

**MISE AUX NORMES DE L'EAU POTABLE –
ÉVOLUTION TOPOGRAPHIQUE ET
CONDITIONS DE GLACE DE LA RIVIÈRE
MONTMORENCY – SECTEUR DES ÎLETS**

Rapport de recherche No R-1072

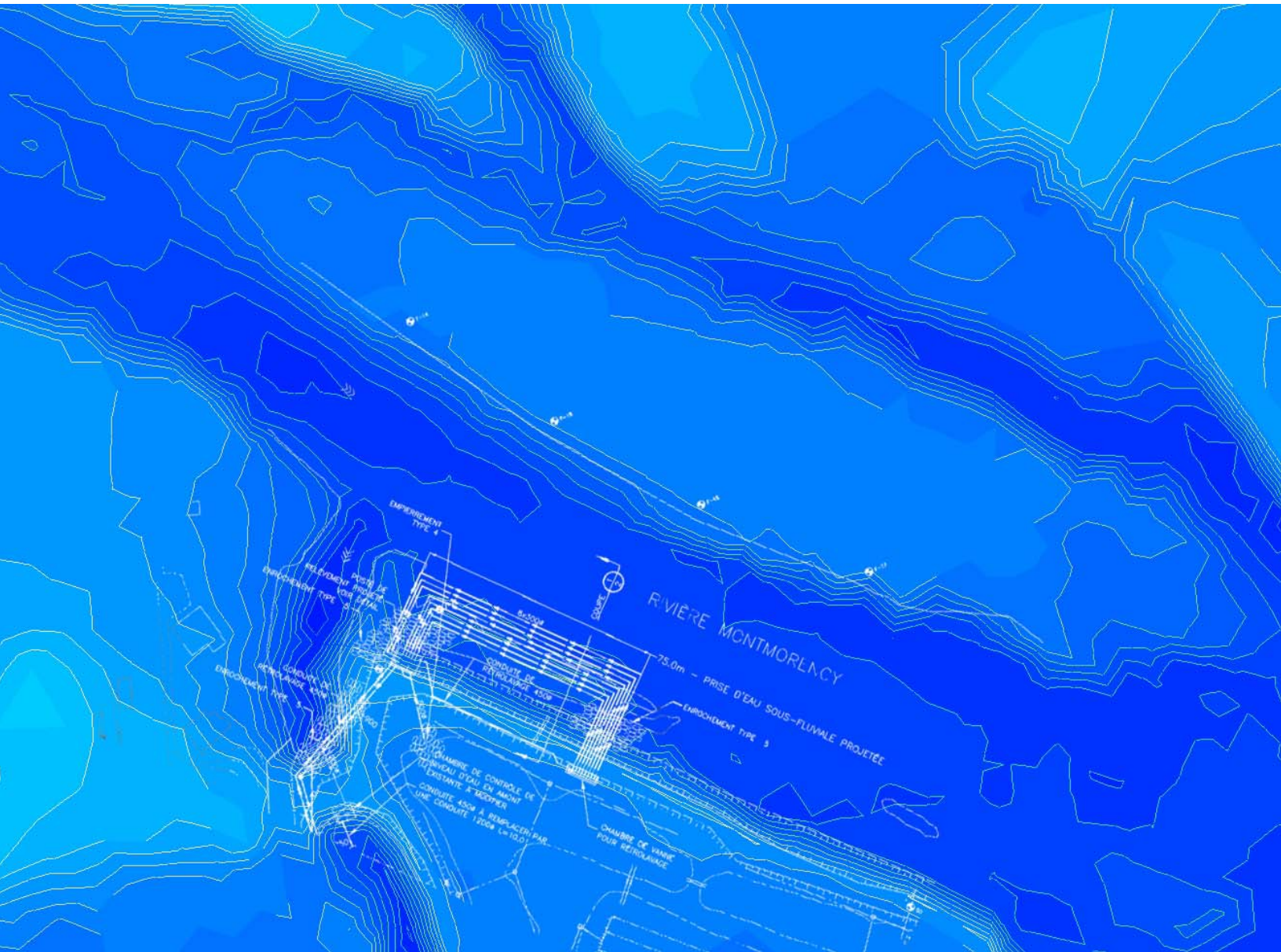
Décembre 2008

INRS

Université d'avant-garde

Mise aux normes de l'eau potable - Évolution topographique et conditions de glace de la rivière Montmorency – Secteur des Îlets

