

**MISE AUX NORMES DE L'EAU POTABLE - SECTEUR EST**

**ANALYSE DES CONDITIONS D'IMPLANTATION  
D'UNE PRISE D'EAU DANS LE SECTEUR DES ÎLETS  
DE LA RIVIÈRE MONTMORENCY**

*Rapport de recherche No R-692*

*Mars 2004*

**VILLE DE QUÉBEC**

**MISE AUX NORMES DE L'EAU POTABLE - SECTEUR EST**

**ANALYSE DES CONDITIONS D'IMPLANTATION D'UNE PRISE D'EAU  
DANS LE SECTEUR DES ÎLETS DE LA RIVIÈRE MONTMORENCY**

Pour le compte de

**GENECOR Civil Inc.**

Mandaté par la

**Ville de Québec**

**Mars 2004**

## COLLABORATEURS

### Pour le Consultant principal (GENECOR Civil Inc.)

Chargé de projet:

*Denis Pinard, M.Sc., Ing.*

### Pour l'Institut national de la recherche scientifique – Eau, Terre et Environnement

Bibliographie, analyse multi-critères, observations d'hiver, rédaction du rapport synthèse:

*Michel Leclerc, Ph.D., Ing. Professeur*

Géomatique, analyses topographiques:

*Paul Boudreau, M.Sc-Eau., Agent de recherche*

### Pour l'Université Laval

Analyses hydrogéologiques, dynamique des glaces, propositions de concepts d'ingénierie, relevés de terrain, rédaction:

*Brian Morse, Ph.D., Ing., Professeur*

### Pour Simon Bélanger, Consultant

Relevés de terrain relatifs aux glaces, géomorphologie, rédaction:

*Simon Bélanger, B.Sc., M.Sc., Géomorphologue*

### Pour Pagé et Leclair, Géolocation Inc.

Relevés de terrain topographiques et du substrat:

*Richard Leclair, arpenteur-géomètre*

De nombreux collaborateurs de la Ville de Québec impliqués dans la conception et l'opération des ouvrages existants et à venir ont également été consultés lors de réunions tenues à l'automne de 2003.

© INRS-ETE et Université Laval

ISBN 2-89146-519-9

Pour fins de citation : **Leclerc, M., B. Morse, S. Bélanger et P. Boudreau, (2004).** Mise aux normes de l'eau potable - Analyse des conditions d'implantation d'une prise d'eau dans le secteur des Îlets de la rivière Montmorency. Pour le compte de GENECOR- Civil et la Ville de Québec (Service de l'Ingénierie). Rapport INRS-ETE #R-692. Aussi enregistré au Dépt. de Génie civil de l'Université Laval sous le #GCT-04-06. Mars, 55 pages.

## TABLE DES MATIÈRES

<b>RÉSUMÉ EXÉCUTIF</b>	<b>VIII</b>
Constats	viii
Critères de sélection d'un site	ix
Besoins à satisfaire	x
Modes de captation proposés	x
Sites d'implantation	xi
Ré-examiner le rôle du fossé de ceinture?	xii
<b>1. CONTEXTE ET MANDAT</b>	<b>1</b>
<b>2. BIBLIOGRAPHIE ET CONNAISSANCES EXISTANTES</b>	<b>3</b>
2.1 Comportement de la station des Îlets actuelle	3
2.1.1 Le concept original : une captation souterraine sans recharge artificielle	3
2.1.2 La recharge artificielle : une solution fonctionnelle mais lourde de conséquences	5
2.1.3 Résumé des observations par rapport à la captation à la station des Îlets	6
2.2 L'expérience de captation souterraine à « l'ouvrage A » alimentant Charlesbourg	7
2.3 Risques d'inondation à l'eau libre ou par embâcle dans le secteur des Îlets	7
2.4 Géomorphologie du secteur des Îlets	9
2.5 Hydrologie à l'étiage	11
<b>3. RELEVÉS DE TERRAIN</b>	<b>13</b>
3.1 Évolution topographique	13
3.2 Évolution et accumulation du frasil	16
3.2.1 Protocole de caractérisation du frasil	17
3.2.2 Conditions atmosphériques et hydrologiques au début de l'hiver 2004	17
3.2.3 Résultats concernant le couvert de glace	18
3.2.4 Résultats concernant le frasil	19
3.2.5 En résumé	21
<b>4. CRITÈRES DE FAISABILITÉ</b>	<b>22</b>
4.1 Identification des critères	22
4.2 Discussion des critères	23
4.2.1 Adéquation par rapport aux besoins saisonniers	23

4.2.2	Interaction avec le dispositif souterrain de captation de la station des Îlets actuelle	23
4.2.3	Régime du frasil (Transport, zones d'accumulation)	23
4.2.4	Entretien, accessibilité, sécurité et éventualité de déversement accidentel de contaminants	23
4.2.5	Redondance minimale possible du dispositif	23
4.2.6	Dynamique sédimentaire (ensablement, colmatage, érosion, stabilité des berges)	23
4.2.7	Risques d'inondation, d'embâcles et d'érosion	24
4.2.8	Température et qualité physico-chimique de l'eau	24
4.2.9	Sécurité pour les activités de récréation	24
4.2.10	Nuisances liées à l'exploitation de la station de pompage (bruit, autres)	24
4.2.11	Disponibilité d'espace pour l'implantation, contraintes d'occupation	24
4.2.12	Contraintes de construction	24
 <b>5. DÉFINITION DES BESOINS SAISONNIERS ET DES MODES D'APPROVISIONNEMENT</b>		 <b>25</b>
5.1	Deux conditions climatiques discriminantes	25
5.2	Besoins à satisfaire	25
5.3	Deux modes d'exploitation à considérer: linéaire ou ponctuelle	26
5.4	Le mode de captation ponctuel des eaux de surface	27
5.5	Le mode de captation linéaire des eaux souterraines sous-fluviales	27
5.5.1	L'expérience de captation linéaire au mont Sainte-Anne	27
5.5.2	Estimation de transmissivité pour le secteur des Îlets	28
 <b>6. SITES POTENTIELS</b>		 <b>30</b>
6.1	Portée de la zone considérée	30
6.2	Sites analysés en fonction des saisons d'exploitation	30
6.2.1	Analyse des sites linéaires considérés pour une exploitation hivernale	30
6.2.2	Analyse des sites considérés pour une exploitation en mode ponctuel pour toutes les saisons sauf l'hiver	33
 <b>7. ÉLÉMENTS EXPLORATOIRES DE CONCEPTION D'UNE IMPLANTATION LINÉAIRE</b>		 <b>38</b>
7.1	Suggestions de conception	38
7.2	Colmatage	39
7.3	Stabilité du dispositif	40
7.4	Agencement de l'aménagement	41
 <b>8. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS</b>		 <b>43</b>
8.1	Diagnostic sur le comportement du dispositif de captation de la station des Îlets actuelle	43
8.2	L'expérience de l'ouvrage A desservant Charlesbourg	44

<b>8.3</b>	<b>Sur les risques d'inondation, d'embâcles et d'érosion</b>	<b>44</b>
<b>8.4</b>	<b>Sur l'hydrologie des étiages</b>	<b>45</b>
<b>8.5</b>	<b>Conclusions des relevés de terrain</b>	<b>45</b>
8.5.1	Sur l'évolution topographique dans le secteur des Îlets	45
8.5.2	Sur la présence d'un couvert de glace et de frasil	45
<b>8.6</b>	<b>Sur les critères de faisabilité à satisfaire</b>	<b>46</b>
<b>8.7</b>	<b>Sur le régime saisonnier de la demande et le mode de captation</b>	<b>46</b>
8.7.1	Sur le régime de la demande	46
8.7.2	Sur le mode de captation à implanter	47
<b>8.8</b>	<b>Sur les sites potentiels d'implantation</b>	<b>47</b>
8.8.1	Sélection de sites pour une prise d'eau linéaire souterraine	47
8.8.2	Sélection de sites pour une prise d'eau ponctuelle superficielle	47
<b>8.9</b>	<b>Sur les paramètres de conception de galeries linéaires</b>	<b>48</b>
8.9.1	Longueur d'implantation	48
8.9.2	Mesures contre le colmatage	48
8.9.3	Stabilité du dispositif	49
<b>8.10</b>	<b>Autres recommandations</b>	<b>49</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>50</b>

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Tronçon à l'étude de la rivière Montmorency (Source : Leclerc et al., 1998) .....	4
Figure 2 : Évolution géomorphologique du secteur à l'étude entre 1950 et 1995 (D'après Leclerc et al., 1998).....	10
Figure 3 : Distribution des points de mesure topographiques lors de la campagne de 2003 par Pagé et Leclair, Géolocation .....	14
Figure 4 : Topographie du site d'étude en 1996 (d'après Leclerc et al., 1998) .....	15
Figure 5 : Évolution topographique entre 1996 et 2003 représentée par les zones de déposition et d'érosion.....	16
Figure 6 : Observations de glace consolidé et de la présence de frasil en janvier 2004 en divers sites ciblés pour le prise d'eau de Beauport .....	18
Figure 7: Relevés de glace et de frasil dans la ceinture sud aval en janvier 2004 A) Transect au droit de l'extrémité de l'île Saint-Esprit; B) à 9 m en amont.....	20
Figure 8 : Localisation des sites analysés pour une implantation linéaire (sous-fluviale ou riveraine) de galeries de captation.....	31
Figure 9 : Sites analysés pour une implantation en mode ponctuel exploitable en toutes saisons sauf l'hiver.....	34
Figure 10 : Mode d'implantation suggéré de tranchée sous-fluviale et des conduites perforées...	39

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Débits d'étiage ( $m^3/s$ ) mensuels minimums sept jours consécutifs de période de retour 2 ans ( $Q_{7-2}$ ) au site actuel des Îlets (d'après une note interne du MENV, 2003).....	12
--	----

## Résumé exécutif

---

Dans la cadre de la mise aux nouvelles normes de qualité d'eau potable produite à la station des Îlets sur la Montmorency, le présent mandat a comme objectif principal de rechercher un lieu propice et définir un/des concept(s) d'implantation d'une(de) prise(s) d'eau suivant divers critères de faisabilité visant principalement la sécurité de l'approvisionnement en eau brute en fonction des besoins saisonniers.

### Constats

Les connaissances et les données disponibles sur le secteur d'étude et sur les aménagements actuels ont été revues, notamment en ce qui concerne les risques d'inondations à l'eau libre et par embâcles, la dynamique géomorphologique et sédimentaire et le régime hydrologique à l'étiage. Mais, l'examen a surtout porté sur le fonctionnement de la prise d'eau actuelle des Îlets, et accessoirement sur celui de l'ouvrage A alimentant le secteur Charlesbourg à cause de l'incidence de tels constats sur les recommandations d'implantation future. Des relevés de terrain ont également été réalisés afin de caractériser la dynamique du frasil et de la glace, facteurs pouvant s'avérer déterminants tant pour le concept d'implantation que pour le site à retenir. Enfin des relevés topographiques du lit mineur ont été réalisés afin de mettre à jour les données obtenues en 1995 et analyser la dynamique évolutive du secteur, c'est-à-dire les secteurs en érosion vs les secteurs de sédimentation.

Les principales conclusions qui sont ressorties de l'analyse du fonctionnement de la prise d'eau actuelle des Îlets sont les suivantes :

1. Le concept de captation souterraine *linéaire* à même les couches phréatiques péri-fluviales (île Saint-Esprit) proposé initialement (1982) pour la station des Îlets s'avérant insuffisant pour satisfaire à la demande normale, l'installation a évolué « par essai et erreur » vers un concept *surfacique* basé sur une recharge artificielle à même l'écoulement superficiel de la rivière de bassins de captation équipés de lits filtrants calibrés;
2. Apparemment similaire, cette évolution a cependant modifié fondamentalement l'idée originale; efficace jusqu'à un certain point, le nouveau concept a toutefois occasionné des problèmes de colmatage plus rapide que prévu des lits filtrants; ce concept requiert un décolmatage récurrent dont la fréquence s'avère indésirable ou impraticable, notamment en période de forte demande (l'été) ou l'hiver;
3. Le remblai, le réaménagement ou la fermeture de composantes importantes du réseau hydrographique à cet endroit (notamment le fossé de ceinture) ont vraisemblablement contribué à la réduction de l'efficacité du captage souterrain naturel (depuis la nappe phréatique) lequel est toujours présent sous les bassins de recharge actuels;
4. Le rendement estimé de base des conduites perforées est de 26 000 m<sup>3</sup>/jour; toutefois, une part de cet approvisionnement pourrait venir d'infiltrations parasites ne transitant pas par les

lits filtrants (raccords, regards d'accès). Une recommandation visant à préciser la source des apports de base actuels est formulée à la fin du rapport.

Concernant l'ouvrage A alimentant Charlesbourg (*via* l'aqueduc régional et le lac Des Roches), un concept de captation sous-fluviale avait été mis en place dans les années 60'. N'étant pas équipé d'un dispositif de décolmatage (*backwash*) des alluvions placés autour des conduites perforées traversant la rivière, le système s'est graduellement colmaté (sur 4 ans) et il fut finalement abandonné et remplacé par une prise d'eau traditionnelle en rive puisant l'eau à même l'écoulement superficiel. Les problèmes potentiels avec les glaces et/ou le frasil dans la Montmorency peuvent être palliés par le lac des Roches qui, par la réserve qu'il constitue, offre une souplesse opérationnelle non négligeable contrairement à la prise d'eau dans le secteur des Îlets.

Concernant les aspects reliés aux risques divers d'inondation ou d'embâcle, il est maintenant reconnu que l'ouvrage des Îlets présente un degré de vulnérabilité non-négligeable à ces aléas et qu'une future implantation devra être soustraite à ces aléas ou du moins en être immunisée.

De plus, les relevés de terrain ont permis d'identifier des zones importantes d'accumulation de frasil en hiver ainsi que les zones de déposition ou d'érosion des sédiments et alluvions dans le tronçon à l'étude. Ces informations lorsque confrontées aux critères de sélection ont permis d'opérer une sélection parmi les sites potentiels en évitant les zones contre-indiquées.

## Critères de sélection d'un site

Les critères de sélection de sites d'implantation d'une prise d'eau sont assez nombreux mais les suivants sont vraiment déterminants: *l'adéquation par rapport aux besoins saisonniers à satisfaire, l'interaction possible avec le dispositif actuel de captation de la station des Îlets, l'évitement du frasil, le besoin d'entretien, l'accessibilité, la sécurité et les éventualités de déversement accidentel de contaminants, ainsi que la redondance minimale possible du dispositif*. D'autres critères de nature plus environnementale pour les riverains et les autres usages du milieu ont été considérés. De même, la possibilité d'immunisation contre les aléas d'inondation, d'embâcle et d'érosion a été prise en compte dans la recherche de sites. La définition précise de ces critères est fournie dans le rapport.

Parmi les critères déterminants, celui relié à la sécurité de l'approvisionnement hivernal est sans doute le plus déterminant. Dans son cours inférieur (les derniers 35 km), la Montmorency est caractérisée par de fortes pentes qui retardent la formation d'un couvert de glace et favorisent la production intense de frasil en hiver. De plus, les débâcles hivernales sont récurrentes et assez fréquentes, et quelques sites (dont celui à l'étude) sont propices à la formation d'embâcles qui peuvent occasionner des dommages physiques importants aux infrastructures en rive, soit par l'érosion des berges et du lit mineur, ou simplement par la submersion des équipements. Une bibliographie importante a déjà permis d'identifier ces problématiques et de proposer des solutions.

## Besoins à satisfaire

La demande en eau de pointe à satisfaire est de 60 000 m<sup>3</sup>/j actuellement et elle se produit tard le printemps et au début de l'été. La demande en eau de la future station de traitement a été fixée à 66 000 m<sup>3</sup>/j. La demande annuelle moyenne en toutes saisons est de 35 000 m<sup>3</sup>/j.

Le rendement de base de la station actuelle est sous toutes réserves de 26 000 m<sup>3</sup>/j. Dans l'hypothèse où cet équipement serait conservé, la demande complémentaire se situe entre 9 000 m<sup>3</sup>/j en conditions normales et à 34 000 m<sup>3</sup>/j en période de pointe; nominalement, le chiffre pourrait être majoré à terme à 40 000 m<sup>3</sup>/j.

Dans l'hypothèse où l'équipement actuel serait complètement réaménagé, voire abandonné ou détruit par un événement naturel et exceptionnel, le concept de captation à mettre en place devrait satisfaire le régime de la demande en toutes saisons, c'est-à-dire 35 000 m<sup>3</sup>/j en conditions normales, été comme hiver, et 60 000-66 000 m<sup>3</sup>/j en pointe actuelle ou nominale.

Nous avons opté pour rechercher une solution répondant à l'hypothèse la plus conservatrice, soit celle correspondant à l'abandon ou la destruction de l'installation actuelle. Cette approche impliquant une désaffectation ou un réaménagement important, il est bien sûr requis de s'assurer de l'adéquation des nouvelles installations proposées avant de procéder à cette « réingénierie ». À cet égard, il est facile d'admettre que les bassins de captation actuel pourraient encore servir comme réservoirs tampons qui, s'ils ne sont pas essentiels, pourraient occasionnellement avoir leur utilité en ajoutant de la redondance à l'ensemble du futur dispositif.

## Modes de captation proposés

Deux modes de captation sont proposés : *ponctuel à même l'écoulement superficiel* et *linéaire à même l'écoulement sous-fluvial* (écoulement hyporhéique). Les deux modes sont à implanter (approche mixte) dans le but de se compléter mutuellement et d'offrir un bon degré de sécurité et de redondance à l'ensemble du dispositif.

Le *mode ponctuel* vise à répondre plus spécifiquement à la demande de pointe excédant la demande normale. Il peut également répondre à l'ensemble de la demande de pointe en situation exceptionnelle de bris ou d'entretien des autres dispositifs. L'eau puisée par le mode ponctuel peut transiter au travers des bassins déjà aménagés (avec ses lits filtrants fonctionnels pour la période de pointe) pour y subir une première décantation/filtration; elle doit aussi pouvoir être acheminée directement au poste de traitement; le cas échéant, l'eau brute peut nécessiter un traitement additionnel associé à la turbidité accrue de la rivière en période de crue. Le mode ponctuel ne peut cependant offrir une garantie de fonctionnement en période hivernale surtout lorsque la production de frasil est abondante.

Il est donc nécessaire de recourir à une approche de *type linéaire* avec captation souterraine de l'écoulement sous-fluvial, un mode qui n'est pas soumis à la contrainte hivernale. De plus, ce mode permet un pré-traitement de l'eau brute en filtrant les matières fines. Dans ce cas, nous recommandons une installation sous le lit de la rivière afin de bénéficier d'une infiltration plus directe, donc plus efficace, et éventuellement d'exploiter la capacité naturelle du lit de la rivière de s'auto-nettoyer en crues. Afin de résoudre les problèmes de colmatage comme ceux observés

à l'ouvrage A ou à l'ouvrage des Îlets actuel, un dispositif de nettoyage par contre-courant (*backwash*) doit aussi être installé. La viabilité de ce concept est vérifiée à la prise d'eau de la Station de ski Mont Ste-Anne à la rivière Sainte-Anne. Pour le poste des Îlets, le débit de conception a été fixé à 35 000 m<sup>3</sup>/j pour ce mode de captation, cette quantité devant être suffisante pour satisfaire au moins la demande normale. D'après les analyses numériques d'écoulement souterrain (programme SEEP) réalisées avec les paramètres de transmissivité du lieu (avec un coefficient de sécurité de 2), une longueur typique de 252 m de tranchée serait nécessaire. Celle-ci serait équipée de deux conduites perforées enrobées de matériaux filtrants spécialement calibrés et implantées à 2 m de profondeur sous une couche formée par les déblais d'alluvions pris sur place.

Divers paramètres d'aménagement sont également proposés dans le rapport afin de favoriser la réalisation des différentes fonctions dévolues aux équipements qu'ils soient ponctuels ou linéaire. Pour le mode ponctuel, il faut surtout s'assurer que le dispositif soit protégé contre les aléas naturels (inondations, embâcles) présents dans le secteur. Pour le mode linéaire, c'est l'immunisation contre l'affouillement de la tranchée et les possibilités de vidanger les conduites et décolmater le milieu de percolation qui sont visées.

## Sites d'implantation

Huit sites pouvant offrir une portée allant jusqu'à 300 m ont été analysés afin d'y implanter un système de galeries perforées sous-fluviales (mode linéaire). De même, six sites ont été considérés pour le mode ponctuel.

Concernant les *sites linéaires*, il est apparu que plusieurs critères de faisabilité ne pouvaient être satisfaits pour la plupart des lieux examinés, qu'il s'agisse de la dynamique sédimentaire, de la qualité physico-chimique de l'eau brute, de l'éloignement du poste principal, de l'occupation actuelle des rives ou autres. Un seul site semble répondre à l'ensemble des critères de faisabilité identifiés, *le littoral de l'île située du côté de la rive nord-est de la rivière en face des bassins de captation* (voir la Figure 8, page 31). La nécessité d'acheminer le débit prélevé de l'autre côté de la rivière a été analysée et ne présente pas de difficulté particulière. Le site situé vis-à-vis en rive droite, c'est-à-dire du côté des bassins de captation, pourrait offrir les mêmes possibilités mais il doit être considéré avec prudence à cause de la concurrence avec la captation actuelle. Comme cela a déjà été mentionné, il est suggéré que ceux-ci soient maintenus pleinement fonctionnels tant que le nouveau concept, dimensionné pour être autosuffisant, n'aura pas été pleinement validé.

