralement l'un des éléments contribuant à l'attrait des plages publiques; force est toutefois de constater qu'actuellement, le substrat présent aux plages publiques du lac Memphrémagog est peu invitant (silt et argile avec plantes aquatiques à la plage municipale et sable et roches à la Pointe Merry).

Le lac est un milieu dynamique régi par les processus d'érosion/sédimentation. Ceux-ci dépendent entre autres des vents, des vagues et des courants de dérive littorale qui érodent, transportent ou déposent les sédiments de la rive ouest du lac vers le secteur des plages Southière, municipale puis Merry. On est donc en droit de supposer que les sédiments du delta du ruisseau Castle pourraient être transportés vers le secteur des plages et ainsi, en modifier l'aspect esthétique, selon leur granulométrie.

Dans l'ensemble, les sédiments de surface du delta du ruisseau Castle sont composés de sable ou de sable silteux. Les pourcentages de gravier sont très faibles, alors que l'argile est présente en faibles proportions. Selon les relevés effectués à la plage municipale (Roche, 1990), les sédiments y sont plus fins que ceux retrouvés sur le delta du ruisseau Castle, étant constitués d'argile silteuse avec trace de sable dans la moitié ouest et de sable et silt organique dans la moitié est. Le transport de matériaux plus grossiers vers les plages serait plutôt bénéfique quant à leur esthétique et pourrait

limiter la présence de végétation aquatique à ces endroits, particulièrement à la plage municipale. L'enlèvement du delta, au contraire, priverait les plages, notamment les plages Southière, de leur source de sable, ce qui contribuerait plutôt à leur détérioration.

## 2.6 LA VALEUR FONCIÈRE DES PROPRIÉTÉS RIVERAINES

À n'en pas douter, pour les résidents établis après les travaux majeurs des années '60 dans le ruisseau Castle, l'accès direct de la résidence au bateau puis au lac fut certainement un des éléments décisifs dans le choix d'acheter une propriété à cet endroit compte tenu de l'attrait majeur exercé par le lac Memphrémagog pour la navigation et la pêche sportive, entre autres. Il est également évident que ces résidents n'avaient pas connu le ruisseau avant ces interventions de creusage et de redressement. Pour tous ces résidents, le ruisseau était navigable et il en serait toujours ainsi.

L'un des arguments justifiant le dragage serait que la présence du dépôt pourrait entraîner une diminution de la valeur foncière des propriétés riveraines situées dans son voisinage, notamment en raison de la perte de l'accès navigable au lac et d'une dégradation prononcée du secteur.

Ici encore, les audiences du BAPE sur le projet de dragage au lac Dupuis peuvent nous éclairer. En effet, dans son rapport portant sur le dragage et l'enlèvement des îlots de la baie des Iles du lac Dupuis (BAPE, 1992), la commission s'est dit « prête à reconnaître qu'à court terme, une majorité d'acheteurs potentiels choisiraient plutôt une propriété sise en rive d'un plan d'eau dégagé et qu'effectivement, une augmentation de la valeur marchande des propriétés riveraines de la baie pourrait en découler. La commission rejette toutefois l'argument du promoteur à l'effet que la non-réalisation du projet pourrait entraîner une diminution de cette valeur. En effet, ... « les résidents actuels ont acquis leur propriété en toute connaissance de cause, alors que les îlots étaient déjà bel et bien présents ».

Dans le cas du ruisseau Castle, nous ne savons pas exactement combien ni quand les propriétaires riverains ont acquis leur propriété ni quand le ruisseau a cessé d'être

navigable. Pour certains propriétaires, il est probable qu'ils aient acquis leur propriété durant la période où le ruisseau était navigable, sans toutefois réaliser que ces conditions étaient en fait dues à un creusage au début des années '60. Pour ceux-ci, la perte de navigabilité du ruisseau constitue certes un irritant majeur à leur qualité de vie. Si les résidences ont été achetées avec un accès direct au lac via le ruisseau (ce qui demeure à démontrer par les actes de vente), la perte de navigabilité peut certainement entraîner une dévaluation de la résidence.

Le dragage de l'entrée du ruisseau restaurerait la navigabilité et permettrait de conserver la pleine valeur de la propriété si celle-ci est liée partiellement à cette navigabilité. Toutefois, il s'agit d'une solution à court terme puisqu'il est vraisemblable que le delta se comblera à nouveau, dans un avenir difficile à définir. Pour minimiser ce fait, l'érosion du ruisseau devrait d'abord être diminuée, notamment en poursuivant les travaux de revégétalisation et de stabilisation des rives. L'action du courant de dérive littorale ne pourra toutefois pas être contrecarrée et celle-ci continuera de contribuer au piégeage et au remplissage des parties plus profonde du delta. En somme, il s'agit d'un milieu qui tend perpétuellement à reprendre ses conditions initiales.