Rapport de recherche INRS-ETE #R____ – Décembre 2008



Mise aux normes de l'eau potable -
Évolution topographique et conditions de glace
de la rivière Montmorency – Secteur des Îlets

Pour le compte de la



Rapport de recherche INRS-ETE #R___a

Décembre 2008



SOMMAIRE EXÉCUTIF

Référence pour fins de citation : Leclerc, M., F. Bérubé et C. Paniconi (2008). Mise aux normes de l'eau potable - Évolution topographique et conditions de glace de la rivière Montmorency – Secteur des Îlets. Rapport de recherche INRS-ETE #R___a. 50 pp. Décembre.

© INRS-ETE, 2008

RÉSUMÉ

Contexte

Un système innovateur de captage d'eau potable formé de puits horizontaux est projeté dans le secteur des Îlets de la rivière Montmorency. La fonction de cet ouvrage est de permettre de fournir en eau brute l'usine de traitement lors d'épisodes hydrologiques particuliers comme des crues exceptionnelles ou en hiver sous couvert de glace. Devant le caractère évolutif de la morphologie du tronçon et de la dynamique hivernale du couvert de glace, le positionnement des conduites doit être optimisé en conséquence.

Caractérisations et interprétation

Ce rapport présente des résultats relatifs à ces questions. L'analyse de la topographie s'appuie sur trois campagnes de mesures dont deux réalisées en 1995 et 2003, la troisième en 2008. Une caractérisation du couvert de glace a aussi été réalisée en 2008. La géométrie et le dimensionnement du dispositif proposé par la firme Génio Experts-conseils sont examinés à la lumière de ces analyses et un avis est formulé sur ces aspects.

Il s'avère que le secteur retenu est de type anastomosé, c'est-à-dire que la rivière s'y partage en plusieurs bras latéraux et elle est le siège de processus alluvionnaires dynamiques qui entraînent des changements morphologiques notables en lien avec le passage des crues et de la survenue d'embâcles de glace. Sur les 13 ans de la période d'observation, on note que l'altitude du lit mineur peut varier jusqu'à $\pm 0,7$ m. localement selon le lieu. Dans le secteur des Îlets, cette évolution a été modulée par des interventions humaines depuis 1986 : installation des bassins, stabilisation de berges, excavation d'un chenal d'écoulement en rive au cours des dernières années. Cette variation très significative doit être prise en compte dans le positionnement des conduites tant dans le plan qu'en élévation.

La caractérisation du couvert de glace au géoradar révèle que la couche de glace solide s'appuie graduellement au fond à mesure que l'hiver s'avance. À la fin de l'hiver, il ne subsiste une couche d'eau liquide qu'en certains trajets particuliers du cours d'eau, généralement à l'aplomb du thalweg, soit les parties les plus profondes du cours d'eau. Cette couche est souvent associée à la présence de frasil accumulé sous le couvert. Quand la topographie n'est pas trop contrastée latéralement, on note une distribution plus uniforme de la couche d'eau liquide. C'est le cas vis-à-vis du site retenu pour implanter le système de captage.

Recommandations

Ces analyses permettent de proposer une variante plus optimale pour le positionnement des conduites que celle proposée préliminairement par la firme Génio Experts-conseils. D'abord, la section d'écoulement retenue à la pointe ouest des bassins semble la plus appropriée compte tenu de la topographie latéralement plus uniforme de la section d'écoulement à cet endroit. Cette section permet également une meilleure distribution de la couche d'eau liquide sous le couvert de glace comme l'ont démontré les observations du 17 mars 2008. Il est donc recommandé de conserver la section d'implantation proposée. La cote verticale et la position latérale du dispositif dans la section méritent toutefois d'être reconsidérées.

Il est donc recommandé d'implanter le lit filtrant (surface) à une cote inférieure à celle retenue au départ (154 m), soit plutôt 153,4 m. Cette cote paraît plus indiquée afin de favoriser la submersion du lit filtrant en tout temps, surtout en hiver. De plus, cette cote semble plus appropriée pour d'une part, maximiser la sécurité du dispositif de captage étant donné l'amplitude verticale des mouvements d'alluvions observés, et d'autre part, perturber le moins possible l'équilibre morphologique actuel du secteur.