Concernant les *sites ponctuels* (voir la Figure 9, page 34), un seul site comportant deux variantes ressort nettement et satisfait à la plupart des critères malgré l'exigence de précautions additionnelles attribuables aux risques d'inondation et d'embâcles. Les deux variantes sont situées au voisinage de l'entrée du fossé de ceinture, soit en rive sud, soit sur la pointe du périmètre de digues des bassins existants. La captation superficielle se ferait soit dans le fossé lui-même, soit dans le cours principal. Les contraintes d'immunisation contre les risques identifiées paraissent surmontables. Parmi ces variantes, une installation en rive sud du fossé de ceinture avec captation dans le cours principal semble l'approche la plus avantageuse à cause du dynamisme de l'écoulement et des profondeurs entretenues naturellement par les processus sédimentologiques.

## **Ré-examiner le rôle du fossé de ceinture?**

Il est proposé que la fermeture du fossé de ceinture aux crues printanières et estivales ainsi qu'aux processus glaciologiques aurait entraîné une réduction graduelle et significative de la recharge souterraine en provenance de ce bras auparavant caractérisé par des eaux courantes et un lit alluvionnaire formé de matériaux grossiers. D'autres problèmes de nature environnementale en ont résulté (ensablement, stagnation de l'eau, fermentation) dans les deux prolongements du fossé.

Il est recommandé de considérer la faisabilité, soit de restituer partiellement ou complètement ce bras de rivière à sa dynamique naturelle, soit encore de mettre en place un processus d'entretien artificiel des substrats dans le fossé intérieur, les deux possibilités visant surtout à accroître la recharge naturelle de la nappe à cet endroit. Il faudra aussi tenir compte du sort réservé au dispositif actuel de captation. La présente hypothèse serait alors un des éléments de sa ré-ingénierie.

# 1. Contexte et mandat

---

Dans la cadre de la ré-ingénierie de la station de pompage des Îlets entreprise en 2003 dans le but de la rendre conforme aux nouvelles normes de qualité d'eau potable édictées par le gouvernement du Québec, le présent mandat a comme objectif principal de :

*Rechercher un lieu propice et définir un/des concept(s) d'implantation d'une(de) prise(s) d'eau dans la rivière Montmorency à la hauteur du secteur des Îlets/rue des Trois-Sauts suivant des critères de faisabilité pré-définis visant principalement la sécurité de l'approvisionnement en eau brute en fonction des besoins saisonniers.*

Prenant appui sur la bibliographie et les données existantes et, éventuellement sur une mise à jour des données de terrain connues, ce mandat prend la forme d'un avis d'expert et s'inscrit dans une perspective de *pré-faisabilité*. Les spécialistes mandatés doivent examiner des questions essentielles pour la faisabilité de l'ouvrage, notamment les caractéristiques hydrogéologiques des dépôts alluvionnaires, la dynamique géomorphologique de ce tronçon évolutif anastomosé, la dynamique des glaces et du frasil ainsi que l'hydrologie et l'hydrodynamique du tronçon. Le choix judicieux de critères de faisabilité est donc crucial pour l'analyse.

Suite aux discussions préliminaires, les experts ont proposé la démarche suivante et leur rôle spécifique est indiqué au début du rapport :

1. Mobilisation et analyse préliminaire, notamment :
  - i. Revue des rapports, études et données existants ;
  - ii. Détermination du besoin de pompage (capacités, débits et chronologie de prélèvement) (de concert avec la Ville de Québec et GENECOR);
  - iii. Amélioration de la compréhension du comportement et de la capacité des bassins de captation existants (de concert avec la Ville et GENECOR Civil Inc.);
  - iv. Mise à jour de la topographie du lit mineur et de la granulométrie du lit de la rivière dans le secteur d'étude et évaluation des changements topographiques survenus depuis les dernières caractérisations par l'INRS-ETE en 1996 ; encadrement d'un mandat de caractérisation donné en sous-traitance et analyse comparative des résultats avec les outils géomatiques appropriés;
  - v. Évaluation du comportement hydraulique en différentes situations pertinentes au problème (pour les débits à l'eau libre seulement et à partir des simulations les plus récentes de l'INRS-ETE) ;
  - vi. Analyse du comportement des glaces et du frasil à partir de caractérisations hivernales.
2. Identification et validation auprès du consultant principal (GENECOR Civil Inc.) des critères de faisabilité lesquels doivent aussi tenir compte des besoins saisonniers variables et du débit de conception,

3. Identification de sites potentiels (scénarios concepts de localisation et de mode d'implantation) dans le voisinage de la station de pompage actuelle des Îlets ;
4. Analyse de ces sites à la lumière des critères définis en 2;
5. Identification des besoins de caractérisation ou analyses complémentaires plus détaillées en vue de valider plus précisément le(s) concept(s) identifié(s) (notamment pour une mise à jour éventuelle des simulations hydrauliques en fonction des changements topographiques observés<sup>1</sup>, et pour les processus de génération et d'accumulation de frasil en hiver) ;
6. Réunions, rédaction de rapport et recommandations.

Dans les sections suivantes seront rapportées les faits, observations, suggestions et conclusions en relation avec ce mandat.

---

<sup>1</sup> La réalisation desdites simulations n'est pas comprise ni envisagée dans l'actuel mandat mais pourrait devenir nécessaire ultérieurement

## 2. Bibliographie et connaissances existantes

---

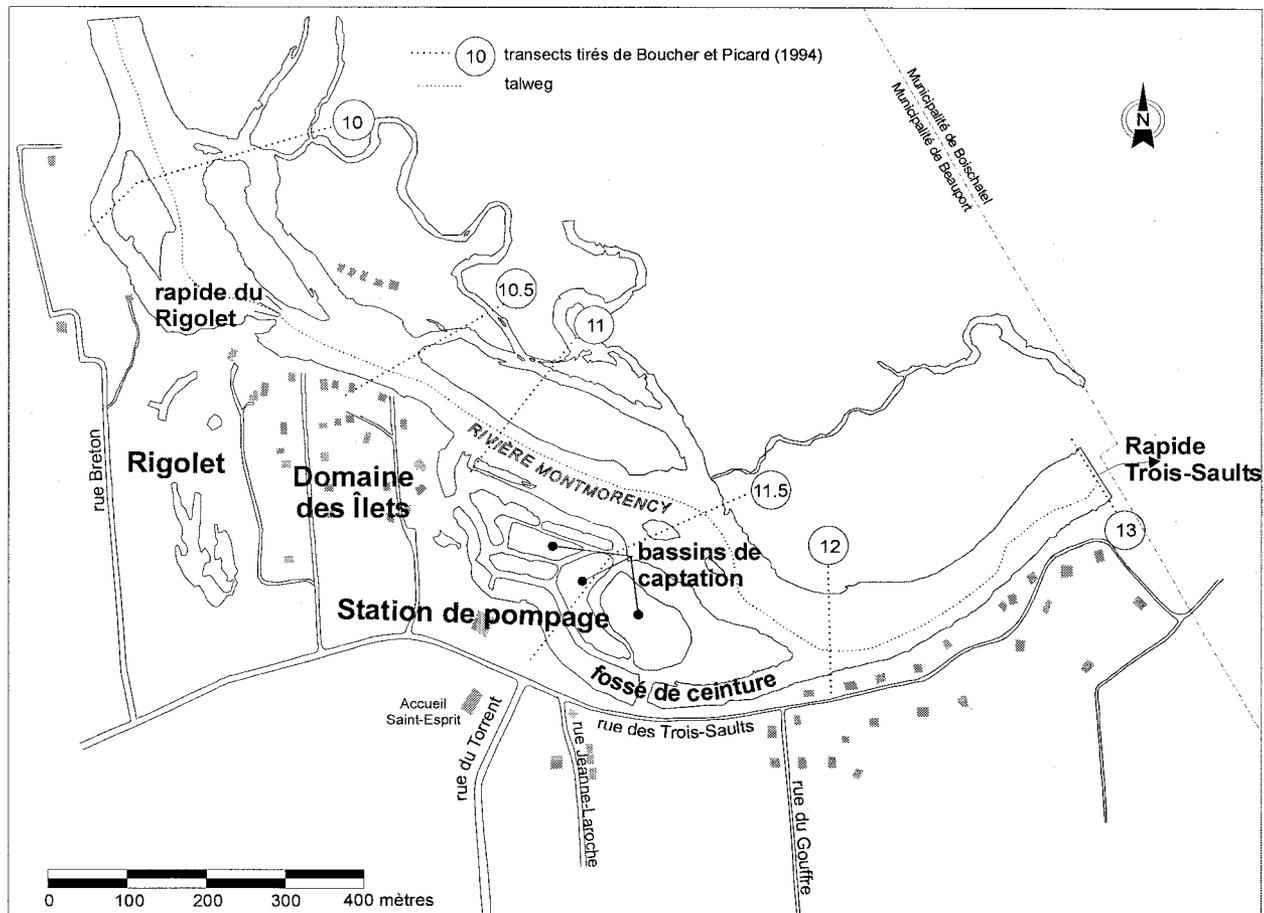
Dans ce chapitre seront rapportées brièvement les conclusions pertinentes proposées dans la bibliographie en rapport avec divers aspects de la conception de la prise d'eau : principes de conception et rendement attendu du concept initial de captation de la station des Îlets, analyse du concept actuel, risques d'inondation et d'embâcles, morphologie fluviale et dynamique géomorphologique et hydrologie des étiages.

### 2.1 Comportement de la station des Îlets actuelle

#### 2.1.1 Le concept original : une captation souterraine sans recharge artificielle

Suite à diverses réunions avec plusieurs intervenants opérant la station de pompage actuelle (voir la Figure 1) et d'après le rapport Hallisey *et al.* (1982), nous sommes en mesure de proposer une explication et certaines hypothèses réalistes concernant son rendement actuel, ses forces et ses faiblesses, ceci afin de planifier une nouvelle configuration plus efficace et surtout, durable. Commençons par quelques constats :

1. L'idée originale de Hallisey *et al.* pour l'implantation dans l'ancien site insulaire du Camping Saint-Esprit (ou île Saint-Esprit) était d'exploiter l'aquifère naturel des dépôts alluvionnaires de la rivière Montmorency à cet endroit.
2. Le raisonnement original était basé sur l'utilisation de galeries d'infiltration dans la plaine inondable plutôt que dans le lit mineur de la rivière afin de puiser une bonne qualité d'eau brute en bénéficiant d'une filtration naturelle des matières en suspension. L'installation des galeries à une distance idéale d'au moins 6 m du lit mineur de la rivière était nécessaire afin de maximiser la filtration. La possibilité d'implanter les galeries sous le lit mineur de la rivière n'a pas été retenue car l'épaisseur des alluvions paraissait insuffisante (3,5-4,5 m) pour ce concept .
3. Nous ignorons si les avantages et inconvénients de cette supposition ont été davantage considérés mais, dans les documents consultés, on n'envisage que des galeries sous les îles. Ce point est très important pour expliquer le protocole et le déroulement des tests hydrogéologiques de la Compagnie internationale de conseillers en hydrogéologie (Québec) (1982; publié en annexe de Hallisey *et al.*) et comprendre leur proposition d'agencement « en étoile » des galeries sur l'île. Corollairement, c'est le comportement actuel des bassins qui peut bénéficier de cet éclairage.
4. Avec ce choix de conception (galeries sur les îles seulement),
  - Il fallait d'abord exproprier celles-ci, limitant la portée de l'aire de conception aux possibilités d'acquisition du moment (la partie aval de ces îles n'a pu être acquise alors);



**Figure 1 : Tronçon à l'étude de la rivière Montmorency (Source : Leclerc et al., 1998)**

Note : Les numéros de section coupant la rivière sont ceux de Boucher et Picard (1994). La ligne pointillée au centre de la rivière sert à localiser le profil en long du fond ainsi que les lignes d'eau.

- La possibilité de recharge, donc de captation, était limitée à leur superficie en rive et à la possibilité de percolation dans la nappe sous-jacente à même l'écoulement adjacent de la rivière;
- L'épaisseur de la couche des dépôts d'alluvions devenait déterminante dans le rendement de l'aquifère ;
- *Sans recharge artificielle* (c'est-à-dire sans la présence de bassins), le rendement d'une seule galerie (par exemple la #4 placée à environ 10 m de la rivière) dépendait de : (1) la perméabilité de la couche alluvionnaire, (2) son épaisseur et 3) sa distance horizontale à la rivière, 4) du niveau de l'eau dans la rivière par rapport au niveau d'eau dans la galerie, (5) du diamètre des drains, (6) du niveau de sédimentation dans ces drains, le cas échéant, et (7) de la couche filtrante autour des drains ;
- Dans les documents mis à notre disposition, l'épaisseur de la couche d'alluvions était évaluée typiquement à 4 m et la distance à la rivière en moyenne à 10 à 15 m. Lors des essais hydrogéologiques de la Compagnie internationale de conseillers en hydrogéologie

(Québec), le niveau de la rivière était approximativement de 154,3 m et le niveau de l'eau dans la galerie, 152,1 m (donnant une charge hydrostatique de 2,2 m). Nous croyons qu'avec une couche perméable de 4 m d'épaisseur seulement, sans recharge artificielle, l'ajout de galeries d'infiltration additionnelles sur l'île ne pouvait pas augmenter significativement le rendement du dispositif, ce qui explique le faible rendement des bassins actuels lorsqu'ils sont colmatés. En fait, la densification du nombre de galeries pourrait contribuer de façon significative au rendement seulement si l'aquifère était très épais et perméable sur toute cette profondeur.

En conséquence, la seule façon d'augmenter le rendement global d'un dispositif de captation souterrain semblait alors d'aménager des bassins de recharge, soit adjacents aux galeries en rive afin d'augmenter leur efficacité, soit eux-mêmes équipés de lits filtrants avec galeries de captation sous-jacentes, et ainsi créer dans les deux cas un système de recharge artificielle. Les deux options ont été successivement essayées avec le résultat que l'on connaît et que nous allons analyser ci-après.

### **2.1.2 La recharge artificielle : une solution fonctionnelle mais lourde de conséquences**

Selon nous, malgré les avantages que comporte l'option de puiser une eau filtrée soit par les alluvions naturels ou par les lits filtrants, aussitôt que la conception est allée vers une recharge artificielle, on a radicalement changé le concept initial de la prise d'eau ; en voici les principales raisons :

1. Il a fallu aussitôt aménager une prise d'eau superficielle (pompe submersible) pour alimenter les bassins, solution qu'on voulait sans doute éviter dans le concept initial à cause du frasil, lequel est omniprésent en hiver dans l'ensemble du secteur (voir nos caractérisations hivernales plus loin) et des risques liés à la dynamique des glaces; de plus, l'aménagement d'une telle prise posait certaines difficultés que nous analysons plus loin dans le présent contexte.
2. Un besoin récurrent et d'entretien des bassins a aussitôt surgi car le colmatage des lits filtrants s'est avéré très rapide et fatal au rendement attendu. On revient au débit de prélèvement minimal très rapidement et l'alimentation des galeries ne se fait plus que par l'apport souterrain naturel (et éventuellement par des infiltrations parasites ; nous discutons plus avant ce point plus loin).
3. L'ensemble du dispositif se trouvait installé dans la zone inondable de récurrence 1-10 ans pour les crues à l'eau libre en plus d'être exposé aux embâcles éventuels, aléas naturels qui le rendaient très vulnérable aux dommages directs par l'érosion. Deux événements consécutifs sont d'ailleurs venus confirmer cet énoncé pendant la construction (1986) et l'année suivante.
4. Les aménagements successifs (remblais, endiguements, fermeture de sections d'écoulement) nécessaires à la recharge artificielle ont réduit considérablement le réseau d'écoulement superficiel dans ce secteur densément anastomosé (tressé ; voir la Figure 2) : le fossé de ceinture, un bras important de la rivière ainsi qu'un bras secondaire qui traversaient l'île contribuaient vraisemblablement de façon très significative à la recharge

naturelle de la nappe superficielle de l'île. En bloquant l'écoulement dans le fossé de ceinture et en remblayant les bras transversaux, on réduisait considérablement les possibilités de captation selon le mode proposé originellement par Hallisey et al. (1982).

5. Un avantage des bassins actuels incluant le réservoir tampon constitué par le fossé de ceinture est de réduire l'impact de l'augmentation rapide de la turbidité de la rivière en période de crues en offrant une capacité d'emménagement de plus de 110 000 m<sup>3</sup>.

### 2.1.3 Résumé des observations par rapport à la captation à la station des Îlets

Voici les points principaux de nature quantitative qu'on peut retenir des réalisations à la station des Îlets par rapport à la captation souterraine, et qui constituent des paramètres à conserver pour la ré-ingénierie du système actuel et la conception du futur dispositif:

- En l'absence de recharge artificielle (c'est-à-dire une fois que les lits filtrants des bassins sont complètement colmatés), la recharge naturelle par les galeries d'infiltration a été estimée à 26 000 m<sup>3</sup>/jour (0,3 m<sup>3</sup>/s) au cours de l'automne 2003 (S. Langlois, Ville de Québec, communication personnelle, 2003). Sachant que la projection de ce dispositif dans une direction parallèle à la rive s'étend sur une longueur approximative de 360 m, la production est 0,00084 m<sup>3</sup>/s/m linéaire sur la projection. Toutefois, des avis obtenus des opérateurs de la station indiquent qu'une certaine proportion de ce débit pourrait provenir d'infiltrations à travers les raccords des conduites et les regards d'accès en certains points du réseau amenant l'eau vers la station de pompage. Cette proportion n'est pas connue et fera l'objet à la fin de ce rapport d'une recommandation spécifique visant à la préciser.
- Si ce rendement provient entièrement de la nappe sous-jacente, nos analyses (calculs basés sur la simulation de réseaux d'écoulement en milieu poreux) nous permettent d'estimer la conductivité hydraulique des alluvions à  $K = 82$  m/j. En supposant qu'une partie du 26 000 m<sup>3</sup>/j (15% par hypothèse) provient de la recharge artificielle par les fuites mentionnées, notre estimé de  $K$  serait abaissé à 70 m/j.
- Sur le même sujet, après l'installation de la galerie #4 (73 m de longueur) au début de la station mais avant la construction des bassins de recharge adjacents, un rapport interne des années 1980 suggère que son rendement était de 700 GIPM (Gallons impériaux par minute ; rendement égal à 0,053 m<sup>3</sup>/s) et un autre l'évalue à 500 GIPM (0,038 m<sup>3</sup>/s). C'est l'équivalent de 0,00073 m<sup>3</sup>/s/m et 0,00052 m<sup>3</sup>/s/m linéaire de galerie. D'après nos calculs, ces observations supposent une conductivité hydraulique  $K$  de 72 et 51 m/j. Pour des fins de conception, nous retiendrons alors une valeur la plus conservatrice de  $K = 50$  m/j. En utilisant un modèle numérique d'écoulement en milieu poreux (SEEP) pour la situation existante avec  $K = 50$  m/j, les résultats confirment ce choix avec une prédiction de débit de 0,00065 m<sup>3</sup>/s/m qui correspond typiquement aux valeurs observées. Notons par ailleurs qu'une valeur type de  $K$  pour un sable uniforme de 0,5 mm est 40 m/j).

En conclusion, on devra, en phase de conception détaillée, tenir compte de marges d'incertitude reliées aux différents facteurs identifiés. Le chiffre conservateur ( $K = 50$  m/j) devra sans doute être retenu. Ceci permettra de minimiser les possibilités de rendement insuffisant si un concept d'ouvrage linéaire mieux adapté était encore retenu pour la nouvelle prise d'eau des Îlets. Il

faudra ensuite prendre les autres précautions rendues nécessaires par le comportement à long terme de tels dispositifs (ex : colmatage).

## **2.2 L'expérience de captation souterraine à « l'ouvrage A » alimentant Charlesbourg**

Nous avons choisi de rapporter quelques éléments d'information relatifs à l'ouvrage de captation d'eau brute désigné « A », qui est situé à l'extrémité nord de la rue Bocage dans l'arrondissement Beauport. Actuellement, cet ouvrage achemine l'eau brute captée dans l'écoulement superficiel vers le lac des Roches où l'eau est re-puisée et désinfectée pour alimenter le secteur de Charlesbourg.

Lors de sa conception dans les années 60' (communication personnelle avec Hervé Aubin, ex-ingénieur au service de la Municipalité de Giffard, 2004), l'ouvrage a été configuré en vue de puiser l'eau brute pré-filtrée dans le lit de la rivière Montmorency à l'aide d'un réseau de conduites perforées implantées transversalement à l'écoulement. Nous n'avons pas en main les paramètres précis de conception qui permettraient d'évaluer le rendement initial de cette implantation et son évolution subséquente. D'après l'ingénieur Aubin, cette installation devait pourvoir conjointement aux besoins complémentaires croissants des municipalités de Giffard, Orsainville et Charlesbourg (environ 35 000 habitants à l'époque) lesquelles disposaient déjà d'installations fonctionnelles. Là encore, nous n'avons pas en main les paramètres de la demande additionnelle devant être satisfaite par cette nouvelle installation.

Il peut être utile de rapporter que ce réseau de conduites sous-fluviales a initialement (en 1965) permis de répondre à la demande mais le colmatage des conduites, ou encore du milieu de percolation, a fait graduellement décliner le rendement initial du système (typiquement 25% par année) au point que quatre ans plus tard, le dispositif secondaire de captation à même l'eau superficielle a dû être mobilisé pour suffire à la demande. Selon l'ingénieur Aubin, un système de dé-colmatage adapté au problème (soit les conduites elles-mêmes ou le lit filtrant autour, ou les deux) aurait été nécessaire pour restaurer les capacités initiales. Cet ajustement du concept n'a pas pu être réalisé.