### **3.0 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS**

### 3. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

---

La justification de travaux de dragage sur le delta du ruisseau Castle se doit de tenir compte des points suivants:

- Le dragage détruira l'habitat faunique actuellement fourni par ce delta et les habitats riverains en périphérie, ce qui demandera probablement une compensation en vertu de la Loi sur les pêches et de la Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune;
- L'accessibilité aux frayères du ruisseau Castle n'est pas compromise par l'existence du dépôt à l'embouchure du ruisseau;
- Les possibles problèmes d'eutrophisation liés à la température et aux faibles profondeurs devraient plutôt être réglés en revégétalisant les rives du ruisseau Castle de façon à procurer de l'ombrage au-dessus de ce cours d'eau et à restaurer les rives anthropiques qui contribuent au réchauffement de l'eau;
- Dans l'éventualité d'un dragage, des conséquences sont à prévoir sur la dynamique littorale et sédimentaire de l'ensemble de la partie nord du lac, lesquelles devraient être évaluées en détails;
- L'influence de la présence de ce delta, même à long terme, sur la qualité de la source d'eau potable des municipalités environnantes et la qualité esthétique des plages est très faible;
- La dépréciation des propriétés liée à la perte de navigabilité demeure à démontrer;
- Les bénéfices du projet touchent vraisemblablement un petit nombre de personnes; considérant ce fait, il est loin d'être évident que l'ensemble des contribuables de la municipalité voudront payer pour enlever ce dépôt et faire le dragage d'entretien sur plusieurs années;
- Il existe d'autres possibilités d'amarrer un bateau dans le secteur sans dragage et sans effet négatif sur le milieu aquatique;

- Il s'agit de rétablir des conditions de navigation qui n'étaient pas là de façon naturelle;
- Du dragage d'entretien pourra être sera nécessaire, de façon périodique (peu fréquent et intervalle indéterminée), afin de maintenir ces conditions de navigabilité, ce qui cadre peu avec les principes de développement durable; des coûts récurrents sont à prévoir;

Les concentrations élevées des sédiments en certains métaux pourraient constituer l'argument le plus convainquant en faveur du dragage s'il est démontré que ces teneurs élevées proviennent d'une source ponctuelle et ne sont pas réparties sur l'ensemble du lac (bruit de fond). L'étude récente (Roche, août 2002) des sédiments de plage et des sédiments du lit du ruisseau Castle semble indiquer que cette contamination serait d'origine naturelle (gisement de nickel et chrome dans le bassin versant). Des études additionnels devront être faites afin d'étayer l'argumentaire, notamment au niveau de la source de la contamination, de la toxicité des sédiments et de leur risque réel sur l'environnement et la santé. Des coûts importants sont toutefois à prévoir pour draguer et gérer ces sédiments de façon sécuritaire en milieu terrestre. De plus, la source de cette contamination devra être tarie avant toute intervention dans le milieu.

Si la contamination du site par une source ponctuelle est démontrée et que cette dernière peut être tarie, le projet de dragage devrait alors être axé sur la restauration d'un milieu contaminé, plutôt que sur la restauration des conditions de navigation. Un tel projet aurait alors toute la justification requise pour aller de l'avant et présenterait de plus fortes chances d'être accepté par les citoyens et les autorités gouvernementales.

**DOCUMENTS CONSULTÉS**

---

## DOCUMENTS CONSULTÉS

---

- BAPE, 1992. *Projet de dragage et d'enlèvement des îlots de la baie des Îles du lac Dupuis*. Rapport d'enquête et d'audience publique. Rapport no. 49.
- BAPE, 1992. *Projet d'aménagement de plages au lac Memphrémagog*. Rapport d'enquête et d'audience publique. Rapport no. 55.
- BAPE, 1990. *Projet de dragage en regard de la rivière aux Brochets, dans la baie de Missiquoi*. Rapport d'enquête et d'audience publique. Rapport no. 34.
- CCME, 1999. *Recommandations canadiennes pour la qualité des sédiments : protection de la vie aquatique – chrome*, dans *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement*, 1999, Winnipeg, Le Conseil.
- d'Anglejan, Bruno, 1997. *Le contrôle du niveau d'eau au lac Memphrémagog*. In MCI, 1997, Newsletter.
- Environnement Canada, 1994. *Répercussions environnementales du dragage et de la mise en dépôt des sédiments*. Document préparé par Les Consultants Jacques Bérubé inc. Pour la Section du développement technologique. Direction de la protection de l'environnement, régions du Québec et de l'Ontario. No de catalogue En 153-39/1994F. 109 pages.
- Environnement Canada et ministère de l'Environnement du Québec. 1992. *Critères intérimaires pour l'évaluation de la qualité des sédiments du Saint-Laurent*.
- MENV, 2001. *Critères de qualité de l'eau de surface au Québec*. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, Québec, 430 p.
- MENV, 1999. *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés*. 124 p.



MENV et Memphrémagog Conservation inc. (MCI), 1999. *Lac Memphrémagog, État de situation de la qualité des eaux durant les étés 1996, 1997, 1998 et 1999*. Rapport publié par Sylvain Primeau, Ministère de l'environnement du Québec. Collaboration de la Patrouille des jeunes de Memphrémagog Conservation inc. Pour consultation.

Régie des eaux du Québec, 1971. *Étude de la qualité des eaux du lac Memphrémagog*. Publication no. 39. Novembre.

Robert, H. 1988. *Rapport sur le programme d'échantillonnage des deux principaux tributaires du lac Memphrémagog, à la baie de Magog*. En collaboration avec Roger H. Gagnon et P. Côté. Ministère de l'Environnement du Québec, direction régionale de l'Estrie.

Robert, H. 1990. *Rapport du programme d'échantillonnage relatif à la qualité des eaux de baignade des plages de Magog*. En collaboration avec Roger H. Gagnon et P. Côté. Ministère de l'Environnement du Québec, direction régionale de l'Estrie.

Roche, 1990. *Aménagement de plages au lac Memphrémagog. Étude d'impact sur l'environnement*. Rapport principal, version finale. Pour la Ville de Magog.

Teknika, 2001. *Étude sur l'érosion du ruisseau Castle*. Pour le ministère de la Faune et des Parcs du Québec.