La position proposée du dispositif dans le plan se situe dans une zone d'accumulation naturelle de débris et de particules fines. Il est donc recommandé de déplacer l'ensemble du dispositif d'un minimum de 5 m vers le nord (vers le centre du cours d'eau) afin de maintenir la couche superficielle d'alluvions formant le lit filtrant en contact avec les forces tractrices de l'écoulement.

La couche de protection superficielle doit toutefois être constituée de matériaux en mesure de résister à des forces importantes lors des crues exceptionnelles ou d'embâcles locaux. Typiquement, la taille de ceux-ci devrait correspondre à celle des matériaux qu'on retrouve déjà dans les zones plus profondes de la section retenue. D'après les simulations réalisées antérieurement (Leclerc *et al.* 1998), la taille médiane des alluvions dans le thalweg de ce secteur est typiquement en équilibre avec les épisodes hydrologiques exceptionnels à 300 mm. Avec cette protection, la turbulence de l'écoulement peut alors être mise à profit, en plus du mécanisme de rétrolavage déjà prévu, pour faciliter le nettoyage superficiel du lit filtrant par les processus naturels. La taille optimale des matériaux à mettre en place devra cependant être validée avant la réalisation de l'ouvrage d'après les observations sur le site.

Il est enfin recommandé de mettre en place un processus de suivi scientifique à long terme du dispositif afin d'optimiser les futures opérations d'entretien.

COLLABORATEURS

Institut national de la recherche scientifique – Eau, Terre et Environnement

Responsable du projet,

Claudio Paniconi, Ph.D., Professeur titulaire INRS-ETE, Écoulements souterrains

Responsable du thème Évolution topographique et données glaciologiques

Michel Leclerc, ing., Ph.D., Professeur honoraire INRS-ETE, Hydraulique fluviale

Caractérisation glaciologique, traitement des données géoradar

Francis Bérubé, assistant de recherche INRS-ETE

Géolocation, Pagé & Leclair, Ltée (sous-traitance)

Caractérisation topographique

Richard Leclair, arpenteur-géomètre

Pour Génio Experts-Conseils

Intrants relatifs à la conception de la prise d'eau sous-fluviale

Denis Pinard, ing., M.Sc.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ EXÉCUTIF

1	PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS	1
2	ÉVOLUTION TOPOGRAPHIQUE 1995-2008	2
2.1	Un secteur anastomosé très dynamique	2
2.1.1	Problématique et objectifs	3
2.1.2	Caractérisations antérieures à 2008	4
2.1.3	Caractérisation 2008	5
2.1.4	Interprétation de l'évolution topographique	12
2.1.5	Évolution dans le secteur d'implantation des conduites	14
3	COUVERT DE GLACE	16
3.1	Problématique et objectifs	16
3.2	Caractérisation au géoradar	16
3.2.1	Méthodologie de traitement du signal radar	18
3.2.2	Résultats du géoradar	20
3.2.3	Interprétation	27
3.3	Caractérisation photographique hivernale	29
4	ANALYSE DE L'EMPLACEMENT PROPOSÉ	33
4.1	Dans le plan	33
4.2	En élévation	34
5	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	37
5.1	Conclusions par rapport à l'évolution topographique	37
5.2	Conclusions par rapport au régime des glaces	37
5.3	Conclusions par rapport au positionnement des conduites	38
5.3.1	Dans le plan	38
5.3.2	En élévation	39
5.4	Recommandations par rapport à la couche superficielle du lit filtrant	39
	BIBLIOGRAPHIE	41