Si un concept similaire devait de nouveau être adopté pour la station des Îlets, la leçon de l'ouvrage A devra être retenue et prise en compte. Ajoutons enfin que la capacité nominale de pompage de cet ouvrage est de 36 400 m<sup>3</sup>/j pour 4 pompes en fonction. En temps normal, trois pompes sont utilisées, la quatrième servant de relève en cas de bris. La capacité normale utilisée est donc de 30 000 m<sup>3</sup>/j. La capacité d'emmagasinement du lac des Roches vers lequel est emmagasinée l'eau pompée suffit à combler les besoins excédentaires en période de pointe.

## **2.3 Risques d'inondation à l'eau libre ou par embâcle dans le secteur des Îlets**

La bibliographie existante sur la rivière Montmorency dans le secteur à l'étude est relativement abondante et porte surtout sur les risques d'inondation (Boucher et Picard, 1994; Leclerc et al. 1998, 2001, 2003; Heniche et al., 1999; Morse *et al.*, 2002). La Figure 1 montre le secteur à

l'étude ainsi que les principaux noms usuels des différents lieux auxquels fait référence ce rapport.

Boucher et Picard (1994) ont étudié les risques de crues à l'eau libre dans le secteur dans le cadre de la Convention Canada/Québec sur la cartographie des risques d'inondation. Dans Leclerc *et al.* (1998) et Heniche *et al.* (1999) sont rapportés, analysés en détail et, le cas échéant, mis à jour les éléments hydrologiques, topographiques et géomorphologiques importants définissant ces risques de crues pour des périodes de retour assez courtes, typiquement inférieures à 100 ans. On y constate que l'étage inférieur du bâtiment principal (cote d'altitude géodésique de 158 m) ainsi que les bassins de captation existants (cote de 157 m) sont implantés dans la zone inondable à une altitude correspondant à des crues de récurrence 1/10 ans, et sont par conséquent vulnérables à de tels aléas. Dans Heniche *et al.* (1999), des solutions sont proposées (rehaussement des digues sur l'entièreté du périmètre des bassins de captation, imperméabilisation des portes de service en arrière de la station) visant à éliminer les risques de dommages par submersion ou érosion, ou du moins les réduire à un niveau plus acceptable (récurrence typique de 1/15-18 ans). La stabilité des digues existantes n'a pas été prise en compte dans ces études.

Plus récemment (Leclerc *et al.*, 2003), une analyse de la vulnérabilité de l'ensemble du secteur des Îlets aux crues majeures de faible récurrence (1/1000 et 1/10000 ans) a été réalisée pour le compte de la firme Génivar à la demande de la Ville de Québec (Service de l'Ingénierie). Il avait déjà été établi (Leclerc *et al.*, 1998) que les modifications majeures du relief associées à l'exploitation passée des sablières adjacentes et aux travaux de voirie dans le secteur par la Ville (ex : rue du Torrent, 1986) l'ont rendu vulnérable à des crues de période de retour relativement faibles (< 1/100 ans) avec des conséquences pouvant aller jusqu'à l'avulsion (changement de cours de la rivière). L'étude de 2003 visait à préciser les cotes de conception les plus extrêmes du dispositif de protection à implanter dans le secteur en vue de l'immuniser *totale*ment contre de tels risques. Si ces considérations ne portent pas directement à conséquence sur le choix d'une localisation pour la future prise d'eau, elles pourraient influencer la conception des ouvrages de voirie jouxtant les ouvrages de pompage et de traitement. C'est pourquoi, nous avons jugé utile de mentionner cette contribution. Les propositions d'aménagement par la firme Génivar sont en préparation (mars 2004).

La dynamique des glaces est une composante majeure du risque d'inondation dans la rivière Montmorency. Dans une importante étude publiée en deux volets (Leclerc *et al.*, 2001; Morse *et al.*, 2002) portant sur plus de 54 années d'observations sur les embâcles de la rivière, le secteur des Îlets a été identifié « à risque » par rapport à ces phénomènes. Le coût moyen annuel et les propriétés statistiques de tels événements ont été analysés avec les données empiriques existantes et des solutions innovatrices adaptées à la morphologie pentue de la Montmorency ont été proposées pour réduire sinon éliminer complètement ce problème lequel coûte annuellement près de 250 000\$ (\$ de 2001) aux divers intervenants dont les municipalités, les gouvernements supérieurs et les riverains. Une estacade-filet dont le site d'implantation serait situé à 2-3 km à l'amont de l'Île-Enchanteresse a été proposée par Morse *et al.* (2002) et seule une conjoncture particulière (embâcle majeur récent, perception aiguë du risque, volonté politique, disponibilité de ressources) à la mise en œuvre de ce projet permettra de le relancer.

La génération de frasil est aussi un phénomène très caractéristique de la rivière Montmorency à cause de la présence de nombreux rapides (notamment les « Grands-Rapides » de 18 km de longueur à l'amont de l'Île-Enchanteresse et le rapide des Trois-Saults en aval du secteur

d'étude) qui retardent la formation d'un couvert de glace, exposent directement l'écoulement aux températures froides de l'atmosphère et favorisent la formation de frasil et son transport sur de longues distances. Cette considération a son importance par rapport à la sélection d'un site d'implantation d'un poste de pompage dans le secteur des Îlets.

## 2.4 Géomorphologie du secteur des Îlets

Dans Leclerc *et al.* (1998), une étude de la dynamique géomorphologique a été conduite par l'un de ses co-auteurs, le professeur Michel P. Lapointe (U. McGill), sur une période de plus de 40 ans (1955, 1995) à partir des photographies aériennes disponibles (Figure 2, page suivante). Il a été démontré que le secteur d'étude est caractérisé par un redressement important des pentes favorisé par la présence d'un seuil granitique à la hauteur des Trois-Saults et la présence de dépôts meubles d'origine fluvio-glaciaire immédiatement en amont. Cette configuration est propice à une évolution rapide de la topographie de la zone étudiée où des reculs érosifs très significatifs ont été observés fréquemment à la faveur de crues importantes et/ou d'embâcles significatifs suivis de débâcles soudaines (ex : celui de 1957). Il en résulte une configuration dite anastomosée (en tresse) propice aux déplacements latéraux des différents chenaux d'écoulement, à leur aggradation (accumulation d'alluvions) ou leur dégradation (érosion du lit ou des berges). La présence significative de délaissés (ex : le Rigolet sur la Figure 1, page 4), d'anciens méandres est aussi une conséquence de cette disposition sinueuse de la rivière.

Il semble que le dispositif de protection des berges externes des bassins de captation a joué son rôle efficacement par rapport à cette dynamique particulière du secteur car aucun recul ou érosion significatif n'a été observé depuis la construction de la station des Îlets en 1986. Il n'est cependant pas exclu que, lors d'une crue majeure qui submergerait significativement les bassins de captation, les digues pourraient se fissurer et subir des dommages importants. Les paramètres de conception de ces digues n'étant pas formellement connus, il n'est pas possible avec les données actuelles de formuler une opinion quant à la sécurité du dispositif actuel de captation par rapport aux crues à l'eau libre de faible récurrence ou aux embâcles majeurs.

La topographie des lits mineur et majeur de la rivière Montmorency a été caractérisée avec précision en 1996 (Leclerc *et al.*, 1998). Plus récemment (Leclerc *et al.*, 2001), une campagne de mesure par laser aéroporté (Lasermap Inc.) a été conduite sur l'ensemble des berges de la rivière en vue caractériser ses zones inondables avec précision ( $\pm 0,1\text{m}$ ). Ces données, disponibles sur une distance longitudinale de plus de 35 km depuis l'embouchure, n'ont cependant pas encore été exploitées dans le secteur d'étude. Enfin, dans le cadre du présent mandat, la firme d'arpenteurs-géomètres Pagé et Leclair (Géolocation) Inc. a été mandatée pour procéder à une mise à jour de la topographie du lit mineur. L'analyse évolutive de la bathymétrie (1996-2003) sera présentée plus loin.

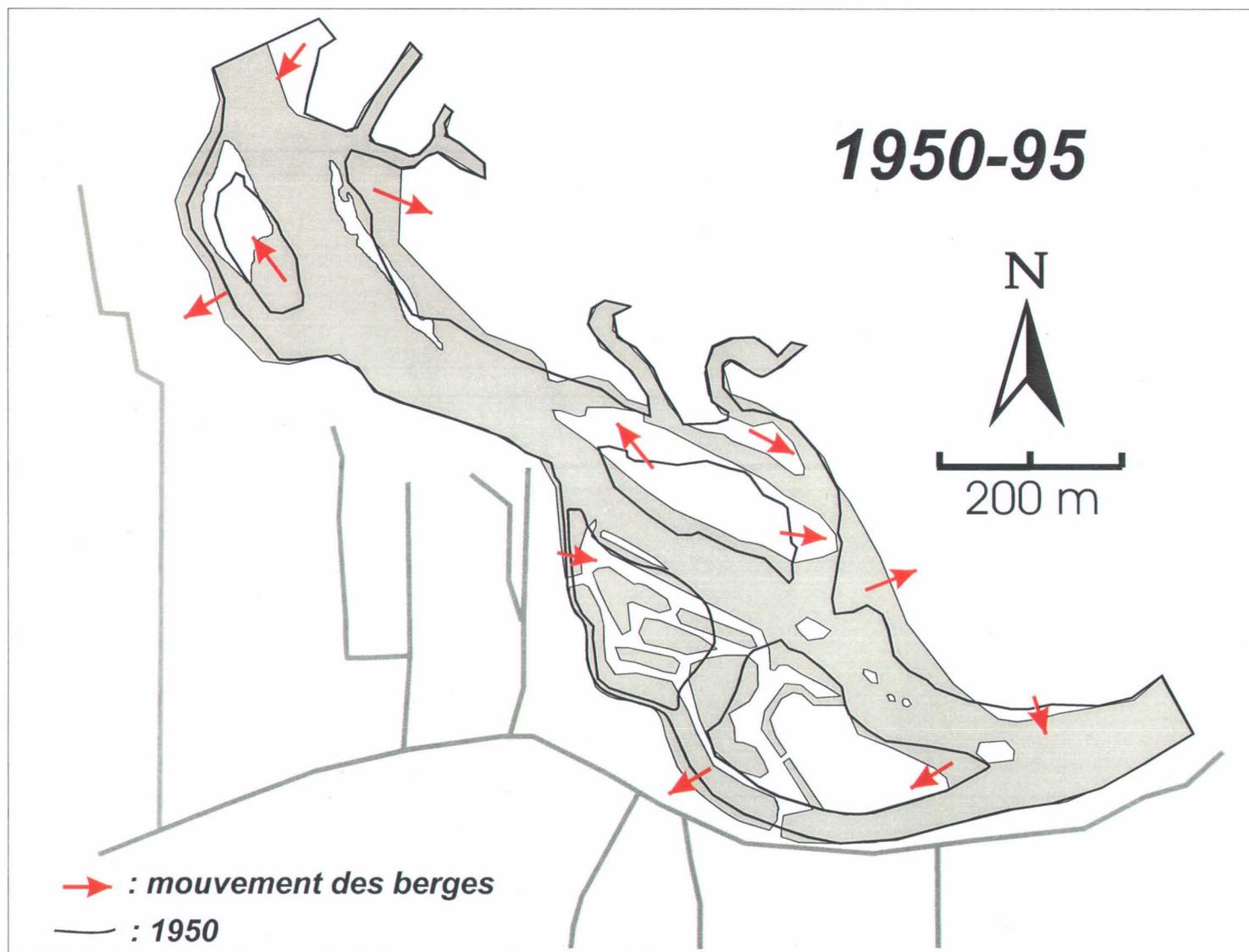


Figure 2 : Évolution géomorphologique du secteur à l'étude entre 1950 et 1995 (D'après Leclerc et al., 1998)

## 2.5 Hydrologie à l'étiage

Nous allons nous concentrer ici sur les débits minimums de la rivière dans une perspective d'harmonisation des usages. Sur la rivière Montmorency, les usages de l'eau ont été étudiés en fonction de la problématique des étiages (CAGEB, 2001) qui peuvent être assez sévères, particulièrement à la fin de l'hiver à la suite du processus récessif de vidange des nappes qui trouve son minimum vers la fin de mars. De même, après des épisodes prolongés de faibles précipitations estivales ou automnales, le débit de la rivière peut tomber assez bas (jusqu'à 2 m<sup>3</sup>/s en septembre 2003 à la station 051001<sup>2</sup>; chiffre en voie de validation au Centre d'expertise hydrique du Québec). Cette problématique est le propre des rivières dont le bassin versant est relativement petit (1100 km<sup>2</sup> en l'occurrence) et pourvu de nappes phréatiques peu profondes: présence dominante de roches granitiques, pentes fortes, peu de lacs et faible occurrence de dépôts fluvio-glaciaires importants dans le bassin sauf près de l'embouchure.

Dans son portrait du bassin versant, la CAGEB (organisme ayant présidé à la création du Conseil de bassin de la rivière Montmorency ou CBRM) identifie les étiages comme un enjeu majeur en raison de la présence de la chute Montmorency qui constitue un attrait touristique majeur de la région de Québec (un produit d'appel) attirant pas moins d'un million de visiteurs annuellement. Cet usage est intimement lié à la topographie particulière du lieu mais aussi à l'hydrologie des étiages. Le portrait du bassin identifie également d'autres usages dont l'existence ou la rentabilité dépendent aussi des étiages : l'exploitation hydroélectrique au barrage des Marches-Naturelles en aval du lac du Délaissé (Boralex) et la vie aquatique (notamment, l'omble de fontaine), via les habitats dont la disponibilité et la qualité dépendent du débit et des attributs physico-chimiques de l'eau, notamment sa température et la concentration de substances dissoutes rejetées à l'amont. La Ville de Québec s'est montrée sensible à l'harmonisation des usages et préconise l'économie d'eau potable à l'aide de programmes de sensibilisation de la population. Ses demandes d'autorisation pour le développement futur de ses installations prévoient très peu sinon aucune augmentation du prélèvement à la rivière.

Pour faciliter la consultation de l'information sur les étiages de la rivière Montmorency, nous produisons ci-après un tableau de récurrences basées sur les valeurs des minimums mensuels moyens sept jours consécutifs de période de retour 2 ans, paramètre utilisé par le ministère de l'Environnement du Québec pour autoriser les prélèvements aux deux stations de Charlesbourg et de Beauport. Cette analyse a été réalisée par le Ministère.

Les débits d'étiage au site des Îlets ont été estimés à partir des données hydrologiques de la station de mesure de l'embouchure de la rivière Montmorency à 0,6 km en aval du barrage des Marches Naturelles (# 051001). Les valeurs tiennent compte (débits influencés) des volumes prélevés actuellement par les stations de pompage des arrondissements de Beauport et de Charlesbourg.

La méthode pour estimer les débits au site des installations procède par transposition linéaire selon la taille du bassin versant en utilisant les débits spécifiques d'étiage (en m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup> de

---

<sup>2</sup> Ce débit est une valeur résiduelle ne tenant pas compte des prélèvements d'eau potable à l'amont et des pertes souterraines près de l'embouchure.

bassin). L'ajustement d'une distribution statistique aux séries des débits d'étiage moyens de 7 jours consécutifs pour les mois de janvier, février, mars, juillet, août, septembre et décembre a été effectué à l'aide du logiciel HYFRAN, développé à l'Institut national de la recherche scientifique (INRS-ETE) par la Chaire industrielle en hydrologie statistique.

Le Tableau 1 donne les résultats mensuels pour les mois retenus au site des Îlets. On y constate sans surprise que les périodes d'étiage les plus critiques se produisent à la fin de l'hiver (mars). Pour la saison estivale, c'est le mois d'août qui présente en moyenne les étiages les plus sévères.

**Tableau 1 : Débits d'étiage ( $m^3/s$ ) mensuels minimums sept jours consécutifs de période de retour 2 ans ( $Q_{7-2}$ ) au site actuel des Îlets (d'après une note interne du MENV, 2003)**

Mois	Au droit de la prise d'eau actuelle du secteur des Îlets
Janvier	7,42
Février	6,19
Mars	5,47
Juillet	17,15
Août	13,54
Septembre	13,95
Décembre	10,16

Ces données généralement admises ne tiennent cependant pas compte du bilan complexe des écoulements de surface et souterrains près de l'embouchure, à l'amont de la chute. Ce milieu karstique (calcaire de Trenton) et l'existence d'un réservoir de retenue sont propices à des infiltrations très significatives lesquelles échappent en tout ou en partie à la caractérisation actuelle de débit. Selon certaines estimations rapportées dans Percheron (2004), l'infiltration totale atteindrait  $2 m^3/s$ .

*Afin de préciser la répartition réelle du bilan hydrologique à l'embouchure de la rivière Montmorency, nous recommandons d'investiguer le mode d'implantation de la station et que les procédures de calibration de sa courbe de tarage (site des jaugeages notamment) soient précisés avec les autorités compétentes.*

### 3. Relevés de terrain

---

En vue de préciser certains aspects liés à l'étude de faisabilité et/ou de préparer les données de base du milieu nécessaires à la conception des ouvrages, des relevés ont été effectués sur la topographie, la texture des substrats du lit de la rivière, le couvert de glace et la présence de frasil. Les sections qui suivent présentent les résultats obtenus.

#### 3.1 Évolution topographique

Comme nous l'avons mentionné au chapitre précédent, la topographie de l'ensemble du site d'étude avait déjà été caractérisée en détail en 1996 et publiée dans Leclerc *et al.* (1998; voir la Figure 4). Étant donné la dynamique très active de la morphologie de ce secteur de la rivière liée à son caractère anastomosé, il convenait huit ans plus tard de mettre à jour cette donnée potentiellement très importante pour l'implantation d'un ouvrage de captation. La firme d'arpenteurs-géomètres Pagé-Leclair Géolocation Inc. a été mandatée pour ce faire et les relevés ont été effectués au cours de l'automne 2003 à l'aide d'équipements d'échosondage prêtés par l'INRS-ETE et d'un système de positionnement DGPS lesquels ont été utilisés de concert soit en mode « embarqué » (zodiac) pour les zones plus profondes de l'écoulement (enregistrement simultané de la position horizontale, du niveau d'eau et de profondeur et réduction pour la cote du fond), ou en mode « à gué » avec le DGPS seulement pour les régions peu profondes ou exondées. Les substrats ont été caractérisés par observation visuelle.

Les résultats ont été livrés à l'INRS-ETE pour y être incorporés dans la base de données de terrain existante du tronçon montée dans le logiciel MODELEUR afin de procéder aux comparaisons d'usage.

La Figure 5 présente le résultat de cette analyse sous la forme de zones d'accumulation et/ou d'érosion d'alluvions. Les principaux sites actifs seront décrits ci-après; cela n'exclut pas la possibilité que d'autres zones puissent être actives, mais le niveau de précision de 2003 ne permet pas de les identifier.

a) Zones d'accumulation. On observe 4 principales zones d'accumulation :

- Partout dans le fossé de ceinture aval : typiquement 40 cm de dépôts minéro-organiques pouvant aller jusqu'à 1 m immédiatement à la sortie;
- Partout dans le fossé de ceinture amont : typiquement 30 cm de dépôts minéro-organiques pouvant aller jusqu'à 80 cm;
- En rive gauche vis-à-vis de la rue du Gouffre : typiquement 30 cm pouvant aller jusqu'à 70 cm de sable, gravier, galets;
- Immédiatement en face des bassins dans le cours principal sur la majorité de la largeur : typiquement 50 cm jusqu'à 70 cm de graviers et galets.

b) Zones d'érosion. On observe également 4 principales zones d'érosion :

- En rive droite dans le thalweg du cours principal en face de la rue du Gouffre : typiquement 50-70 cm (des blocs de grosse taille, des galets et cailloux sont mobilisés);
- En rive gauche du bras gauche de la rivière en face du rapide du Rigolet : typiquement 1-2 m sans doute accompagnée de reculs de la berge, sablonneuse à cet endroit;
- Dans le thalweg principal immédiatement en amont de l'entrée du fossé de ceinture : typiquement 30 à 60 cm (les substrats y sont de la taille de cailloux)
- Dans le bras gauche jouxtant l'île en face des bassins de captation: typiquement 30 cm avec certains reculs de la berge (on y observe un mélange de granulats de diverses tailles.



**Figure 3 : Distribution des points de mesure topographiques lors de la campagne de 2003 par Pagé et Leclair, Géolocation**

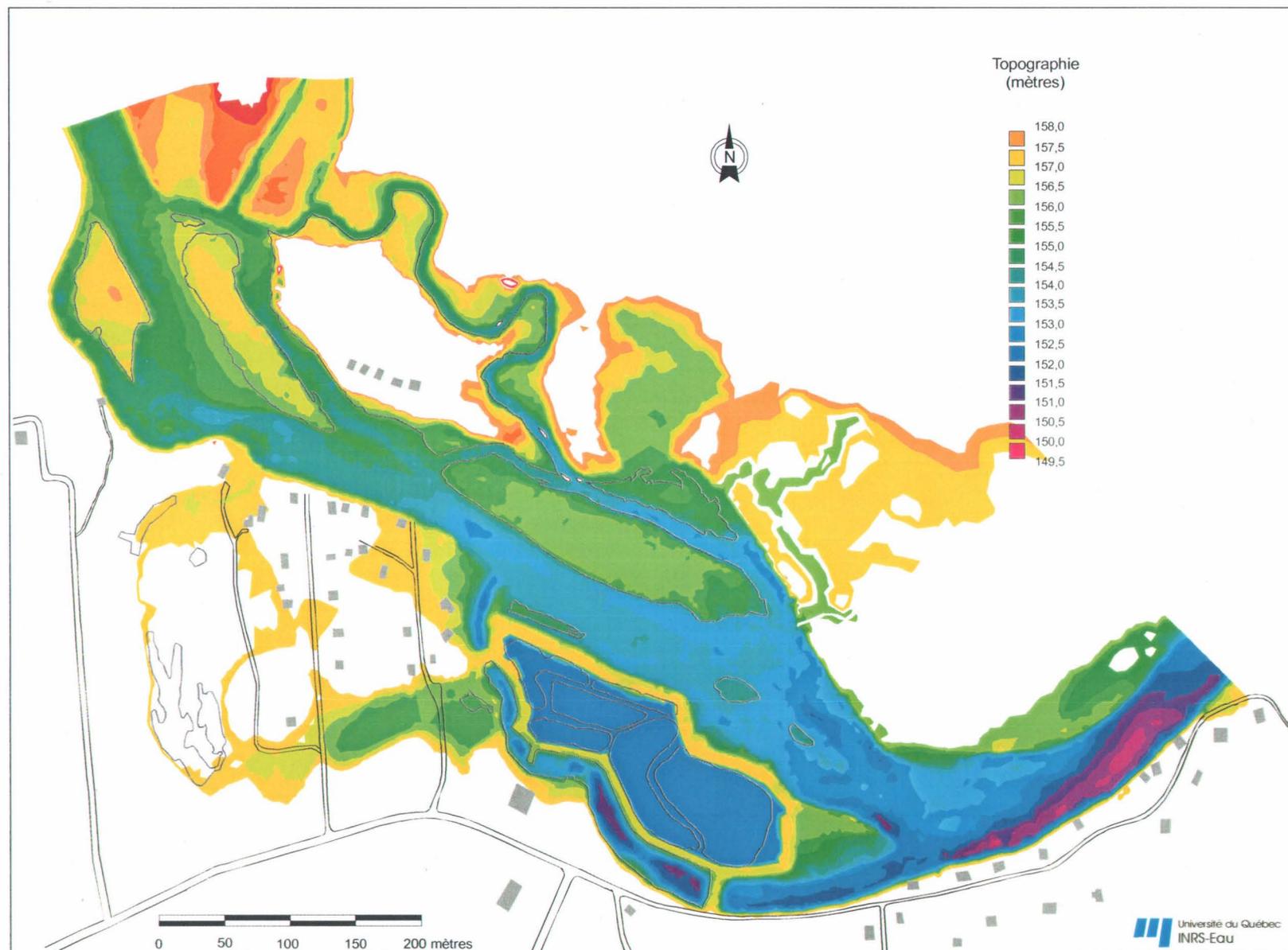


Figure 4 : Topographie du site d'étude en 1996 (d'après Leclerc et al., 1998)

d'eau autour de foyers de nucléation (minéraux, flocons de neige, matière organique) lorsque l'eau est en état de sur-refroidissement (typiquement  $-0,03^{\circ}\text{C}$ ). Cet état se produit quand le plan d'eau n'a pas encore formé son couvert de glace sur une distance suffisante en amont et que les températures atmosphériques occasionnent une déperdition importante d'énergie calorifique (Michel, 1978).

### 3.2.1 Protocole de caractérisation du frasil

Des sondages du couvert de glace et du frasil ont été réalisés les 8, 19 et 23 janvier 2004 dans le secteur d'étude. Lors de la prise de données, les températures respectives étaient les suivantes :  $-26^{\circ}\text{C}$ ,  $-10^{\circ}\text{C}$  et  $-24^{\circ}\text{C}$ . Ces sondages avaient pour objectif de caractériser le couvert de glace et la présence de frasil dans certaines zones potentiellement favorables à l'implantation d'une prise d'eau.

Les forages de la glace ont été effectués à l'aide d'une tarière manuelle de type Fine Bore III de 110 mm de diamètre. Les variables suivantes ont été mesurées : *la profondeur, l'épaisseur de la glace et l'épaisseur du frasil*. Le frasil est formé de l'accumulation de grandes quantités de cristaux de glace dans l'eau communément appelé « *slush* ». L'épaisseur du frasil a été mesurée à l'aide d'une tige d'acier de 30 x 200 mm retenue par deux ficelles, l'une fixée un bout et l'autre au centre de la tige. La tige d'acier était d'abord descendue à la verticale, puis remontée à l'horizontale, jusqu'au contact de la limite inférieure de l'accumulation de frasil. Au total, 38 sondages ont été complétés dans cinq (5) zones distinctes (voir la Figure 6).

1. La fosse longitudinale jouxtant la rive droite de la rivière le long de la rue des Trois-Saults 100 m en aval d'une section débutant à la hauteur de la rue du Gouffre;
2. Le fossé de ceinture aval;
3. L'entrée amont du fossé de ceinture ;
4. En rive gauche dans le cours principal de la rivière en face de la station de pompage actuelle;
5. En amont des bassins dans le cours principal de la rivière.

### 3.2.2 Conditions atmosphériques et hydrologiques au début de l'hiver 2004

Il est à noter que le début de la saison hivernale 2003-2004 a été peu propice à la formation d'un couvert de glace stable, une condition particulièrement favorable à la formation de frasil lorsque les premiers froids intenses de l'hiver surviennent. À la faveur des températures relativement chaudes de décembre, le couvert de glace s'est formé très lentement, et partiellement, tard vers la fin de l'année 2003 avec une succession de reculs et d'avancées liés à quelques épisodes de crues pré-hivernales dépassant les  $200\text{ m}^3/\text{s}$ . Le plan d'eau est donc demeuré longtemps exposé aux températures froides de l'atmosphère qui sont survenues plus tard au début de janvier (plusieurs nuits à  $-35^{\circ}\text{C}$ ) qui ont succédé à ces épisodes favorisant ainsi la formation du frasil et l'érosion par arrachement de blocs de glace. Lorsque le couvert de glace s'est finalement refermé sur le tronçon à l'étude au début de janvier, le frasil a commencé à s'accumuler dans la colonne d'eau sous-jacente et c'est dans cet état de la rivière que les observations ont été conduites.

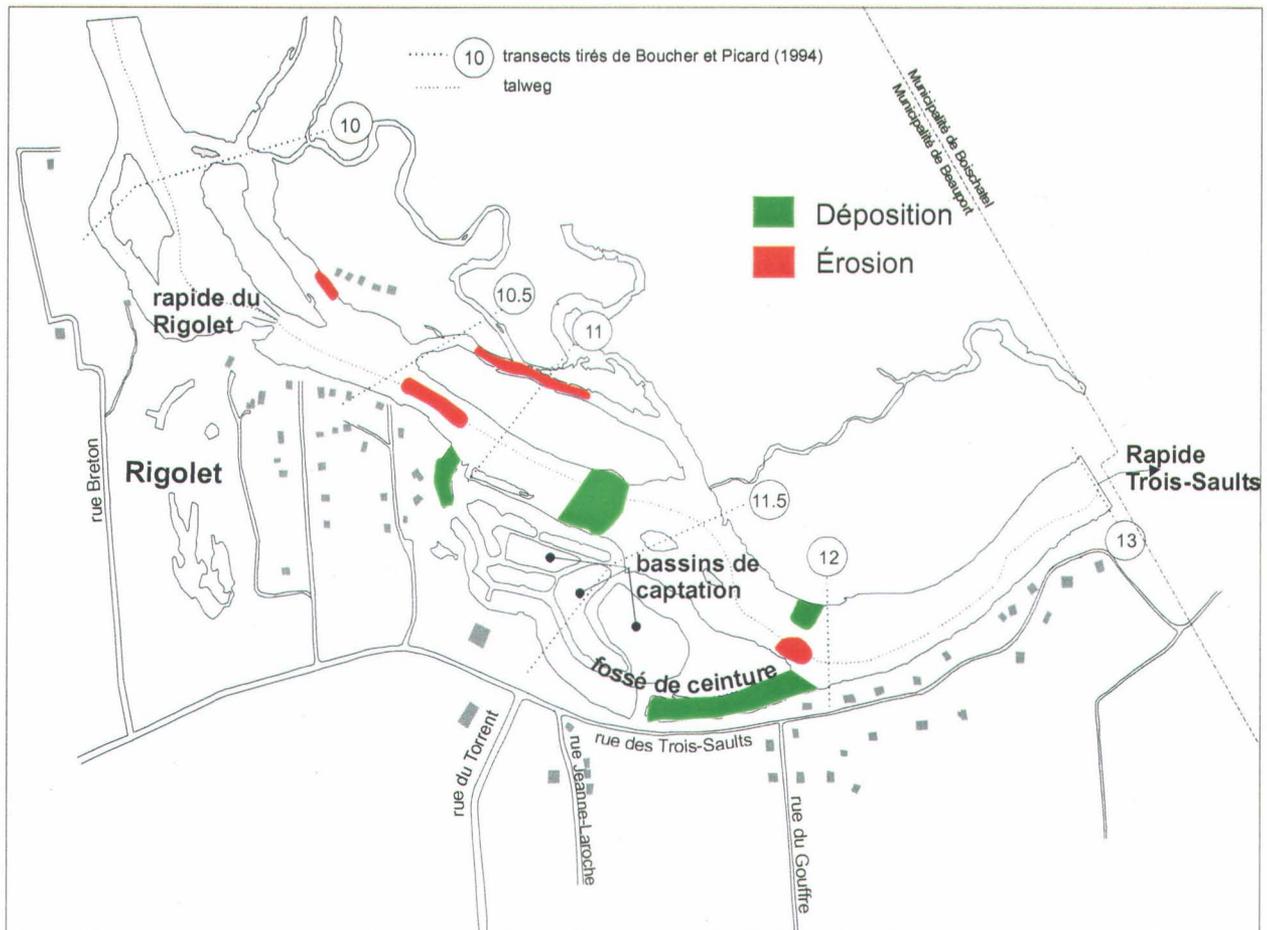


Figure 5 : Évolution topographique entre 1996 et 2003 représentée par les zones de déposition et d'érosion

La dynamique des berges telle que décrite par Leclerc *et al.* (1998) semble donc se poursuivre. Concernant le fossé de ceinture dans ses prolongements amont et aval, l'explication de son évolution est certainement liée à l'absence d'entretien par les crues et à la stagnation des eaux propices à la sédimentation de fractions granulométriques fines ainsi que de matière organique détritique. Pour ce qui est du cours principal de la rivière en amont des bassins et du bras gauche de l'île en face de ceux-ci, une explication pourrait être fournie par l'embâcle de 1999 qui s'est arrêté à cette hauteur pour bifurquer à gauche de l'île. La force des glaces en mouvement est en effet de nature à nettoyer de ses débris, voire creuser la section d'écoulement. L'accumulation d'alluvions en face des bassins suggère que cette zone est propice à la sédimentation, voire à la formation d'îles comme en témoignent les cartes topographiques du secteur.

### 3.2 Évolution et accumulation du frasil

Étant donné la difficile cohabitation des équipements de prise d'eau et du frasil dans une rivière, du moins lorsque l'eau est puisée dans l'écoulement superficiel, une caractérisation sommaire de la présence du frasil a été conduite dès que le couvert de glace fut formé et put offrir des conditions sécuritaires pour le déplacement des observateurs. Le frasil se forme dans la colonne

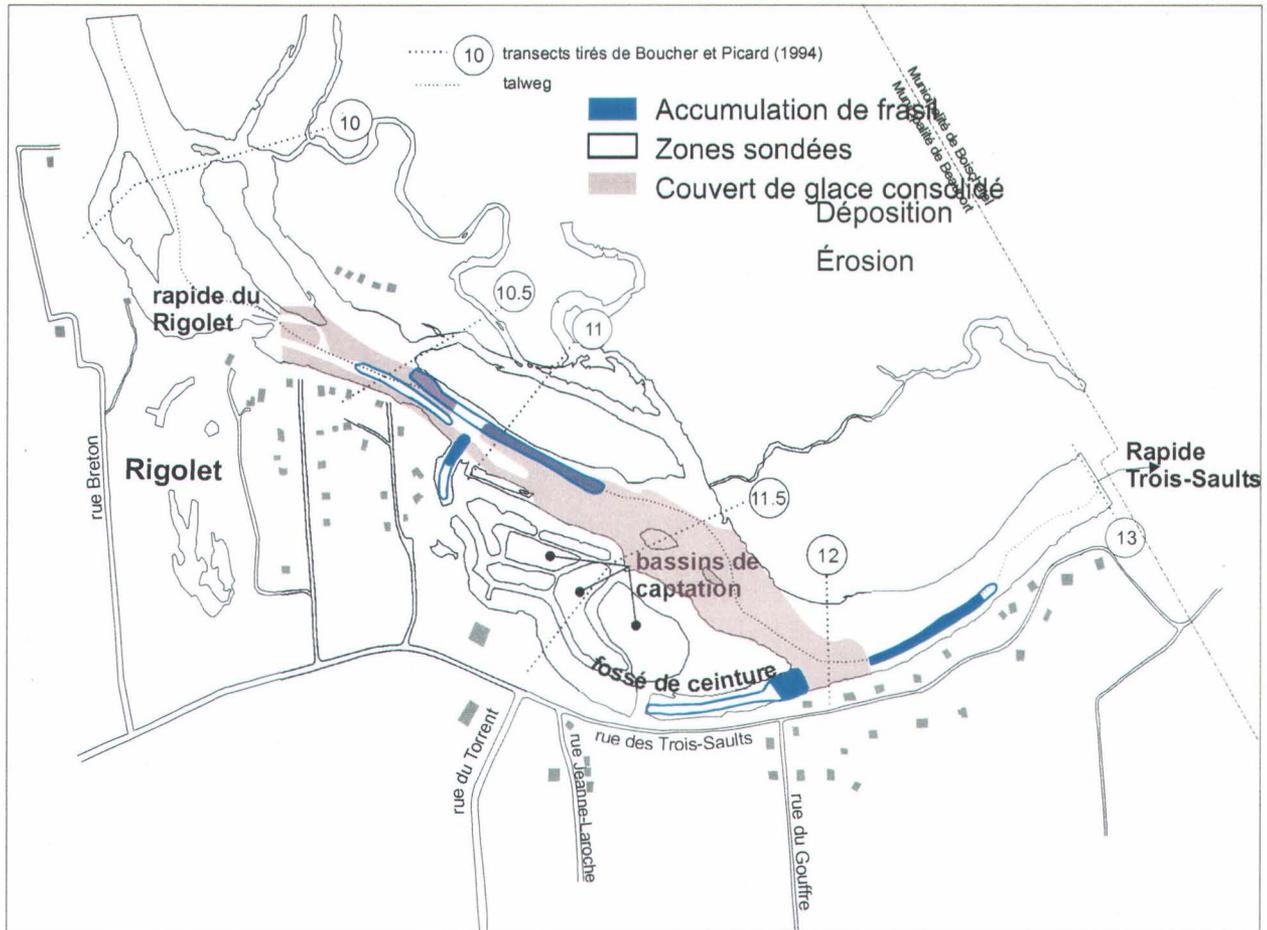


Figure 6 : Observations de glace consolidé et de la présence de fraissin en janvier 2004 en divers sites ciblés pour le prise d'eau de Beauport

### 3.2.3 Résultats concernant le couvert de glace

En janvier 2004, un couvert de glace consolidée occupait la majeure partie du cours principal de la rivière Montmorency dans le secteur des bassins de captation, entre le Domaine des Îlets et le changement de direction de la rivière près de la rue des Trois-Sauts (voir la Figure 6). Contrairement à la glace formée en place (banquise côtière), la glace consolidée est issue de fragments du couvert de glace formé plus ou moins loin en amont, transportés par l'écoulement, puis accumulés dans un secteur favorable à sa rétention, éventuellement un couvert plus stable, en glace franche, localisé dans un endroit moins dynamique de la rivière. En fait, la formation d'importantes accumulations de glace consolidée est généralement associée à une morphologie fluviale semblable à celle qui est en cause pour la formation d'embâcle, à savoir :

- Un brusque rétrécissement de la section d'écoulement (largeur de la rivière);
- Une réduction subite de la pente de ligne d'eau, des vitesses réduites;
- Une courbe prononcée;
- La présence de hauts-fonds, îles, rochers et piliers.

Les trois dernières conditions précédemment énumérées se rencontrent dans le secteur des bassins de captation ce qui explique les fortes quantités des glaces consolidées qui y ont été observées.

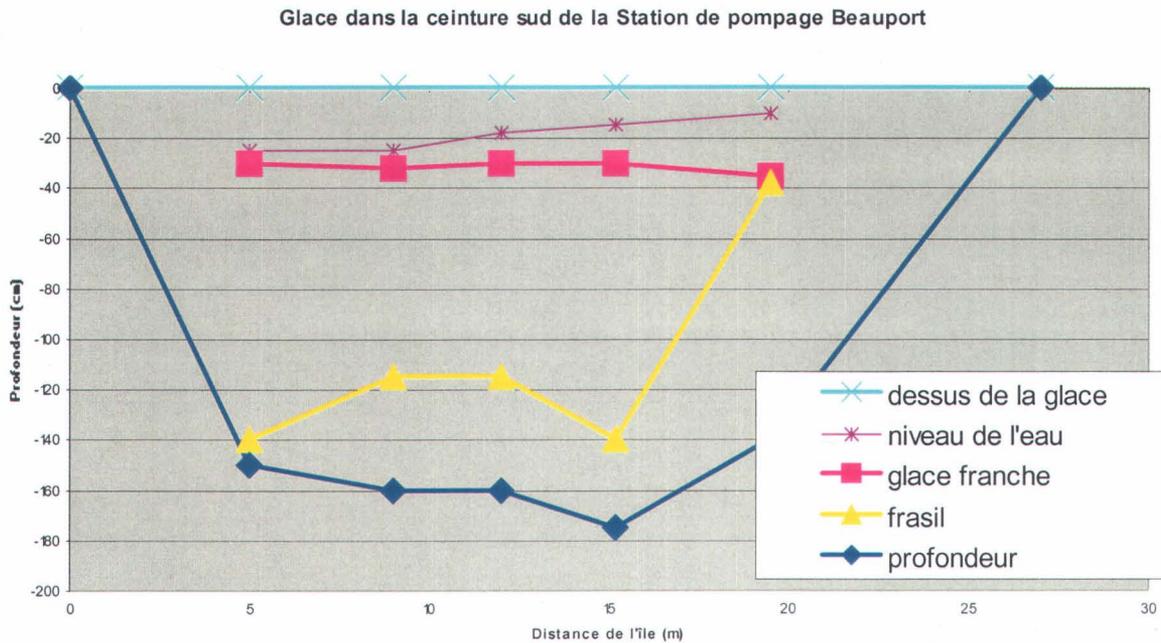
### 3.2.4 Résultats concernant le frasil

Des accumulations de frasil ont été détectées dans quatre des cinq zones inventoriées (voir la Figure 6). Les résultats pour chacun des sites sont présentés et discutés ci-après en termes de faisabilité d'y implanter une prise d'eau de type ponctuel.