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Photographie aérienne du secteur des Îlets et de la prise d'eau de Beauport Note : le rectangle en superposition bleue montre la zone ciblée pour l'implantation des conduites	2
Figure 2: Évolution des berges entre 1950 et 1995 (Leclerc <i>et al</i> , 1998)	3
Figure 3 : Distribution des points de mesure topographiques lors de la campagne de 2003 par Pagé et Leclair, Géolocation	4
Figure 4: Semis de points de mesure de la campagne 2008.....	5
Figure 5 : Topographie d'ensemble de référence (1995) – Repère géodésique.....	6
Figure 6 : Topographie d'ensemble mise à jour en 2003 – Repère géodésique.....	7
Figure 7 : Topographie d'ensemble de référence (2008) – Repère géodésique.....	8
Figure 8 : Vue détaillée de la topographie du site en face des bassins - Mise à jour de 2008 – Ligne de berge à l'altitude de 155 m.....	9
Figure 9 : Vue détaillée de la topographie du site en face des bassins – Référence de 1995– Ligne de berge à l'altitude de 155 m	10
Figure 10 : Vue détaillée de la topographie du site en face des bassins – État en 2003 – Ligne de berge à l'altitude de 155 m.....	11
Figure 11: Zones d'aggradation et de dégradation – Différence 2003-1995	12
Figure 12: Zones d'aggradation et de dégradation – Différence 2008-2003	13
Figure 13: Zones d'aggradation et de dégradation – Différence totale 2008-1995	13
Figure 14: Évolution temporelle de la topographie du lit mineur - Transect #1	14
Figure 15: Évolution temporelle de la topographie du lit mineur - Transect #2.....	15
Figure 16: Évolution temporelle de la topographie du lit mineur - Transect #3.....	15
Figure 17: Régime hydrologique annuel typique de la Montmorency – Station 051001 (Marches –Naturelles) Source : http://www.cehq.gouv.qc.ca/suivihydro/graphique.asp?NoStation=051001	17
Figure 18 : Localisation des transects de mesure glaciologique par géoradar	18
Figure 19 : Exemple de signal radar - Interprétation	18
Figure 20 : Décomposition continue par ondelette db2 à l'échelle 6.....	19
Figure 21 : Caractérisation au géoradar le 17 mars 2008 – Sur la photo : Francis Bérubé, INRS-ETE.....	20
Figure 22 : Géoradar – 17 mars 2008 - Horizons du profil transversal #1	21

Figure 23 : Géoradar – 17 mars 2008 - Horizons du profil transversal #3	21
Figure 24 : Géoradar – 17 mars 2008 - Horizons du profil transversal #5	21
Figure 25 : Géoradar – 17 mars 2008 - Horizons du profil transversal #6	21
Figure 26 : Géoradar – 17 mars 2008 - Horizons du profil transversal #7	22
Figure 27 : Géoradar – 17 mars 2008 - Horizons du profil transversal #8	22
Figure 28 : Géoradar – 17 mars 2008 - Horizons du profil transversal #9	22
Figure 29 : Géoradar – 17 mars 2008 - Horizons du profil transversal #10	22
Figure 30 : Géoradar – 17 mars 2008 - Horizons du profil transversal #11	23
Figure 31 : Géoradar – 17 mars 2008 - Horizons du profil transversal #12	23
Figure 32 : Géoradar – 17 mars 2008 - Horizons du profil transversal #13	23
Figure 33 : Géoradar – 17 mars 2008 - Horizons du profil transversal #14	23
Figure 34 : Géoradar – 17 mars 2008 - Horizons du profil transversal #15	24
Figure 35 : Géoradar – 17 mars 2008 - Horizons du profil transversal #21	24
Figure 36 : Présence d'eau liquide et possiblement d'écoulement - 17 mars 2008 – Secteur des Îlets	25
Figure 37 : Épaisseur de la couche d'eau liquide en mètres - 17 mars 2008 – Secteur des Îlets ..	25
Figure 38 : Épaisseur de la couche de frasil sous la glace - 17 mars 2008 – Secteur des Îlets	26
Figure 39 : Épaisseur de la couche de glace solide en mètres - 17 mars 2008 – Secteur des Îlets	26
Figure 40 : Épaisseur de la couche de neige en mètres – 17 mars 2008 – Secteur des Îlets	27
Figure 41 : Interprétation des trajets préférentiels d'écoulement sous glace à la fin de l'hiver 2008. Légende des épaisseurs d'eau liquide en mètres	28
Figure 42 : Interprétation des trajets préférentiels d'écoulement d'après l'interprétation de photographies (P1 à P5) du couvert de glace le 21 décembre 2005	30
Figure 43 : Jeu de photographies prises en décembre 2005 peu après la formation du couvert de glace (P1 à P5 d'ouest en est; voir la figure suivante pour leur disposition et leur interprétation)	32
Figure 44 : Emplacement proposé des puits horizontaux (Source : Génio, 2008)	33
Figure 45 : Positionnement des conduites proposé dans la verticale (Source : Génio Experts conseils, 2008)	34
Figure 46 : Positionnement des puits horizontaux par rapport à la topographie 2008	35