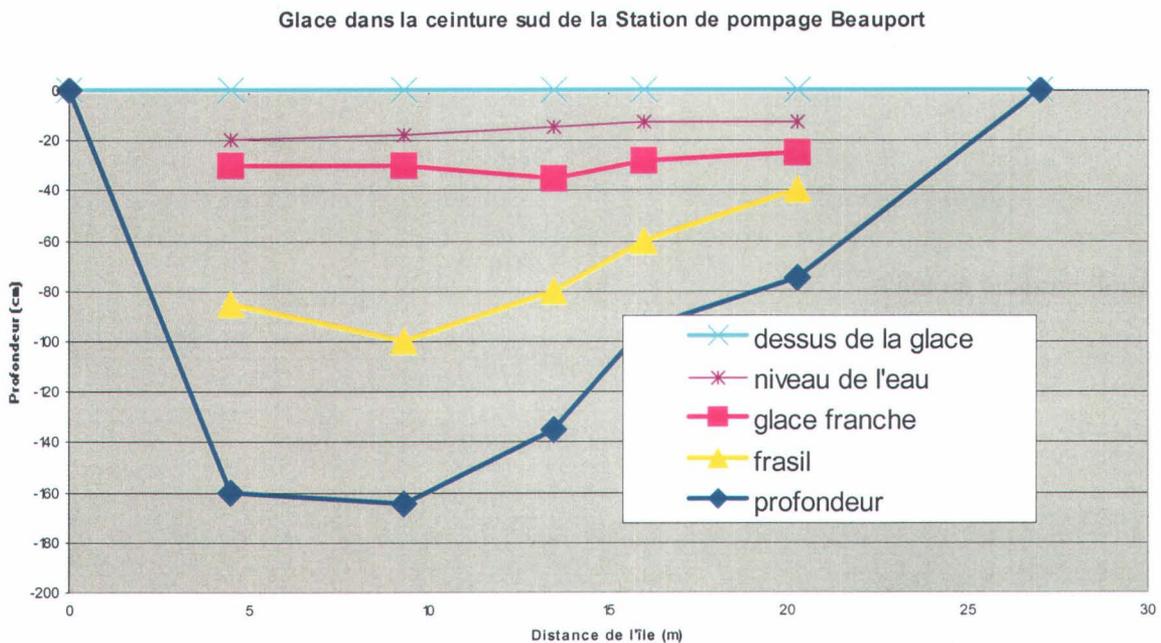
a) Fosse en rive longeant la rue des Trois-Saults. Les plus grandes épaisseurs de frasil ont été obtenues dans la fosse longeant la rue des Trois-Saults, soit entre 1,7 et 2,85 m. Cette présence abondante de frasil occupait la presque totalité de la colonne d'eau. Une faible portion de la section d'écoulement (30 à 60 cm d'épaisseur) demeurerait ouverte à l'écoulement près du fond confinant l'écoulement à cette zone; cette situation occasionne vraisemblablement des vitesses assez importantes propices à l'évacuation des sédiments pouvant s'y accumuler lors des épisodes de déposition postérieurs aux crues à l'eau libre. Ces vitesses n'ont pas été caractérisées et pour cause. Sur le plan géomorphologique, l'existence même de la fosse est sans doute liée aux processus décrits. Elle dépend de la présence active du frasil qui vient s'accumuler à cet endroit pour former ce que l'on appelle un « pont suspendu » (Michel, 1978). Elle est aussi liée à la mobilité des matériaux du lit, formé à cet endroit de dépôts fluvio-glaciaires. L'avantage d'une telle fosse pour la captation d'eau superficielle à même l'écoulement peut se trouver compromis en hiver par la présence massive du frasil nécessaire à son propre maintien. La faisabilité de l'implantation de prise d'eau superficielle à un endroit ou l'autre de la rive droite vis-à-vis de ladite fosse doit donc être examinée avec circonspection compte tenu des processus hivernaux qui y ont cours.

b) Sortie du fossé de ceinture (voir les graphiques de la Figure 7). Des épaisseurs de plus de 1 m ont également été mesurées à la sortie du fossé de ceinture, près de l'intersection de la rue du Gouffre avec la rue des Trois-Saults. Un *bouchon* de frasil a été observé sur une distance de près de 20 m dans la direction longitudinale du fossé. Le bouchon occupait toute la largeur de la section de même que les  $\frac{3}{4}$  de la colonne d'eau. On peut supposer que cette accumulation se forme à l'aide d'un courant de retour activé par le cours principal de la rivière qui est assez rapide à cet endroit, et qui ramène le frasil dans les zones plus stagnantes du fossé. De plus, le rayon de courbure de la rivière étant assez court (forte courbure) à cet endroit, le profil de vitesse de la colonne d'eau présente sans aucun doute une composante secondaire superficielle transversale qui tend à accentuer la déportation du frasil vers cette zone. Cette accumulation de frasil peut réduire considérablement la circulation de l'eau sous le couvert de glace sinon l'annihiler complètement ; les échanges entre le cours principal de la rivière Montmorency et le fossé de ceinture sont alors considérablement réduits, voire inexistantes. En conséquence, on peut en déduire que la captation d'eau à même l'écoulement dans le fossé de ceinture, peu importe l'endroit retenu serait rendu très difficile sinon compromis soit par la présence de ce bouchon, soit par l'entraînement du frasil vers une prise d'eau superficielle.

A)



B)



**Figure 7: Relevés de glace et de frazil dans la ceinture sud aval en janvier 2004**

**A) Transect au droit de l'extrémité de l'île Saint-Esprit; B) à 9 m en amont**

c) Entrée amont du fossé de ceinture. À cet endroit situé au nord-ouest des bassins de captation actuels, des accumulations de frazil de 0,6 m d'épaisseur forment une obstruction partielle qui interdit tout échange hivernal normal entre cet ancien bras et le cours principal de la rivière. Les processus d'accumulation sont similaires à ceux observés à la sortie du fossé (voir a)

d) Rive gauche du cours principal en face des bassins. En rive gauche, le long de l'île de 350 m de longueur qui s'y trouve, l'accumulation de frasil varie entre 0 et 1,55 m d'épaisseur. À cet endroit, sur une bande de 10 m longeant la rive, la glace consolidée représente près de 50 % des surfaces observées tandis que le long de la rive opposée, jouxtant les bassins de captation, la glace consolidée forme la totalité des surfaces.

e) En amont des bassins dans le cours principal. Dans la petite fosse et dans le chenal longeant le « Domaine des Îlets », une bande de 6 à 10 m de largeur est constituée de glace franche (formée sur place) entre deux importantes accumulations de glace consolidée. Il n'y a pas de frasil sous ce couvert de glace qui se trouve perché sur une hauteur de 20 à 30 cm.

### **3.2.5 En résumé**

Les conditions pré-hivernales et hivernales de 2003-2004 étaient particulièrement propices à l'observation des processus de formation tardive de couvert de glace et de génération abondante de frasil, conditions jugées préjudiciables à l'implantation d'une prise d'eau traditionnelle (ponctuelle). D'un point de vue de concepteur, cette situation est idéale pour en évaluer la faisabilité étant donné que cette situation se situe parmi les pires qui soient.

Les résultats démontrent donc une grande abondance de frasil, une condition pouvant compromettre la sécurité de l'approvisionnement hivernal par la voie des eaux de surface, un risque lié à une probabilité élevée d'obstruction des conduites d'admission.

Il est également notable que le secteur jouxtant les bassins de captation confirme sa vulnérabilité aux embâcles par l'observation de glace consolidée accumulée à cet endroit. Toute immeuble ou ouvrage implanté à basse altitude (zone de grands courants, par exemple) dans ce secteur devra être muni de dispositifs d'immunisation permettant de le soustraire à tels aléas.

## 4. Critères de faisabilité

---

### 4.1 Identification des critères

Ci-après nous identifions les critères de faisabilité à satisfaire pour l'implantation d'une prise d'eau, quel que soit le mode de captation considéré. Ils seront d'abord présentés, puis commentés un peu plus loin. Ces critères doivent servir à analyser les différentes options possibles pour la localisation de l'ouvrage. Les considérations reliées à la quantité prélevée et à l'interaction de ce prélèvement avec les autres usages de la ressource notamment la vie aquatique et le caractère esthétique de la chute Montmorency ne sont pas considérés ici.

Certains critères sont vraiment décisifs, alors que d'autres correspondent plutôt des éléments de conception à considérer mais qui ne sont pas vraiment susceptibles de compromettre le choix définitif d'un site. Les critères les plus décisifs sont :

- Adéquation par rapport aux besoins saisonniers à satisfaire;
- Interaction possible avec le dispositif actuel de captation de la station des Îlets;
- Régime du frasil (génération, transport, zones d'accumulation);
- Entretien requis, l'accessibilité, la sécurité et les éventualités de déversement accidentel de contaminants;
- Redondance minimale possible du dispositif.

Les autres critères sont :

- Dynamique sédimentaire (ensablement, colmatage, érosion, stabilité des berges);
- Risque d'inondation à l'eau libre;
- Régime des glaces (épaisseur, embâcles, débâcles);
- Température et qualité physico-chimique de l'eau ;
- Sécurité pour les activités récréatives;
- Nuisances liées à l'exploitation de la station de pompage (bruit, autres);
- Disponibilité d'espace pour l'implantation, contraintes d'occupation;
- Contraintes de construction.

Étant donné que l'étude se situe à l'étape de pré-faisabilité du concept d'aménagement, et bien que le coût de l'ouvrage représente un critère important pour le choix final d'un site, seuls les considérations techniques sont abordées ci-après. Quelques commentaires sont fournis dans les sections suivantes afin de préciser les critères retenus.

## **4.2 Discussion des critères**

### **4.2.1 Adéquation par rapport aux besoins saisonniers**

Le système doit pouvoir répondre adéquatement aux variations saisonnières de la demande.

### **4.2.2 Interaction avec le dispositif souterrain de captation de la station des Îlets actuelle**

Le dispositif de captation actuel est axé sur une proportion significative d'eau souterraine (percolation naturelle par le bas dans les bassins de captation). Cette capacité « de base » pourrait être maintenue dans la future configuration même dans l'hypothèse d'un démantèlement ou encore d'une destruction (par embâcle ou inondation majeure) des bassins de captation. Dans l'état actuel, ceux-ci constituent d'ailleurs une réserve d'eau intéressante, à maintenir éventuellement, pour faire face à certains aléas mineurs ou lors des entretiens périodiques. Cette complémentarité entre les différents dispositifs actuels et futurs peut s'avérer importante pour certains scénarios.

### **4.2.3 Régime du frasil (Transport, zones d'accumulation)**

Le site doit permettre la libre circulation de l'eau vers la prise d'eau et éviter autant que possible la trajectoire de transport de frasil. Pour ce faire, l'insertion efficace des ouvrages en tenant compte des zones d'accumulation et de transport de frasil est essentiel.

### **4.2.4 Entretien, accessibilité, sécurité et éventualité de déversement accidentel de contaminants**

L'ouvrage doit être facilement accessible pour son entretien et son opération et pour faciliter toute intervention consécutive à une urgence reliée par exemple à un déversement accidentel de contaminant dans la rivière. Les accès au site doivent pouvoir être sécurisés.

### **4.2.5 Redondance minimale possible du dispositif**

L'ensemble du dispositif mis en place doit offrir des alternatives opérationnelles en fonction des contraintes hydrologiques ou climatiques saisonnières, des bris éventuels ainsi que des périodes d'entretien. Une certaine redondance prenant appui sur plus d'un site ou d'un mode de captation nous semble absolument requise.

### **4.2.6 Dynamique sédimentaire (ensablement, colmatage, érosion, stabilité des berges)**

Le site retenu doit être exempt autant que possible de processus d'aggradation du lit par les sédiments fins qui pourraient relever significativement la morphologie du site et conduire subséquemment à l'ensablement du dispositif (colmatage).

Quant au transport de sédiments en période de crue qui détermine la concentration de matière en suspension, il est important sur une base opérationnelle pour le traitement à effectuer sur l'eau brute; mais ce processus ne constitue pas un critère car il ne dépend que du débit produit par le bassin versant et il est donc indépendant de la localisation de l'ouvrage. L'ouvrage doit aussi être situé en un endroit sécuritaire (ou sécurisé par des aménagements de protection de rives appropriés) par rapport à l'érosion ou à la stabilité des berges ou du lit mineur. Dans le cas d'un dispositif souterrain de captation par infiltration, le site devrait être prémuni contre le colmatage du milieu d'infiltration, ou du moins permettre le dé-colmatage à l'aide d'un contre-débit de lavage des substrats filtrants.

#### **4.2.7 Risques d'inondation, d'embâcles et d'érosion**

Un éventuel ouvrage hors terre doit pouvoir être construit sur un site sécuritaire par rapport aux cotes d'inondation, et dans le cas contraire, pouvoir être immunisé contre sa submersion, l'érosion et/ la poussée des glaces.

#### **4.2.8 Température et qualité physico-chimique de l'eau**

La qualité d'eau brute est définie par ses attributs physico-chimiques. Le choix d'un site doit permettre de maximiser le renouvellement de l'eau et éviter les zones trop stagnantes ou subissant la décomposition de la matière organique présente dans le substrat.

#### **4.2.9 Sécurité pour les activités de récréation**

L'ouvrage ne doit pas venir en conflit ou représenter un danger pour les activités récréatives, notamment la baignade et le canot-kayak.

#### **4.2.10 Nuisances liées à l'exploitation de la station de pompage (bruit, autres)**

L'ouvrage doit présenter des impacts acceptables par rapport aux nuisances possibles liées à son opération.

#### **4.2.11 Disponibilité d'espace pour l'implantation, contraintes d'occupation**

Le site doit offrir l'espace suffisant pour son implantation et minimiser les contraintes liées à l'occupation actuelle des lieux par la fonction résidentielle ou la villégiature.

#### **4.2.12 Contraintes de construction**

Le site ne doit pas présenter de contraintes techniques insurmontables pour la mise en place du dispositif lors de sa construction.

## 5. Définition des besoins saisonniers et des modes d'approvisionnement

---

### 5.1 Deux conditions climatiques discriminantes

Après analyse préliminaire, il est apparu que la plupart des sites possibles (voir plus loin) présentaient des avantages saisonniers, soit pour l'hiver, soit pour les autres saisons; aucun cependant ne permettait de satisfaire les besoins à l'année longue. Nous avons donc procédé à une analyse et à une pré-sélection de sites en mettant de l'avant ce critère discriminant, et en tenant compte de techniques de captation adaptées aux sites. Dans les paragraphes qui suivent, on trouvera donc présentés séparément les sites qui conviennent à une implantation estivale, automnale et printanière d'une part (situation dite normale), et les sites qui conviennent à l'hiver d'autre part (situation hivernale).

### 5.2 Besoins à satisfaire

La pointe actuelle de consommation est de l'ordre de 60 000 m<sup>3</sup>/j et la pointe future a été établie à 66 000 m<sup>3</sup>/j, soit la capacité nominale autorisée de la station de traitement à construire. Cette pointe correspond bien sûr à un *extremum* annuel mais elle n'est que momentanément atteinte durant l'année. En effet, la pointe actuelle se produit tôt dans l'été au moment du remplissage des piscines et du grand nettoyage. Par contraste, la demande normale est de 35 000 m<sup>3</sup>/j, une valeur typique en toutes saisons sauf la période de pointe mentionnée.

Afin de déterminer le besoin devant être comblé à ces différentes périodes par les nouvelles installations de prise d'eau, il était nécessaire de poser certaines hypothèses concernant le sort qui sera réservé aux bassins de captation actuels. Ceux-ci peuvent être totalement désaffectés à terme (A), ou encore être détruits par un événement majeur de crue ou d'embâcle (B). On peut aussi les conserver dans une forme minimale conservant la capacité d'infiltration provenant directement de la nappe (sans recharge artificielle) ou encore la réserve tampon des bassins (C). Dans les deux premiers cas (A et B sont les hypothèses les plus conservatrices), l'ensemble de l'approvisionnement devra être fourni par le nouveau dispositif, c'est-à-dire, 35 000 m<sup>3</sup>/j en situation normale et 66 000 m<sup>3</sup>/j éventuellement en période de pointe. Dans le troisième cas (C), l'efficacité purement souterraine (sans recharge) n'étant pas établie définitivement, l'excédent (encore à déterminer) d'une capacité maximale actuelle de 26 000 m<sup>3</sup>/j (très probablement moins) devrait être comblé. Nous avons opté pour les hypothèses les plus conservatrices pour le débit de conception, soit celles supposant un démantèlement ou une destruction du système de captation existant.

**Précision.** Par rapport au démantèlement des bassins actuels, cette hypothèse n'est évoquée que pour des fins de conception des futures installations et elle ne constitue pas une recommandation. *Il est plutôt recommandé de discriminer plus précisément la part relative de la captation par les bassins provenant directement de la nappe sous-jacente de celle provenant de fuites*

*superficielles (par les regards d'accès notamment). Cette analyse devra être réalisée sur le terrain dès que les conditions le permettront.*

Dans la situation actuelle, le meilleur des cas survient suite à une opération d'entretien des lits filtrants, la capacité peut être accrue à une valeur approchant la demande normale de 35 000 m<sup>3</sup>/j. Le cas échéant, l'approvisionnement en eau brute s'effectue d'abord par un apport superficiel puisé à même l'écoulement de la rivière, quantité qui est ensuite filtrée partiellement ou complètement à travers les lits filtrants des bassins de captation. Pour toute demande additionnelle correspondant à la période de pointe annuelle, l'apport direct d'eau brute puisé superficiellement dans la rivière est acheminé à la station de pompage en court-circuitant les bassins de captation. À ce moment la qualité de l'eau livrée reflète celle de l'eau brute puisée à la rivière; elle présente alors des qualités variables dans le temps et peut voir sa couleur et qualités esthétiques se dégrader surtout quand le débit de la rivière est élevé (turbidité liée au transport de matières en suspension). Cette configuration devra être conservée comme sécurité tant que le niveau dispositif n'aura démontré son efficacité tel qu'attendu.

*En résumé, la demande de pointe à combler se chiffre dans la pire des situations de pointe actuelles (début de l'été,) à 60 000 m<sup>3</sup>/j, à 66 000 m<sup>3</sup>/j selon le débit de pointe de conception de la station de traitement, et à 35 000 m<sup>3</sup>/j en consommation normale (notamment l'hiver). En posant l'hypothèse que les bassins actuels seront dans le pire des cas désaffectés, c'est cette demande qui devra être comblée par les nouvelles installations.*

### **5.3 Deux modes d'exploitation à considérer: linéaire ou ponctuelle**

Afin d'évaluer les sites potentiels, il était nécessaire de définir les capacités de base des principaux modes d'exploitation possibles, ce critère étant le plus déterminant. Dans notre analyse, nous distinguons le mode ponctuel et le mode linéaire.

Le *mode ponctuel* est représenté par un puits vertical de captation à même l'écoulement superficiel, implanté en rive, et similaire à l'ouvrage A alimentant l'aqueduc de Charlesbourg. L'alimentation au puits peut cependant être constitué d'une galerie horizontale relativement courte, posée sur le fond et captant l'écoulement superficiel. La demande à satisfaire par ce mode est constitué de l'excédent de l'approvisionnement obtenu par le mode linéaire lequel doit répondre à la demande normale en toutes saisons. L'indication est donc de 25 000/31 000 m<sup>3</sup>/j selon la pointe considérée, actuelle ou future. Le mode ponctuel peut aussi être mobilisé pour combler momentanément l'ensemble de la consommation instantanée en conditions d'avaries ou lors des entretiens périodiques.

Le *mode linéaire* est constitué d'une ou plusieurs galeries de captation alimentée(s) par infiltration naturelle dans la partie superficielle de la nappe phréatique (couche hyporhéique) et acheminant le débit par mode gravitaire vers un puits de pompage accessible, localisé adéquatement à proximité ou à distance. Ce mode se veut une adaptation du concept original de Hallisey *et al.* (1982) compte tenu des connaissances acquises sur l'évolution et le fonctionnement du dispositif actuel, et de l'état de l'art dans le domaine tel que représenté par des expériences réussies ailleurs dans des conditions similaires. La demande à satisfaire par ce mode correspond à la demande normale en toutes saisons, soit 35 000 m<sup>3</sup>/j.

## 5.4 Le mode de captation ponctuel des eaux de surface

Le *mode ponctuel* de captation direct à partir de l'écoulement de surface présente l'avantage d'occuper peu d'espace et d'offrir des capacités potentiellement illimitées (elles ne sont limitées que par le potentiel de la source d'approvisionnement, soit le débit autorisé). Par contre, ce mode est fragile en hiver à cause de l'interaction avec les glaces et le frasil et de nombreux problèmes sont rapportés dans la littérature en rapport avec cette saison. De plus, la qualité de l'eau brute captée peut être fortement influencée par le régime sédimentaire de la rivière, notamment en crues lorsque la rivière transporte une forte charge en turbidité, et par la présence à l'année longue d'acides humiques. Cette eau doit donc idéalement transiter par des lits filtrants (ex : les bassins actuels) avant d'être re-captée et acheminée vers la station de traitement. Par contre, un démantèlement éventuel ou la destruction de ces bassins éliminerait cette possibilité. L'acheminement direct à la station de traitement doit donc être prévu. D'ailleurs, la chaîne de traitement proposée (D. Pinard, communication personnelle, 2004) est robuste et peut rencontrer les normes de potabilité sans procédé de traitement additionnel. Toutefois, une qualité d'eau brute moindre signifie des coûts d'exploitation un peu plus élevés avec le dosage accru de produits chimiques (coagulant). La période de pointe étant limitée dans le temps, cette éventualité ne devrait pas avoir trop d'impact sur les coûts de fonctionnement. Cette solution semble cependant la plus simple d'application pour combler l'excédent de la demande de pointe, c'est-à-dire, au-delà des capacités souterraines nouvelles à installer.

## 5.5 Le mode de captation linéaire des eaux souterraines sous-fluviales

Le *mode de captation linéaire* (galeries) peut viser les eaux souterraines ou sous-fluviales (hyporhéïque) selon que le dispositif est implanté directement sous l'écoulement de surface ou en rive dans la nappe phréatique qui jouxte la rivière. Ce mode de captation nécessite un plus grand espace d'implantation que le mode ponctuel et dépend des paramètres de transmissivité et de l'épaisseur des dépôts perméables qui s'y trouvent. Ce sont ces caractéristiques qui déterminent la longueur du dispositif de captation. C'est pourquoi nous examinons cet aspect de manière plus détaillée.

Pour se former une idée de l'espace requis, nous nous sommes basés sur les expériences de la station de pompage du Centre de ski du Mont Sainte-Anne et la station des Îlets actuelle.

### 5.5.1 L'expérience de captation linéaire au mont Sainte-Anne

Les données qui suivent nous ont été communiquées par Jean Bouchard, M.Sc., le 19 février 2004. Vers 1990, la station touristique du mont Sainte-Anne a implanté une prise d'eau dans la rivière Sainte-Anne afin de subvenir à ses besoins de fabrication de neige artificielle. Le besoin maximal était de  $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$ . À cause des problèmes de frasil et la présence de sites de fraie de salmonidés dans la rivière, une prise d'eau de type linéaire par percolation fut implantée dans la rivière Sainte-Anne située à proximité de la station.

Cette prise est caractérisée par un tuyau de PVC de 35,6 cm (14 po) de diamètre et de 240 m de longueur étalé dans une tranchée filtrante près de la rive sous la ligne d'eau de l'étiage. La

tranchée est constituée de couches de concassés de différents calibres et de sable dit « New Jersey ». Son rendement observé se chiffre à 2500 GUSPM (Gallons US par minute) ou encore à  $0,157 \text{ m}^3/\text{s}$  ce qui représente pour la longueur de conduite installée de 240 m, un rendement de  $0,00065 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ .

Similaire à l'expérience de l'ouvrage A de la Ville de Charlesbourg, mais à un degré moindre, cette prise linéaire a perdu 25% de son efficacité après quatre ou cinq ans. Contrairement à l'ouvrage A de Charlesbourg (fournir l'eau à partir de l'écoulement superficiel), la Station touristique du Mont Sainte Anne a décidé gérer le colmatage de leur système. Pour rectifier l'efficacité de l'écoulement à travers le lit de la rivière, un procédé de lavage par contre-courant ("*backwash*") a été installé. Ce système n'est opéré qu'une seule fois par année à l'automne.