Figure 47: Positionnement projeté des conduites par rapport à l'évolution de la topographie à l'extrémité nord-est du dispositif35

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Vitesses de propagation des ondes électromagnétiques utilisées.....	19
---	----

1 Problématique et objectifs

Le présent mandat de l'INRS-ETE, en lien avec la mise en place d'une prise d'eau horizontale sous-fluviale dans les sédiments et alluvions de la rivière Montmorency, dans le secteur des Îlets, est de répondre à certaines questions soulevées par la ville de Québec en phase I relativement à la conception, la mise en œuvre et l'exploitation du système de captage sous-fluvial innovateur projeté. Ces questions ont surtout trait au caractère évolutif de la morphologie du tronçon laquelle sous-tend le positionnement optimal des conduites par rapport au captage. Elles relèvent aussi de la dynamique hivernale du couvert de glace.

Ce rapport présente les résultats de cette phase 2 relatifs à la topographie évolutive du tronçon ainsi qu'au régime des glaces. Certains résultats s'appuient sur diverses campagnes de terrain réalisées depuis 1995, et mis à jour en 2008, notamment pour la topographie. Le même mandat concerne aussi la réalisation d'essais en bac représentant le lit filtrant jusqu'à une crépine qui est installée à la base du dispositif. Les résultats seront rapportés dans un rapport distinct (Paniconi *et al.*, 2009).

Les analyses présentées ici tiennent compte de la géométrie et du dimensionnement du dispositif projeté tel que proposé par la firme Génio Experts-conseils.

Concernant ce rapport, les objectifs sont de:

1. *documenter l'évolution morphologique du cours d'eau pouvant affecter la performance, la mise en œuvre et la sécurité du système;*
2. *documenter le régime des glaces, plus précisément le régime d'écoulement sous glace pouvant affecter la performance et la sécurité d'approvisionnement*
3. *émettre un avis sur l'emplacement retenu pour l'implantation de la prise d'eau sous-fluviale tant dans le plan qu'en élévation.*

2 Évolution topographique 1995-2008

Les objets de la caractérisation réalisée sur le terrain concernent l'évolution topographique en lien avec des événements hydrologiques ou glaciologiques, d'une part, et l'état du couvert de glace à la fin de la période hivernale. Ces deux facteurs sont de nature à influencer sur la localisation des équipements de captage sous-fluvial tant dans la verticale que dans l'horizontal. Ces deux aspects seront traités successivement et les recommandations appropriées seront formulées à mesure.

2.1 Un secteur anastomosé très dynamique

Le secteur des Îlets (lac des Petites Îles) de la rivière Montmorency (Figure 1) est, comme son nom l'indique, une région particulière du cours d'eau soumise à des mouvements importants de son lit mineur et de ses alluvions associés au transport, à la déposition ou à l'érosion.



Figure 1 : Photographie aérienne du secteur des Îlets et de la prise d'eau de Beauport
Note : le rectangle en superposition bleue montre la zone ciblée pour l'implantation des conduites

Les facteurs à l'origine de cette morphologie très dynamique relèvent de l'hydrologie des crues et du régime des glaces en hiver, notamment lors d'embâcle se formant directement dans le secteur. Quelques études antérieures ont déjà démontré (voir Leclerc *et al.*, 1995), du moins au niveau de la migration latérale des berges, le dynamisme important du secteur (Figure 2). Par contre, si elle met l'accent sur le dynamisme du secteur d'intérêt, cette information ne permet pas de statuer sur l'évolution verticale du lit mineur, une donnée importante pour le positionnement optimal des puits horizontaux dans le lit mineur du cours d'eau.