Depuis l'implantation de ces mesures correctives, aucune baisse significative de performance n'est enregistrée et on prévoit une efficacité à long terme au-delà de 90%. Aucun problème relié au frasil ou à la glace de fond n'a jamais été relevé.

### 5.5.2 Estimation de transmissivité pour le secteur des Îlets

Tel que décrit précédemment dans ce rapport, le rendement prévu par Hallisey *et al.* (1982) et la Compagnie internationale d'hydrogéologie (Québec) (1982) était de  $39\,130 \text{ m}^3$  ( $0,00126 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ ) avec les matériaux granulaires recommandés autour des drains. Après 20 ans de service, le débit journalier capté sur une distance de 360 m est évalué à  $23\,600 \text{ m}^3/\text{j}$  ( $0,00066 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ ). Basée sur cette information, la conductivité hydraulique a été estimée à  $K = 50 \text{ m}/\text{j}$ .

Afin d'estimer une longueur d'implantation, il est d'abord nécessaire de fixer certains paramètres techniques préliminaires relatifs aux dimensions des conduites et des tranchées. Ces paramètres seront précisés au chapitre 7. En se basant sur la valeur de transmissivité estimée, nous proposons un agencement de conduites dans une tranchée de 2,5 m de profond et 2 m de large sous le lit de la rivière, laquelle contiendrait 2 conduites perforées de 50 cm de diamètre. Sur la base de cette configuration et de simulations d'écoulement en milieu poreux avec le logiciel SEEP, nous croyons que le rendement pourrait atteindre de  $0,0032 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ .

Bien sûr, ce rendement est cinq fois plus important que le rendement actuel de la station des Îlets. Les raisons principales qui expliquent cet écart important sont :

- L'eau n'a qu'à franchir 2 m d'alluvions au lieu de 10 m pour atteindre les conduites. Dans le premier cas, elles sont directement situées sous l'écoulement; dans l'autre, elles sont relativement éloignées de la rivière sous les digues ou les lits filtrants.
- L'eau peut atteindre les conduites de tous les cotés car la tranchée serait placée dans la rivière même alors que dans l'autre cas, la percolation ne permet d'atteindre les conduites que par un seul côté.
- Deux conduites sont préconisées dans la tranchée plutôt qu'une seule (comme dans le cas du Mont Sainte-Anne).

*Pour la conception, nous proposons d'appliquer un facteur de sécurité de 2 sur le rendement. Ainsi, Dans l'hypothèse où l'on voudrait satisfaire l'ensemble de la demande normale en toutes*

*saisons (35 000 m<sup>3</sup>/j) sauf la pointe annuelle laquelle nécessite un apport additionnel par les eaux de surface, 252 m de tranchée équipée d'une double conduite serait nécessaire.*

## 6. Sites potentiels

---

### 6.1 Portée de la zone considérée

En vue de sélectionner des sites potentiels, une zone comprise entre une section à l'amont du petit rapide du Rigolet à l'amont de la station des Îlets actuelle et les limites de la Ville de Québec avec Boischatel a été prise en considération. Il est à noter que les deux rives de la rivière ont été retenues comme pouvant offrir un potentiel pour une telle implantation, la rive gauche présentant un avantage évident, mise à part l'obligation de traverser des conduites sous-fluviales) étant donné l'absence quasi-complète d'occupation humaine (à l'exception de quatre chalets inaccessibles par voie routière). Il est aussi notable que plus le site est situé à l'amont, plus les possibilités de transport par gravité s'en trouvent améliorées ce qui constitue un avantage à considérer quoique non discriminant. Pour mieux identifier les sites potentiels, nous avons considéré *a priori* que les deux modes d'extraction présentés précédemment (ponctuel, linéaire) étaient envisageables, mais selon des paramètres de la demande saisonnière.

### 6.2 Sites analysés en fonction des saisons d'exploitation

#### 6.2.1 Analyse des sites linéaires considérés pour une exploitation hivernale

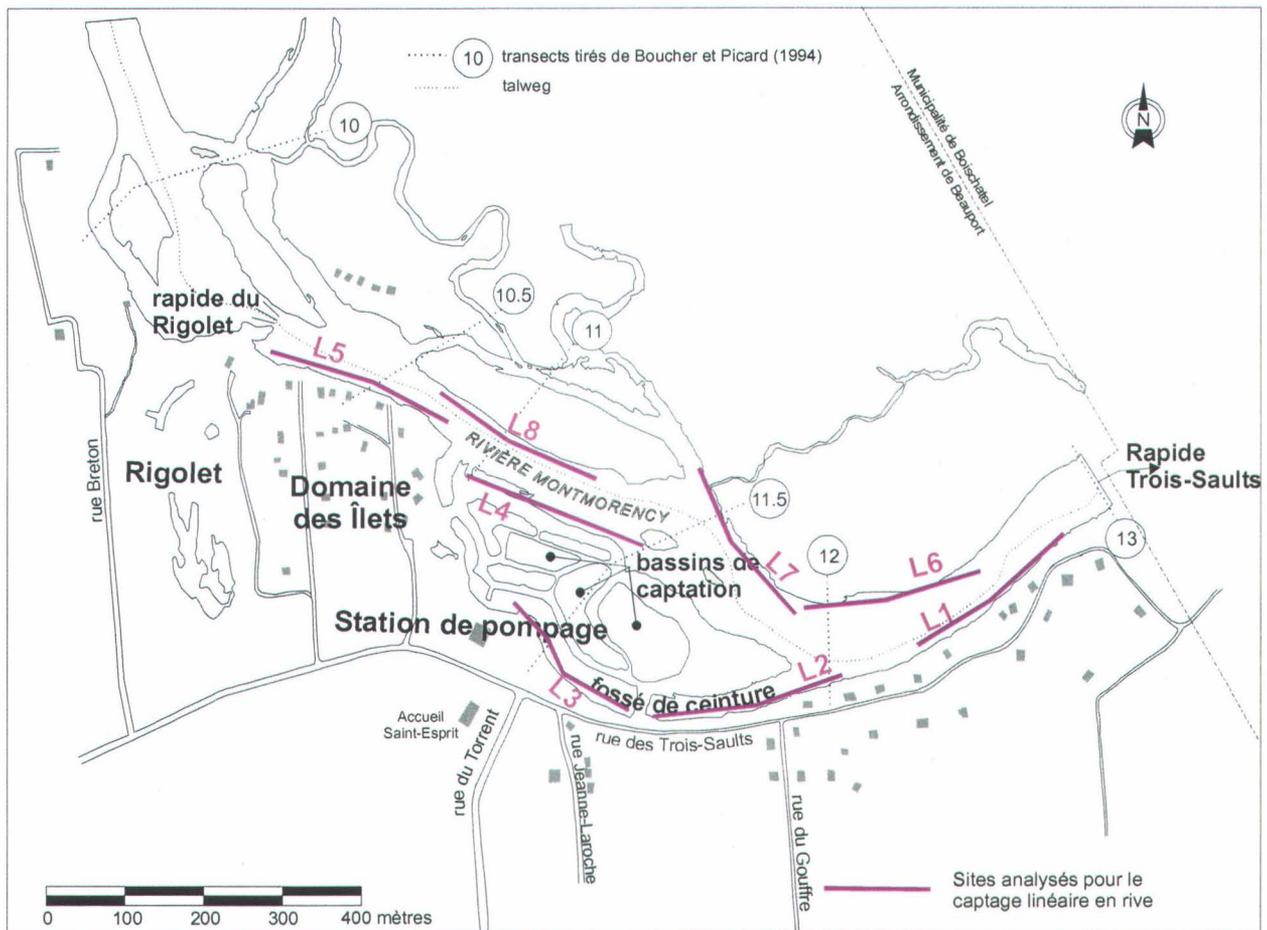
La dynamique des glaces et surtout, la présence de frasil dans le secteur (voir la section 3.2), constituent des facteurs extrêmement discriminants pour le choix d'un mode d'exploitation hivernale. À notre avis, seul le mode linéaire peut convenir afin d'assurer la sécurité de l'approvisionnement. La présence du frasil dans la plupart des sites envisagés et les incertitudes importantes liées à sa dynamique aléatoire au fil des hivers constituent une contrainte extrêmement difficile à surmonter pour un mode d'exploitation ponctuel, et qui ne permet pas d'offrir une quelconque garantie d'approvisionnement avec ce mode. Le mode linéaire permet de surmonter efficacement cette difficulté en plus d'être opérationnel à l'année longue.

En conséquence, il s'agit donc d'examiner les possibilités d'implantation longitudinale sur les deux rives de la rivière, et ce pour une distance ne devant pas dépasser typiquement 250 m. Pour identifier les sites, cette longueur a été extrapolée à 300 m afin de laisser au concepteur une certaine marge de manœuvre pour le positionnement exact.

Sur le strict plan technique, sans égard au critère d'occupation actuelle des rives, les sites ayant été analysés sont (voir la Figure 8):

1. en rive droite, le long de la rue des Trois-Saults en aval d'une section à la hauteur de la rue du Gouffre (L1)
2. en rive droite, le long du fossé de ceinture en aval de la digue de fermeture aval (L2)
3. en rive droite, dans le fossé de ceinture en amont de la digue de fermeture aval (L3)

4. en rive droite, dans le cours principal le long des bassins de captation actuels (L4)
5. en rive droite, dans le cours principal, immédiatement en amont de l'entrée du fossé de ceinture (L5)
6. en rive gauche, dans le cours principal, variante en aval d'une section située vis-à-vis de la rue du Gouffre (L6)
7. en rive gauche, dans le cours principal, variante immédiatement en amont d'une section située vis-à-vis de la rue du Gouffre (L7)
8. en rive gauche, dans le cours principal, variante vis-à-vis des bassins de captation actuels (L8)



**Figure 8 : Localisation des sites analysés pour une implantation linéaire (sous-fluviale ou riveraine) de galeries de captation**

Tous ces espaces offrent les longueurs voulues pour l'implantation de 252 m, voire 300 m de conduites perforées, mais leurs caractéristiques sont loin d'être semblables et n'offrent pas les mêmes opportunités et contraintes de localisation.

1. Certaines sont confrontées à l'occupation actuelle résidentielle des lieux (L1 et L5) et pourraient nécessiter des relocalisations.

2. Les deux options du fossé de ceinture (L2 et L3) mettent en cause la qualité relativement médiocre de l'eau de surface et éventuellement d'infiltration liée au faible taux de renouvellement ainsi qu'à l'absence de processus d'entretien des substrats par la dynamique naturelle du cours d'eau en crue.
3. La solution en rive droite le long des bassins de captation (L4) semble offrir toutes les caractéristiques attendues pour ce mode de captation mais cette hypothèse doit être envisagée dans la mesure où les bassins de captation actuels seraient plus ou moins démantelés. Il faut donc y voir un mode de remplacement direct des bassins actuels. Autrement, cette option viendrait concurrencer l'approvisionnement actuel de la nappe sous-jacente de ces bassins et risquerait de compromettre en partie l'efficacité du dispositif présent. Comme il est important de maintenir le mode d'approvisionnement présent, malgré ses déficiences, le temps que le nouveau dispositif soit pleinement validé, cette option ne peut être envisagée que dans un second temps, comme une garantie additionnelle.
4. La variante aval des options en rive gauche (L6) est située dans une zone propice à la sédimentation (banc convexe) de particules fines, voire organiques ainsi que de débris végétaux de plus grande taille. De plus, la topographie de cette zone n'est pas assez basse en altitude pour offrir en permanence des conditions de submersion de son lit. D'ailleurs, cet endroit se transforme en plage lors des étiages estivaux, et ce lieu est relativement fréquenté en tant que tel par les riverains et villégiateurs du secteur. Enfin, avec de telles caractéristiques morphologiques, la nappe sous-jacente de cette zone se recharge surtout à partir du cours principal situé à une distance approximative de 25 m ce qui peut réduire significativement l'efficacité du dispositif non seulement à cause de cette distance (perte de charge) mais aussi à cause du niveau de la nappe plus bas, contrôlé par le niveau hydrostatique de la rivière.
5. Les deux variantes plus en amont en rive gauche (L7 et L8) ont des caractéristiques assez similaires entre elles: d'abord, elles jouxtent un bon courant qui favorise le renouvellement de l'eau et le nettoyage naturel du substrat. Les profondeurs y sont significatives en permanence ce qui permettrait d'alimenter directement à la verticale des conduites enfouies dans le substrat. Les deux sites ne viennent pas en conflit avec l'occupation actuelle ni future étant donné qu'ils sont tous deux situés dans la zone inondable dite de « grand courant » (réurrence 0-20 ans) et qu'ils ne sont pas fréquentés pour des fins récréatives.

Entre ces deux sites, celui situé immédiatement en face des bassins de captation (L8) présente des avantages comparatifs : il ne semble pas soumis à des processus érosifs très significatifs comme l'est l'autre site (L7) dont les berges reculent systématiquement depuis plusieurs décennies (voir Leclerc *et al.*, 1998) et demeurent encore instables. Cependant, les observations topographiques indiquant une zone d'érosion du lit mineur à l'amont de la zone (voir la Figure 5), l'implantation de conduites devra tenir compte de ce fait. Par ailleurs, le site L8 est situé immédiatement à proximité des installations actuelles ce qui minimise la distance et facilite le transport par conduite sous-fluviale. Les sites L8 et L7 ne permettent l'acheminement gravitaire et nécessitent l'usage d'un système de pompage pour traverser l'eau vers les installations actuelles. Une telle approche est similaire à celle de la station touristique du mont Sainte-Anne qui comporte aussi une traversée sous-fluviale de rivière.

*En résumé, le site L8 constitue donc une option à examiner très sérieusement à la lumière des autres critères proposés précédemment malgré la nécessité technique de traverser la rivière avec nécessité de pompage. Le site L4 jouxtant les bassins actuels présente des possibilités similaires mais la concurrence qui serait exercée par ce site sur la recharge de la nappe sous les installations actuelles rend ce choix risqué tant que la validation des nouvelles installations ne sera pas réalisée. L'option doit cependant être retenue à plus long terme.*

## **6.2.2 Analyse des sites considérés pour une exploitation en mode ponctuel pour toutes les saisons sauf l'hiver**

Sur le seul plan technique, les sites propices à une implantation de type ponctuel sont relativement moins nombreux. À l'instar de l'analyse précédente, la contrainte d'occupation actuelle du site n'a pas été considérée *a priori* pour sélectionner les sites. Il a été supposé que tous ces sites disposaient des espaces requis pour l'implantation directe d'un bâtiment abritant les puits et conduites de captation à même l'écoulement superficiel. Les contraintes hivernales sont considérées seulement en fonction de la sécurité du dispositif sans égard à la garantie d'approvisionnement laquelle, on l'a vu, est impossible à fournir compte tenu de la dynamique hivernale du frasil. La rive gauche n'a pas été considérée ici pour des raisons liées à des contraintes d'accessibilité et aux opérations d'entretien.

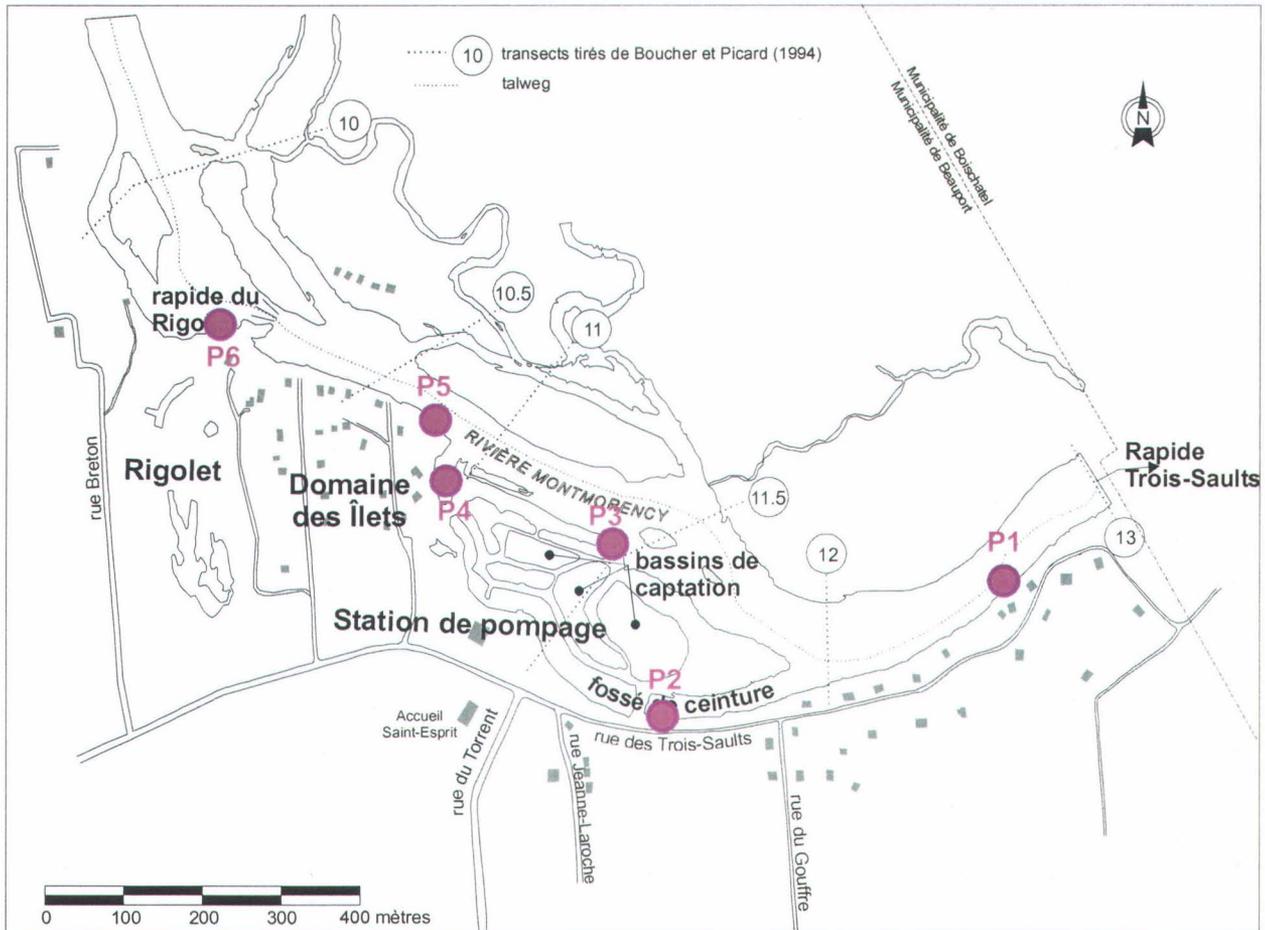
Les sites identifiés sont les suivants :

1. En un endroit non-spécifié de la berge le long de la rue des Trois-Saults en aval d'une section à la hauteur de la rue du Gouffre (P1)
2. Dans le fossé de ceinture en aval de la digue transversale aval (P2)
3. Au site actuel de pompage en rive droite à l'amont du bassin 7 (P3)
4. Dans le fossé de ceinture à l'amont de la digue transversale amont (P4)
5. En rive droite du cours principal immédiatement à l'amont du fossé de ceinture (P5)
6. En rive droite immédiatement à l'amont du seuil du rapide du Rigolet (P6)

Dans les paragraphes qui suivent, nous conduisons une première analyse de ces sites :

1. Le premier site (P1) présente des caractéristiques intéressantes pour l'implantation d'un ouvrage de type ponctuel du moins pour le prélèvement. La bathymétrie offre les profondeurs les plus grandes de l'ensemble du secteur étudié (3 m à l'étiage). Cette topographie particulière est maintenue naturellement par l'action du frasil ce qui forme la raison principale pour en restreindre l'exploitation aux autres saisons que l'hiver. La topographie en rive est relativement élevée (cote correspondant environ aux crues 1/100 ans) ce qui permet de positionner sans protection particulière le bâtiment à l'abri de toute submersion liée aux crues à l'eau libre ou par embâcles. Par contre, le site est relativement éloigné des installations principales de la station et l'acheminement de l'eau nécessitera un relais de pompage pour la mise en charge. Par ailleurs, les terrains riverains sont partout dédiés à la fonction résidentielle ce qui nécessiterait certainement des relocalisations et un impact social à minimiser. La distance par rapport aux installations principales impose des

travaux importants d'excavation et de voirie sur une distance pouvant aller jusqu'à 700 m dépendant du lieu qui serait retenu, ce qui peut engendrer des coûts relativement importants par rapport aux autres options de type ponctuel situées plus en amont. Cette option, si elle n'est pas techniquement impossible, ne semble pas représenter d'avantage déterminant par rapport aux inconvénients identifiés.