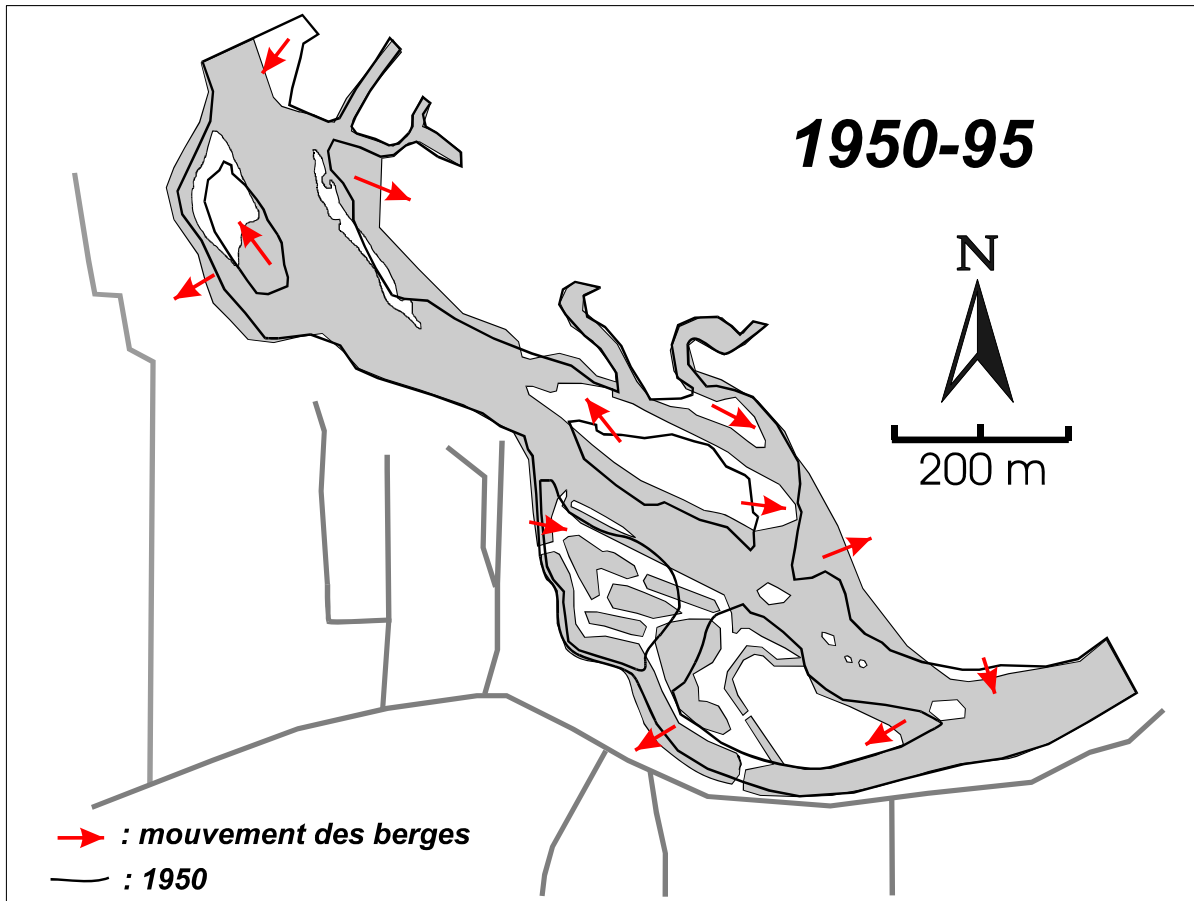


Figure 2: Évolution des berges entre 1950 et 1995 (Leclerc *et al.*, 1998)

2.1.1 Problématique et objectifs

Les mouvements alluvionnaires importants du cours d'eau et l'évolution des berges déjà constatée dans le secteur suggèrent que la cote du lit mineur doit aussi évoluer significativement. Or, l'implantation de conduites doit être réalisée en tenant compte de cette évolution qui peut représenter un aléa important pour la pérennité de l'ouvrage s'il n'est pas suffisamment enfoui dans les alluvions. Or, les conduites ont intérêt à être implantées le plus près possible de la surface (typiquement 2,5 m selon le concept préliminaire) afin d'en maximiser le rendement. Mais elles doivent aussi être suffisamment recouvertes d'alluvions pour se soustraire aux mouvements aléatoires du lit mineur. Deux caractérisations topographiques ayant déjà été réalisées depuis 1995 (1995, 2004), il est possible de brosser un portrait à moyen terme (13 ans)

de l'évolution morphologique jusqu'en 2008 en procédant à une mise à jour des données existantes. L'objectif de la caractérisation topographique était donc de mettre à jour cette donnée et de l'interpréter en fonction des besoins de conception et de positionnement identifiés.

2.1.2 Caractérisations antérieures à 2008

Une première caractérisation topographique avait déjà été réalisée pour le compte de la Ville de Beauport en 1995 (leclerc *et al.*, 1998), donnée qui avait servi à analyser les aléas de crue (incluant les événements géomorphiques majeurs tels que la crue du Saguenay en 1996) dans le secteur et d'en vérifier les conséquences sur les vulnérabilités du secteur (bassins de captage, usine de pompage des Îlets, résidences, infrastructures, pérennité du réseau hydrographique aux crues géomorphiques). Ce jeu de données a été obtenu à partir du modèle numérique de terrain de la ville (photogrammétrique) pour la partie terrestre et par des mesures réalisées à gué à la station totale et à l'aide d'un écho-sondeur couplé à un GPS différentiel. Les résultats ont été incorporés dans une base de données interne du logiciel MODELEUR. La topographie de 1995 est représentée à la Figure 5 et servira de référence dans la suite afin d'évaluer les changements morphologiques survenus depuis lors.

En 2004, une nouvelle campagne de mesure a été réalisée (Leclerc *et al.*, 2005). La firme d'arpentiers-géomètres Pagé-Leclair Géolocation Inc. avait 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.



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

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. Les résultats de cette campagne apparaissent à la Figure 6.

L'analyse avait déjà révélé des mouvements importants du fond notamment en face des bassins (Leclerc *et al.*, 2005). Ces mouvements pouvaient atteindre typiquement 50 cm jusqu'à 70 cm de graviers et galets en dégradation ou aggradation immédiatement en face des bassins dans le cours principal sur la majorité de la largeur. La cause principale de cette évolution rapide est lié à la survenue d'un embâcle directement en face des bassins qui a en quelque sorte « raboté » les alluvions du fond tel un bélier mécanique. Les matériaux déplacés ont occasionné un rehaussement du lit mineur au pied de l'embâcle (aggradation). Nous y reviendrons plus loin.

2.1.3 Caractérisation 2008

Les observations visuelles récentes du cours d'eau en face des bassins laissaient croire que la topographie du cours d'eau avait encore bougé depuis 2003, vraisemblablement dans un mouvement d'aggradation important au centre du lit mineur. Par ailleurs, des travaux d'excavation en berges ont aussi été réalisés après 2003 par la Ville afin de mieux canaliser l'écoulement vers les installations de pompage superficielles existantes. Ces deux éléments étaient suffisants pour nécessiter une seconde mise à jour de la topographie. La firme Pagé & Leclair, Géolocation a de nouveau été recrutée en septembre-octobre 2008 pour procéder à cette campagne. La couverture spatiale de 2003 a été limitée à une zone plus ciblée directement en face des bassins (Figure 4) et ne recouvrant que le lit mineur du cours principal. La stratégie adoptée est la même qu'en 2003, c'est-à-dire, une combinaison de mesures à l'échosondeur positionnées au DGPS centimétrique TDK et complétées à gué au DGPS. Les résultats de cette campagne sont montrés (intégrés dans la topographie d'ensemble du site datant de 1995) à la Figure 7.