**Figure 9 : Sites analysés pour une implantation en mode ponctuel exploitable en toutes saisons sauf l'hiver**

2. Le deuxième site (P2) présente de meilleures conditions par rapport à l'occupation résidentielle (le bâtiment pourrait être installé en rive le long de la rue des Trois-Sauts sur un terrain appartenant déjà à la Ville), à la disponibilité d'espace, à la vulnérabilité par rapport aux inondations, et à sa proximité par rapport aux installations existantes. Cependant, le fossé de ceinture qui servirait de source d'eau brute est totalement soustrait à la dynamique naturelle du cours d'eau principal ce qui en fait un lieu privilégié de sédimentation. Actuellement, on estime à près de 70 cm la couche de sédiment tapissant le fond, matériau constitué de limons et de matière organique dont la décomposition peut causer de sérieux problèmes de qualité d'eau brute. De plus, le taux de renouvellement de l'eau associé au pompage serait si faible compte tenu de la section d'écoulement et du débit capté que la température de l'eau subirait des hausses journalières en été sans doute élevés pour une eau potable de qualité (voisinant les 25-27 degrés). Afin d'améliorer les conditions physico-

chimiques et sédimentologiques du tronçon visé, il faudrait envisager d'y rétablir une forme de circulation plus active (débit d'entretien) ce qui pose des difficultés certaines, mais non insurmontables, compte tenu de la présence des infrastructures actuelles et à venir dans le fossé de ceinture amont. Pour ces raisons, le site P2 ne présente pas d'avantage déterminant compte tenu des contraintes liées à la qualité de l'eau brute ainsi obtenue.

3. Le site P3 est celui actuellement utilisé pour alimenter en eau de surface les bassins de captation actuels. Hormis les problèmes de turbidité liés aux crues (non-discriminants puisque liés au débit seulement, ils se produisent sur tous les sites) et les problèmes de frasil (que l'on ne considère pas ici), l'endroit a démontré une certaine efficacité dans le passé. Par contre, l'installation est sommaire (une pompe submersible posée au fond connectée à un tuyau flexible déroulé vers le bassin #7).

Dans l'éventualité d'une installation plus permanente (un bâtiment en rive avec un (des) puits de pompage, le site peut perdre ses avantages : la bathymétrie est peu profonde et tout surcreusement l'exposerait à un comblement récurrent par la dynamique sédimentologique et des opérations d'entretien assez fréquentes. La cote maximale des digues se situe assez bas (157 m) dans la zone inondable de grands courants (récurrence 0-20 ans; Leclerc et al., 1998) et celles-ci sont aussi soumises à des risques de rupture par les embâcles et l'érosion reliée à la submersion. L'ensemble du dispositif des bassins peut donc subir des dommages transitoires importants (fissure des digues, etc.; voir Leclerc et al, 2001) mais réparables dans un délai acceptable. Afin de prémunir le poste de pompage en rive contre de tels risques, une configuration très particulière d'implantation compatible avec la submersion possible et un système de protection très efficace du bâtiment contre l'érosion et la poussée des glaces devraient être envisagés. Pour ces raisons, le site ne présente pas *a priori* d'avantage comparatif déterminant pour l'implantation d'un poste de pompage de type ponctuel.

4. Le site P4 présente certaines caractéristiques similaires à P3 et pose les mêmes exigences quant à l'implantation et la compatibilité par rapport à la submersion. Sa position exacte offre des possibilités de variantes : à même le périmètre de digues intérieures du côté du fossé de ceinture amont ou du côté du cours principal de la rivière, ou encore, en rive du côté sud du fossé de ceinture avec captation dans celui-ci. Mises à part les questions de frasil, ces variantes offrent des possibilités variant selon la profondeur locale offerte; ce critère favorise les variantes puisant dans le fossé de ceinture. Le prélèvement du côté rivière présente les mêmes contraintes de profondeur que le site P3 en plus de subir de façon plus importante la dynamique sédimentaire et l'action directe des glaces. Par contre, du côté du fossé de ceinture, la dynamique du courant étant limitée, la sédimentation de particules fines et de matière organique est favorisée ce qui peut représenter une exigence d'entretien récurrent visant à limiter les processus de décomposition bactérienne. Par ailleurs, l'alimentation s'y ferait dans le sens naturel du courant, et compte tenu du faible volume que la partie amont du fossé occupe, le renouvellement de l'eau pourrait être suffisant pour capter une eau brute de bonne qualité, hors des périodes de crue propices à l'augmentation de la turbidité naturelle de la rivière. Dans le cas d'une station implantée d'un côté ou de l'autre du fossé de ceinture amont, il faut retenir que l'option côté sud suppose des acquisitions de terrain et une certaine harmonisation avec la fonction résidentielle existante.

5. Le site P5 constitue également une variante de P3, voire P4, dans la mesure où leurs caractéristiques morphologiques se recoupent grandement. La seule différence est représentée par le dynamisme plus grand de l'écoulement et la profondeur disponible en ce lieu, laquelle semble se maintenir naturellement comme en témoignent nos relevés topographiques récents (Figure 5). Les recommandations déjà formulées pour P3 et P4 à l'égard des risques de submersion et de poussée des glaces en cas d'embâcles sont également applicables ici, d'autant plus que la restriction de l'écoulement qu'on y observe dans le cours principal (la rivière s'y divise en trois bras incluant le fossé de ceinture) est propice à la formation d'embâcles. Par ailleurs, l'occupation résidentielle actuelle des berges implique des acquisitions et sans doute des relocalisations. Il est aussi à noter que l'ensemble du rivage entre l'entrée du fossé de ceinture et le rapide du Rigolet a fait l'objet d'aménagements de protection des rives et que celles-ci demeurent stables au fil des années.
6. Le site P6 est situé à l'extrémité amont du secteur d'étude. C'est le seul qui se trouve immédiatement contrôlé en niveau d'eau par la présence d'un seuil granitique (seuil du Rigolet). Sa bathymétrie est intéressante car on y rencontre des profondeurs suffisantes pour alimenter directement un puits de pompage en rive. Cette profondeur relativement plus grande est sans doute due à l'accumulation de frasil produit dans les rapides immédiatement à l'amont, frasil qui vient se loger sous un couvert de glace franche dont la formation est favorisée par la présence du seuil mentionné. Il est aussi possible que de la glace de fond contribue à une surélévation du seuil lors de séquences de températures froides. Le site étant situé en amont de la zone, la dénivellation par rapport à la station des Îlets actuelle est sans doute propice à un acheminement gravitaire de l'eau brute.

Par contre, des restrictions particulières au site en diminuent l'attrait pour l'implantation d'un poste de pompage. D'abord, on dispose de peu d'espace d'implantation compte tenu de l'escarpement du site. Pour des raisons de constitution des dépôts meubles formant l'escarpement, ce site est considéré instable et vulnérable aux glissements de terrain (provoqués par les crues ou les embâcles majeurs) qui pourraient mettre en péril les installations et/ou complètement reconfigurer la topographie favorable du site par son comblement. Une telle situation s'est déjà produite comme en témoignent (Figure 2) les études antérieures de Leclerc et al. (1999). En fin, le site est relativement éloigné des installations principales et pourraient nécessiter plusieurs acquisitions et des relocalisations

En résumé, l'analyse des différents sites d'implantation d'une prise d'eau *ponctuelle* a été réalisée en assumant que son utilisation est surtout dédiée aux périodes de pointe pré-estivales et que la présence de frasil en hiver ne constitue pas une contrainte applicable si un dispositif complémentaire de captation souterraine (linéaire) est aussi implanté. Les sites ponctuels identifiés présentent tous des qualités et des contraintes tels qu'aucun site ne se démarque très nettement des autres.

*Il semble cependant que les sites situés au voisinage de l'entrée du fossé de ceinture (P4, P5) soit en rive sud, soit sur le périmètre de digues des bassins, et puisant, soit dans le fossé lui-même, soit dans le cours principal présentent des qualités plus avantageuses (proximité, qualité d'eau brute, profondeur suffisante, dénivellation pour le transfert gravitaire) sans que les contraintes identifiées paraissent insurmontables (acquisitions de terrains, relocalisations, protection contre la poussée des glaces en conditions d'embâcles, compatibilité avec une submersion occasionnelle du (des) puits de pompage, auto-entretien du lit de la rivière). Parmi*

*les possibilités identifiées, P5 est le plus favorable (le plus contrasté aussi) en terme d'équilibre avantages/désavantages. Il semble présenter les meilleures qualités à cause du dynamisme de l'écoulement et des profondeurs naturellement entretenues par les processus géomorphologiques. Il présente cependant des contraintes plus grandes mais surmontables reliées aux crues et aux embâcles.*

## 7. Éléments exploratoires de conception d'une implantation linéaire

---

Dans ce chapitre, nous nous concentrons sur le scénario d'implantation *linéaire* en posant certaines hypothèses concernant l'utilisation de matériaux filtrants calibrés spécialement pour ce faire, l'implantation d'une ou deux conduites, le problème du colmatage, la stabilité du dispositif par rapport à l'érosion et l'agencement de l'aménagement. Évidemment, ces idées devront être confirmées lors de la conception définitive de la prise d'eau.

### 7.1 Suggestions de conception

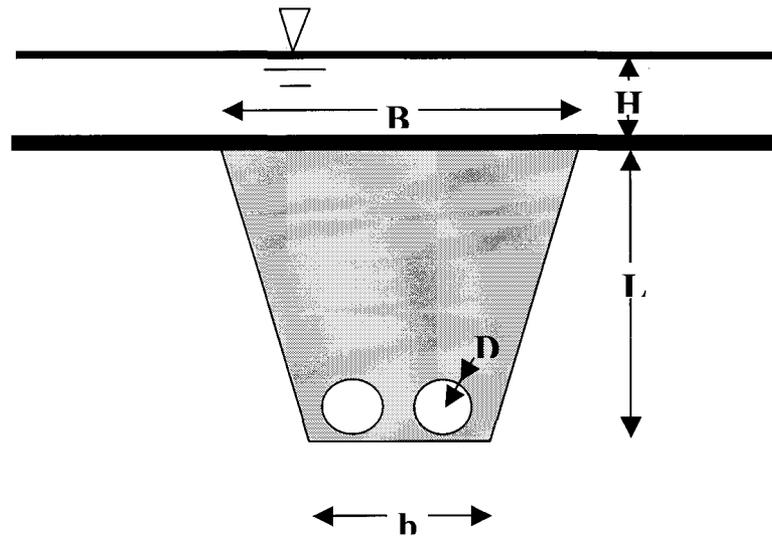
Mise en garde : les paramètres de conception qui suivent représentent des suggestions exploratoires qui devront obligatoirement être analysés plus en profondeur et validés, et ils ne font pas partie des livrables attendus de notre mandat.

Tel que présenté précédemment et schématisé dans la Figure 10, nous croyons que la tranchée devrait être creusée sur une profondeur de  $L = 2,5$  à  $2,8$  m et sur une largeur au fond de la tranchée de  $b = 2$  m dans le lit mineur de la rivière. La valeur de  $B$  (largeur au sommet) n'est pas très importante et sera déterminée selon la stabilité de la tranchée lors de la pose des conduites. Les conduites devraient être posées sur une couche de sable/gravier d'un minimum de 15 cm d'épaisseur. Deux conduites en réseau seraient préférables à une seule. Celles-ci devraient être enfouies d'un minimum de 2 m et recouvertes d'un sable/gravier tamisé très perméable d'au moins 15 cm d'épais. Le centre des conduites (ayant un diamètre  $D =$  environ 50 cm), devrait être placé au quart et trois-quart de la largeur totale du fond. Cet agencement est de nature à maximiser (optimiser) le rendement et la stabilité de la tranchée.

À l'extrémité des conduites (à la fin de la tranchée), celles-ci devraient se joindre en « U » dans le but de permettre d'opérer le lavage par contre-courant dans un sens comme dans l'autre en plus de faciliter l'établissement d'un circuit de lavage interne des conduites. De plus, il serait sans doute avantageux d'installer un regard d'accès aux extrémités afin de faciliter un meilleur contrôle lors des *backwashes*.

Si la tranchée en rive gauche s'avérait éventuellement nécessaire, les mêmes principes devraient s'appliquer. Le raccord de la conduite traversante devrait s'effectuer au centre de la galerie en rive gauche. Une autre possibilité serait d'implanter deux tranchées traversantes afin d'encourager la redondance et de distribuer les risques de bris. La pente de la galerie en rive devra évidemment être planifiée en fonction du point de raccordement qui, on le comprendra, est facilité vers l'aval.

Pour ce qui du type de conduite, des recherches additionnelles sont requises pour établir une sélection parmi les dispositifs commerciaux disponibles sur le marché (ex. : drains agricoles) visant à optimiser les paramètres de structure, de comportement par rapport à la rouille, d'usure, de colmatage et de rendement d'infiltration.



**Figure 10 : Mode d'implantation suggéré de tranchée sous-fluviale et des conduites perforées**

Il est également possible d'utiliser une membrane géotextile quelque part dans la tranchée pour minimiser l'infiltration de sédiments fins et augmenter la stabilité du dispositif en cas de mouvements sédimentaires importants (crues) ; mais cet aspect devra également d'être examiné plus en fond au moment de la conception.

## 7.2 Colmatage

Un problème potentiel de ce type de galeries est le colmatage du substrat filtrant, qu'il s'agisse de granulats rapportés ou locaux. Incidemment, c'est le problème principal rencontré avec le réseau de galeries en dessous des bassins actuels. C'est pourquoi la recharge artificielle ne fonctionne pas longtemps et que la couche superficielle du substrat filtrant doit être remplacée périodiquement. En fait, selon les tests de GENECOR Civil Inc. et les personnes consultées, la conductivité hydraulique peut tomber d'un facteur 100 après un mois d'opération (communication personnelle de Denis Pinard, Ing., 2004). Il est également possible que les conduites elles-mêmes puissent voir leur section réduite par du matériel sablonneux infiltré.

Les questions qui se posent alors sont : est-ce que la tranchée placée dans la couche hyporhéique du cours d'eau va se colmater et les conduites risquent-elles de se remplir éventuellement par infiltration de sable? Il est logique et prudent de le supposer malgré les possibilités d'auto-entretien des substrats que ce dispositif comporte naturellement. Mais nous ignorons la réponse définitive car très peu d'études ont été publiées à ce sujet. Par contre, nous avons trois éléments de réponse empiriques:

1. Les galeries actuelles produisent 26 000 m<sup>3</sup>/j de base depuis plusieurs années - même quand la couche superficielle des bassins est colmatée. Nous croyons alors que le

colmatage de l'aquifère entre le cours principal<sup>3</sup> de la rivière et les galeries ne s'est pas trop manifesté depuis 1986. La dispersion surfacique du dispositif et son relatif éloignement du cours principal y sont sans doute pour quelque chose ;

2. La galerie installée dans la rivière Sainte-Anne se colmaterait relativement peu (25% de réduction de rendement en 5 ans, soit 5% par année). Cette rivière alluvionnaire présente de grandes similitudes avec la rivière Montmorency par son relief, son hydrologie et sa taille, et la comparaison est valable. Une fois que le système de nettoyage par contre-courant (« *backwash* ») fut installé et actionné annuellement (pendant 24 heures seulement), le plein rendement a été pratiquement restauré chaque fois.
3. Selon des recherches sur les frayères à saumon de la rivière Sainte-Marguerite à Tadoussac (Normand Bergeron, INRS-ETE et CIRSA, communication personnelle, 2004), les nids qui les constituent sont construits à l'automne et demeurent perméables durant tout l'hiver en autant qu'il n'y a pas d'événement de crue trop sévère, ou d'embâcle après leur construction. De plus, même si une crue importante se produit et apporte de l'eau turbide dans la rivière), un bon pourcentage des nids demeurent propres malgré tout, assurant ainsi l'écoulement interstitiel et une bonne oxygénation des oeufs.

Sur la base de ces expériences, nous croyons qu'il y a une excellente probabilité que des galeries installées dans le lit mineur de la rivière Montmorency ne seront pas sujettes à un colmatage important et/ou définitif et ce, à cause des processus d'entretien naturel des substrats. Comme pour l'expérience du mont Sainte-Anne, il faut cependant assumer la possibilité d'un colmatage partiel annuel relié aux crues et au processus de percolation vers la conduite, et s'en prémunir. Il faut aussi envisager que l'infiltration de matières fines peut atteindre l'intérieur des conduites.

*En vue d'y faire face, il faudra donc prévoir un système de nettoyage à contre courant pour décolmater la tranchée au besoin, et si nécessaire, la conduite elle-même. Dans le cas de la tranchée, la profondeur d'implantation peut avoir son importance par rapport à l'évacuation des matières fines incrustées dans le substrat, une plus faible profondeur pouvant la favoriser. Par contre, une profondeur trop faible aurait pour effet de réduire l'efficacité du processus de filtration et d'exposer les conduites aux risques d'érosion associés lors des crues de forte amplitude. Pour ce qui est de(s) conduite(s), leur disposition devra permettre d'établir un circuit de circulation débouchant directement à la rivière afin d'évacuer plus facilement les matériaux qui auraient pu s'y introduire.*

### 7.3 Stabilité du dispositif

Considérons plus attentivement la question de la stabilité d'une tranchée en rivière. Ici, on envisage la possibilité que durant une forte crue, les alluvions de la rivière se mobilisent en profondeur, que les galeries se retrouvent exposées au courant et qu'elles soient endommagées.

---

<sup>3</sup> Comme nous l'avons déjà mentionné, il est vraisemblable que la recharge procurée originellement par le fossé de ceinture et par l'ancien bras de rivière qui traversait l'île (des bassins actuels) a été annihilée par l'absence d'entretien naturel en période de crue (pour le fossé) et l'aménagement du bassin #7 (ancien bras central).

Pour cette question, nous manquons d'expérience mais celle-ci existe ailleurs au Canada. En effet, plusieurs installations de conduites en travers ou le long ses nombreuses rivières témoignent de l'état de l'art et nous croyons que cette question pourrait être résolue par le biais d'une recherche bibliographique encore à faire. Pour le moment, nous supposons qu'enfouir les conduites d'un minimum de 2 m dans le lit mineur devrait être suffisant. C'est la valeur utilisée pour la tranchée sur la rivière Sainte-Anne.

Une question connexe est de savoir si l'on devrait utiliser un matériau filtrant spécialement calibré dans la tranchée ou si l'on ne devrait pas juste replacer les alluvions extraits localement. En théorie, il serait préférable d'utiliser un gravier fin, propre, ayant une distribution granulométrique très uniforme. Dans ce cas, la conductivité hydraulique (et ainsi le rendement) pourrait être facilement 10 à 100 fois supérieure à celle du substrat naturel. Par contre, pour les calculs et la conception, il est sans aucun doute préférable d'utiliser le substrat naturel, du moins pour la couche superficielle toujours en contact avec l'écoulement. En effet, les forces tractrices maximales causant la mobilisation de la couche superficielle d'une tranchée auraient toutes les chances d'être supérieures aux contraintes critiques du lit filtrant utilisé (sable), avec pour conséquence, une érosion de la tranchée.

De son côté, le matériau alluvionnaire en place a une granulométrie composite calibrée au fil des crues et embâcles successifs, et il peut la plupart du temps résister aux contraintes de cisaillement exercées par le courant (couche limite turbulente). Seul des événements très énergétiques correspondant aux crues extrêmes ou aux embâcles locaux pourraient les remobiliser. Par contre, l'analyse de l'évolution morphologique du site le plus favorable étudié ne montre pas de tendances nettes importantes vers l'aggradation ou la dégradation. Ce constat démontre la stabilité du site liée à l'équilibre entre les forces tractrices mobilisatrices et les propriétés de résistance naturelle à l'arrachement des matériaux indigènes.

*En résumé, nous croyons a priori qu'on devrait sélectionner spécialement le granulat entourant immédiatement les conduites (un périmètre de 15 cm d'épaisseur typiquement) en vue de maximiser la percolation tout en optimisant la filtration. Il faut cependant s'assurer que tout matériel placé autour des conduites perforées ait une bonne conductivité hydraulique. Il s'agit qu'il y ait une couche peu perméable pour que le rendement global soit compromis. Pour la partie supérieure de la tranchée, sur un horizon correspondant à l'évolution morphologique du plancher de la rivière (typiquement 50 cm), on devra replacer le substrat naturel extrait de la partie supérieure de la tranchée. Le rendement attendu de cette couche protectrice devrait s'avérer adéquat bien que de beaucoup inférieur à un lit filtrant bien calibré.*

Les paramètres spécifiques de ces recommandations devront être précisés ultérieurement en phase de conception.

## 7.4 Agencement de l'aménagement

L'agencement vise à identifier la configuration d'installation la plus en mesure de donner le résultat attendu en fonction de la longueur de conduites à installer. Reprenons ici les chiffres mentionnés précédemment à cet égard. Bien que d'après nos calculs théoriques (programme SEEP), en l'absence de colmatage, une tranchée de 40 m de longueur serait requise avec comme substrat filtrant celui de la Montmorency (rendement théorique de  $0,0029 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ ), nous

*recommandons une longueur de conduites basée sur des hypothèses moins optimistes et plus consistantes avec les expériences rapportées; ainsi, il faut prévoir l'installation de conduites perforées d'une longueur de 252 m afin de répondre à la demande normale en toutes saisons (35 000 m<sup>3</sup>/j).*

## 8. Conclusion et recommandations

---

Ci-après, nous reprenons les conclusions et recommandations essentielles tirées des différents chapitres de ce rapport. Seules les principales prémisses et recommandations sont reprises ici et le lecteur est renvoyé au corps principal du texte pour de plus amples éléments de discussion et les recommandations secondaires.

### 8.1 Diagnostic sur le comportement du dispositif de captation de la station des Îlets actuelle

L'idée originale du dispositif proposé pour le site des Îlets était d'exploiter la nappe phréatique superficielle à partir de conduites perforées installées pas très loin de la rive et exploitant la recharge directe provenant des divers bras formant le réseau anastomosé de la rivière à cet endroit. Un certain degré de filtration des matières fines était attendu de cette approche.

Le rendement insuffisant de la première installation, sans doute associé au colmatage des conduites et/ou des dépôts filtrants disposés autour a entraîné une remise en question du concept et l'adoption d'une approche axée sur la mise en place de bassins de recharge équipés au fond de lits filtrants formés de matériaux granulaires spécialement calibrés.

Le résultat de cette modification s'avère satisfaisant mais pour une période très limitée (typiquement 1-2 mois) due au colmatage rapide des lits filtrants qui retiennent la matière en suspension transportée par l'eau brute. La captation ainsi réalisée s'élève à 26 000 m<sup>3</sup> par jour avant l'entretien des lits filtrants et à plus de 35 000 m<sup>3</sup> lorsque le remplacement de la couche superficielle de granulats est effectué, ce surplus étant fourni par un apport direct à partir de l'écoulement de surface de la rivière. Pour satisfaire à la demande de pointe qui approche 60 000 m<sup>3</sup>/j au début de l'été, une extraction d'eau brute dans l'écoulement superficiel de la rivière est requis et celui-ci n'est pas transité par les lits filtrants.

Nous postulons que la fermeture du fossé de ceinture à la circulation des crues de printemps et l'aménagement du bassin #7 sur le site d'un ancien bras de la rivière qui traversait l'île où s'effectue la captation ont contribué à réduire la recharge et partant, l'efficacité de la captation souterraine, laquelle se limite aujourd'hui à celle provenant du cours principal de la rivière.

Les bassins actuels comportent cependant l'avantage de constituer des réservoirs tampon pour les périodes de crue où l'eau brute superficielle devient très turbide et impropre à la consommation.

Nous proposons que la disposition surfacique des conduites perforées installées dans les bassins équivaut à une disposition linéaire en rive (équivalence de 360 m) lorsque les lits filtrants sont colmatés. Dans ce cas, la captation s'effectuerait à partir d'une recharge provenant de l'écoulement superficiel de la rivière, et seulement du côté de son cours principal. Si cette proposition était avérée, l'efficacité de ce mode de captation se situerait entre 0,00084 et 0,00052 m<sup>3</sup>/s/m linéaire de conduite.

Toutefois, des avis obtenus des opérateurs de la station indiquent qu'une certaine proportion de ce débit pourrait provenir d'infiltrations à travers les raccords des conduites et les regards d'accès en certains points du réseau d'acheminement de l'eau vers la station de pompage.

**Recommandation** : *il est recommandé, dès que les conditions climatiques et opérationnelles le permettront, d'effectuer des essais sur le mode de captation actuel des bassins afin de distinguer clairement la part relative provenant de différentes sources, soit:*

1. *de la nappe phréatique naturelle de la rivière*
2. *d'infiltrations artificielles par les regards d'accès ou autres*
3. *de la percolation au travers des lits filtrants avant leur colmatage*

## 8.2 L'expérience de l'ouvrage A desservant Charlesbourg

Un dispositif de captation sous-fluvial a été installé en travers de la rivière Montmorency au milieu des années 60' en vue d'alimenter en eau un groupe de municipalités, aujourd'hui regroupées (Giffard, Orsainville et Charlesbourg). Ce concept semble avoir suffi à la demande pour une certaine période mais le colmatage des conduites et/ou du lit filtrant disposé autour a fait décliner le rendement graduellement (typiquement 25% par année), de sorte que 4 ans plus tard, au début des années 70', le déficit de captation a dû être compensé par un prélèvement direct à même l'eau de surface. Il s'avère que l'entretien naturel des alluvions du lit de la rivière et du substrat filtrant ne suffit pas à assurer une bonne capacité de percolation.

Nous déduisons de cette expérience interrompue qu'un système de dé-colmatage périodique aurait sans doute permis de restaurer, du moins en partie, les capacités de percolation et d'assurer le maintien à long terme de l'efficacité du dispositif souterrain, incluant les conduites elles-mêmes et le substrat filtrant placé autour. Cependant, le mode d'installation retenu alors ne permettait pas d'adapter le système à un coût raisonnable.

**Recommandation** : *il est recommandé, dans l'hypothèse où un concept de captation sous-fluvial devait être retenu pour le futur poste des Îlets, que le dispositif mis en place soit convenablement pourvu de facilités d'entretien des conduites et des lits filtrants disposés autour.*

## 8.3 Sur les risques d'inondation, d'embâcles et d'érosion

Plusieurs études antérieures ont établi les risques de dommages associés aux crues à l'eau libre ou aux embâcles de glace dans le secteur des Îlets. Dans cette optique,

**Recommandation** : *il est fortement recommandé de prévoir les mécanismes d'immunisation appropriés contre les aléas de crue et d'embâcle pour les futures installations proposées. L'immunisation vise autant les conséquences reliées à la submersion qu'à l'érosion des berges. La recommandation s'étend aux crues majeures de faible récurrence et comportant un potentiel géomorphique pour le secteur d'implantation.*

## 8.4 Sur l'hydrologie des étiages

Bien que les données relatives à l'hydrologie de la rivière Montmorency à l'étiage et les paramètres du permis de captation soient généralement admises, il subsiste une incertitude quant au bilan relatif des écoulements souterrains et superficiels près de l'embouchure, incertitude liée aux processus karstiques prenant place dans les roches sédimentaires qu'on y trouve.

*Recommandation* : il est recommandé d'investiguer le mode d'implantation de la station hydrométrique #051001 et de préciser les procédures de calibration de sa courbe de tarage (site des jaugeages notamment) avec les autorités compétentes.

## 8.5 Conclusions des relevés de terrain

### 8.5.1 Sur l'évolution topographique dans le secteur des Îlets

Les relevés topographiques effectués à l'automne 2003 par les arpenteurs-géomètres Pagé et Leclair Géolocation ont été comparés à ceux effectués en 1995 par l'INRS-ETE. Il en ressort que les processus d'érosion et de déposition d'alluvions de ce secteur anastomosé (en tresse) se poursuivent normalement ainsi qu'ils avaient été décrits par l'INRS-ETE à l'époque. Quatre zones d'accumulation et quatre zones d'érosion du lit de la rivière ont été identifiées et les valeurs évolutives de la topographie ont été établies.

Du point de vue de l'implantation d'un dispositif de captation, ces constats induisent à conclure à l'exclusion de certaines zones qui se trouvent exposées, soit à l'accumulation de matière organique et de particules fines propices au colmatage ou à la dégradation de la qualité d'eau brute, soit encore à un abaissement graduel à long terme du plancher de la rivière qui pourrait exposer des conduites installées dans le lit sous-jacent.

### 8.5.2 Sur la présence d'un couvert de glace et de frasil

Étant donné la difficile cohabitation des équipements de prise d'eau et du frasil dans une rivière, et les risques de dommages liés aux embâcles, du moins lorsque les équipements sont disposés à même l'écoulement superficiel, une caractérisation sommaire du couvert de glace et de la présence du frasil a été conduite dans le tronçon étudié après que le couvert de glace fut formé au début de janvier 2004. Les conditions climatiques du début de l'hiver 2003-2004 ont été particulièrement propices à la formation de frasil et au décrochement du couvert de glace naissant, lequel a dû se reformer partiellement plus d'une fois en décembre.

Il en ressort que la présence de frasil en quantité très importante a été détectée en quatre des endroits caractérisés du site à l'étude qui avaient été identifiés préliminairement comme des sites potentiels d'implantation d'un dispositif de captation. Quant au couvert de glace, les observations ont révélé que celui-ci se forme en conséquence de plusieurs processus, notamment une progression naturelle depuis les rives, mais surtout par un apport de glace en débâcle laquelle tend naturellement à former des embâcles mineurs dans le secteur d'étude et à s'y consolider.

**Recommandation** : pour la saison hivernale, il est recommandé de sélectionner un dispositif de captation qui ne présente aucune vulnérabilité par rapport à la dynamique des glaces ou du frazil. Si elle est retenue pour fournir l'eau brute en période de pointe, la mise en place d'un dispositif puisant dans l'eau de surface devra tenir compte des aléas hivernaux dans un contexte d'immunisation contre les dommages associés.

## 8.6 Sur les critères de faisabilité à satisfaire

L'examen des différents sites potentiels d'implantation et le mode de captation préconisé en fonction de la demande saisonnière a été effectué à la lumière de différents critères de sélection recoupant l'adéquation au besoin, la faisabilité technique et environnementale, la durabilité et les exigences d'entretien à long terme.

Quatre premiers critères plus décisifs ont été identifiés : *l'adéquation par rapport aux besoins saisonniers; l'interaction avec le dispositif actuel; le régime du frazil (génération, transport, zones d'accumulation); l'entretien requis, l'accessibilité, la sécurité et les éventualités de déversement accidentel de contaminants; la possibilité de redondance minimale du dispositif.*

Huit autres critères ont été considérés sur une base complémentaire visant surtout les paramètres de conception: *la dynamique sédimentaire; le risque d'inondations à l'eau libre; le régime des glaces; la température et qualité physico-chimique de l'eau brute captée; la sécurité pour les activités récréatives; les nuisances possibles liées à l'exploitation de la station de pompage; la disponibilité d'espace pour l'implantation et les contraintes d'occupation actuelle; ainsi que les contraintes de construction.*

## 8.7 Sur le régime saisonnier de la demande et le mode de captation

Il a été établi que le régime de la demande à satisfaire pouvait avoir une incidence sur le mode de captation en fonction des saisons. Ces deux points sont résumés ci-après.

### 8.7.1 Sur le régime de la demande

- *La demande de pointe extrême actuelle se produit au début de la saison estivale et elle a été quantifiée à la valeur de 60 000 m<sup>3</sup>/j. Pour satisfaire au besoin en pointe à long terme, le paramètre de conception retenu pour la station de traitement est de 66 000 m<sup>3</sup>/j.*
- *La demande normale en dehors des périodes de pointe est de 35 000 m<sup>3</sup>/j.*
- *Nous posons l'hypothèse que l'ensemble de cette demande devra être comblée par les nouvelles installations ce qui vise à sécuriser l'approvisionnement en cas de destruction de l'installation par les aléas naturels (crues, embâcles). Cette hypothèse ouvre la possibilité du démantèlement partiel ou complet des galeries de captation existantes.*

### 8.7.2 Sur le mode de captation à implanter

Pour assurer un approvisionnement suffisant en toutes saisons, et présentant des opportunités de redondance importantes, nous recommandons l'implantation d'un mode mixte de captation constitué :

- *d'un système de captation souterrain, dit linéaire, installé en rive à même le lit mineur de la rivière, dispositif qui devra être muni de facilités efficaces de décolmatage et de vidange des matériaux sablonneux ou silteux infiltrés;*
- *d'une prise d'eau traditionnelle, dite ponctuelle, puisant à même l'eau de surface de la rivière et alimentant soit les bassins filtrants actuels en période de pointe annuelle, soit directement la station de traitement; le cas échéant, les bassins doivent permettre une percolation efficace pour bonifier l'eau brute.*

La prise d'eau linéaire devra satisfaire en tout temps la demande de base de 35 000 m<sup>3</sup>/j alors que la prise conventionnelle assurera l'approvisionnement complémentaire de 25 000/ 31 000 m<sup>3</sup>/j en condition de pointe et même la demande de base lors des épisodes d'entretien.

### 8.8 Sur les sites potentiels d'implantation

Les deux modes d'implantation proposés ont fait l'objet de recherches limitées à la zone d'étude en vue d'identifier des sites propices à leur implantation compte tenu des critères de faisabilité retenus. Nous distinguons ci-après ceux correspondant au mode ponctuel du mode linéaire.

#### 8.8.1 Sélection de sites pour une prise d'eau linéaire souterraine

Huit sites localisés sur les deux rives du cours d'eau et offrant *a priori* près de 300 m de disponibilité d'espace linéaire ont été examinés. Lors de l'analyse, il est apparu que plusieurs critères de faisabilité ne pouvaient être satisfaits pour la plupart des lieux examinés, qu'il s'agisse de la dynamique sédimentaire, de la qualité physico-chimique d'eau brute, de l'éloignement du poste principal ou autre. Un seul site ressort nettement et satisfait à tous les critères

*En résumé, le site désigné L8 situé directement en face des bassins de captation actuel de la station des Îlets constitue l'option la plus avantageuse à l'égard de l'ensemble des critères de faisabilité retenus étant entendu que la traversée de la rivière ne constitue pas une difficulté technique particulière. Le site L4 jouxtant les bassins actuels du côté de la rivière présente également un potentiel intéressant mais qui concurrencerait le système actuel. Le besoin de maintenir pleinement les installations présentes en phase de validation du nouveau dispositif restreint cependant l'intérêt de ce site à court terme.*

#### 8.8.2 Sélection de sites pour une prise d'eau ponctuelle superficielle

Six sites ont été identifiés *a priori* pour implanter une prise d'eau ponctuelle puisant, dans les conditions climatiques propices, à même l'écoulement superficiel. Lors de l'analyse, il est

apparu que plusieurs critères de faisabilité ne pouvaient être satisfaits pour plusieurs des lieux examinés, qu'il s'agisse de la dynamique sédimentaire, de la qualité physico-chimique d'eau brute, de l'éloignement du poste principal ou autre. Un seul site comportant des variantes ressort nettement et satisfait à la plupart des critères malgré l'exigence de précautions additionnelles attribuables aux risques d'inondation et d'embâcles.

*Suite à cet examen nous concluons que deux sites situés au voisinage de l'entrée du fossé de ceinture (P4, P5) soit en rive sud, soit sur le périmètre de digues des bassins, et puisant, soit dans le fossé lui-même, soit dans le cours principal présentent des avantages comparatifs sans que les contraintes identifiées paraissent insurmontables. P5 est le plus favorable à cause du dynamisme de l'écoulement et des profondeurs entretenues naturellement par les processus sédimentologiques. Il présente cependant des contraintes plus grandes mais surmontables reliées aux crues et aux embâcles.*

## **8.9 Sur les paramètres de conception de galeries linéaires**

### **8.9.1 Longueur d'implantation**

Compte tenu du débit d'eau à capter par ce mode (35 000 m<sup>3</sup>/j), la longueur de conduites requise dans le mode linéaire dépend en grande partie des paramètres de transmissivité ou du rendement d'infiltration du milieu filtrant; le paramètre dépend aussi d'autres conditions comme l'épaisseur des dépôts meubles, la charge hydraulique, etc. Les caractéristiques précises du potentiel de percolation au site recommandé (en rive gauche en face des bassins actuels) n'étant pas encore établies avec précision, c'est sur la base d'hypothèses posées à partir d'expériences similaires et à valider ultérieurement que la recommandation pour la longueur de conduite est estimée.

***Recommandation** : Dépendant des hypothèses posées et avec un facteur de sécurité de 2, la longueur de conduites à installer est évaluée à 252 m.*

***Recommandation** : il est aussi recommandé de procéder, dès que les conditions climatiques et hydrologiques le permettront, à une validation in situ des paramètres estimés de rendement d'infiltration et d'ajuster la recommandation en conséquence.*

### **8.9.2 Mesures contre le colmatage**

Les expériences similaires de captation linéaire qui nous ont été rapportées font état du colmatage plus ou moins rapide des dépôts filtrants, et très possiblement du remplissage graduel des conduites par des matières fines infiltrées. Ces comportements doivent absolument être pris en compte afin d'y apporter des solutions durables et efficaces. En cours de conception, il est aussi important de tenir compte de l'incidence de la profondeur d'implantation des conduites sur les possibilités de refoulement des matières fines vers l'écoulement de surface, une plus faible profondeur favorisant cette évacuation.

***Recommandation** : il est recommandé de pourvoir le système de captation recommandé d'un dispositif de lavage par contre-courant permettant à la fois de dé-colmater les dépôts meubles*

autour des conduites et de vidanger les accumulations possibles de matières fines infiltrées dans les conduites.

### 8.9.3 Stabilité du dispositif

La dynamique sédimentaire importante dans ce secteur anastomosé de la rivière incite à la prudence par rapport à la stabilité à long terme des matériaux disposés dans la tranchée de captation. Si l'utilisation de matériaux spécialement calibrés pour favoriser la percolation apparaît souhaitable au contact direct des conduites afin de maximiser le rendement, une telle approche n'est pas recommandable partout dans la tranchée, surtout au contact de l'écoulement superficiel. Les matériaux constituant le lit naturel de la rivière au site d'implantation présentent de meilleures garanties de stabilité étant donné qu'ils résultent d'un équilibre dynamique entre les forces tractrices extrêmes de l'écoulement et les contraintes critiques de l'assemblage trouvé en place.

**Recommandation** : *il est recommandé de construire une tranchée de captation à deux horizons de remblais, le premier, recouvrant les conduites et, utilisant un matériau filtrant spécialement calibré pour optimiser le rendement tout en minimisant l'infiltration de matières fines, le second placé au-dessus et tapissant le lit de la rivière sur au moins 50 cm constitué des matériaux prélevés sur place, et dont les caractéristiques de résistance à l'arrachement devront être vérifiées.*

**Recommandation** : *il est recommandé d'examiner les avantages offerts par l'utilisation d'une membrane géotextile au sein de la tranchée permettant à la fois de minimiser le phénomène de colmatage de l'horizon filtrant tout en augmentant la stabilité du dispositif en cas de mouvements sédimentaires importants.*

## 8.10 Autres recommandations

Il a été proposé que la fermeture du fossé de ceinture aux crues printanières et estivales ainsi qu'aux processus glaciologiques aurait entraîné une réduction graduelle de la recharge souterraine en provenance de ce bras auparavant caractérisé par des eaux courantes et un lit alluvionnaire grossier. Cette perte d'efficacité serait due au colmatage graduel des dépôts meubles par des matières fines ou organiques qui s'y déposent naturellement ou en relation avec son rôle de réservoir tampon (et de décantation) dans l'opération de la station des Îlets. De plus, cette fermeture a eu pour effet de favoriser la sédimentation fine et organique dans les prolongements du fossé en amont et en aval, en plus de restreindre la capacité de passage des crues de la section hydraulique de la rivière dans le secteur.

**Recommandation** : *il est recommandé de mettre en place un processus artificiel d'entretien périodique des alluvions du fossé de ceinture afin de maximiser la percolation en provenance de ce bras vers les bassins de captation actuels.*

**Recommandation** : *il est recommandé d'analyser la faisabilité de ré-ouvrir sécuritairement et en temps opportun (quand le niveau dispositif proposé aura fait ses preuves) le fossé de ceinture aux écoulements de crue afin de favoriser le nettoyage naturel de ses alluvions et maximiser la capacité hydraulique de la rivière en période de crues.*

## Bibliographie

---

- Boucher, J.-P. et Picard, F. (1994). Cartographie des zones inondables - Rivière Montmorency, du rapide des Trois Sautes jusqu'à l'île Enchanteresse. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction du milieu hydrique, Service de l'hydrologie et de la cartographie, Rapport no DH-94-01, 25 pages + annexes.
- CAGEB (Corporation d'Action et de Gestion Environnementale de Beauport) (2001). Projet d'implantation d'une gestion intégrée par bassin versant pour la rivière Montmorency – Volume 1, Portrait du bassin versant de la rivière Montmorency. 133 pages.
- Compagnie internationale de conseillers en hydrogéologie (Québec) (1982). Ville de Beauport – Étude hydrogéologique. Dossier 5-1-01-0270-20. p.v.
- Hallisey, Asselin et Daigle (1982). Ville de Beauport – Rapport d'étude sur l'alimentation en eau potable. Dossier #204-23, 45 pages + annexes.
- Heniche, M., M. Leclerc, Y. Secretan et Taha Ouarda (1999). Travaux d'atténuation des risques de crue à l'eau libre de la rivière Montmorency dans le secteur des Îlets – Phase 2. Mise à jour de l'analyse hydrologique, dimensionnement des travaux d'atténuation et analyse de l'impact sur les risques résiduels de dommage aux résidences. Rapport scientifique INRS-Eau #R555.
- Leclerc, M., B. Morse, J. Francoeur, M. Heniche, P. Boudreau et Y. Secretan (2001). Analyse de risques d'inondations par embâcles de la rivière Montmorency et identification de solutions techniques innovatrices – Rapport de la Phase I – Pré-faisabilité- Document de travail présenté au Comité de suivi. Rapport conjoint enregistré à l'INRS-Eau R577, et à l'Université Laval - Département de Génie civil. Janvier, 118 pages.
- Leclerc, M., Doyon, B., Y. Secretan, M. Heniche, M. Lapointe et P. Boudreau (1998). Simulation hydrodynamique et analyse morphodynamique de la rivière Montmorency dans le secteur des Îlets. Pour le compte de la ville de Beauport. Rapport scientifique INRS-Eau #R522, 120 pages.
- Leclerc, M., V. Jourdain et T. Ouarda (2003). Débits de crue extrêmes et cotes de crues à l'eau libre de la rivière Montmorency dans le secteur des Îlets. Rapport INRS-ETE #694. Septembre, 12 pages.
- MENV (2003). Analyse hydrologique de la rivière Montmorency en période d'étiage. Note de service. 2 pages.
- Michel, B. (1978). Ice Mechanics. Presses de l'Université Laval. Québec. 500 pages.
- Morse B., M. Leclerc, H. Delcourt, J. Francoeur et P. Boudreau (2002). Développement de solutions techniques innovatrices pour le contrôle des embâcles de la rivière Montmorency – Rapport de la Phase II – Faisabilité. Rapport présenté au Comité de suivi. Rapport conjoint enregistré à l'Université Laval - Département de Génie civil GCT-2002-03 et à l'INRS-Eau-Terre-Environnement R577b. Janvier, 178 pages.

Percheron, A (2004). Les étiages de la rivière Montmorency et les usages de la ressource-eau. Rapport de stage Ingénieur ENGEES (Strasbourg) au Conseil de bassin de la rivière Montmorency. 90 pages. Mai.