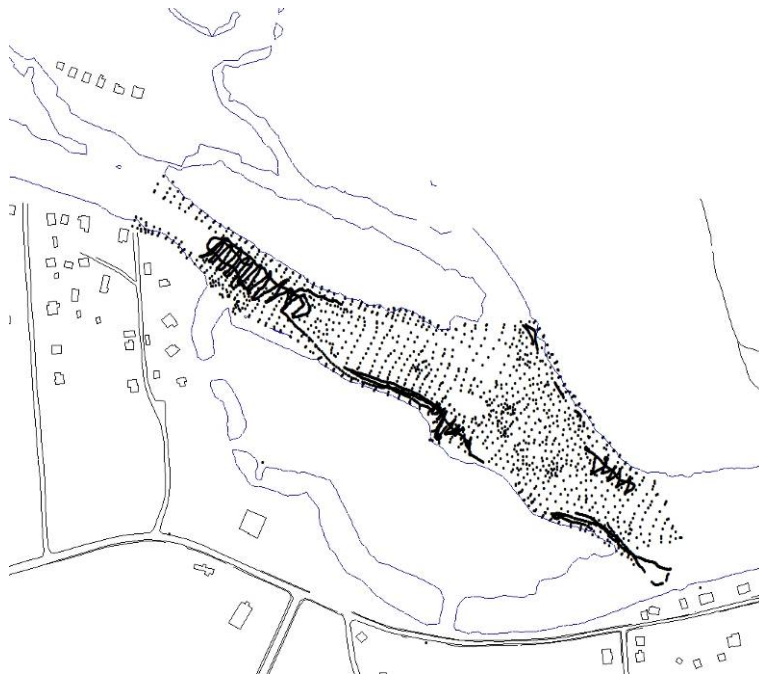


Figure 4: Semis de points de mesure de la campagne 2008

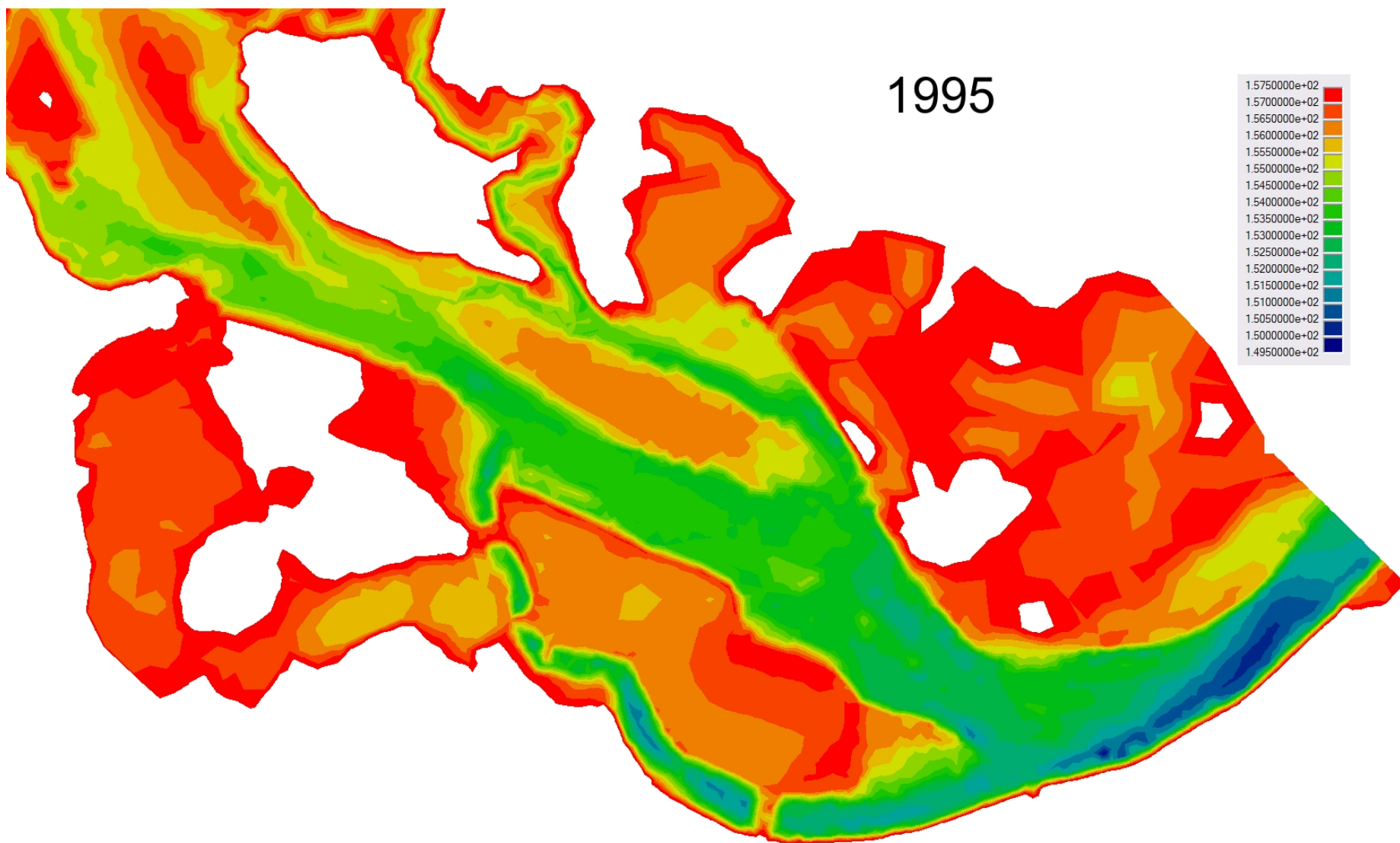


Figure 5 : Topographie d'ensemble de référence (1995) – Repère géodésique

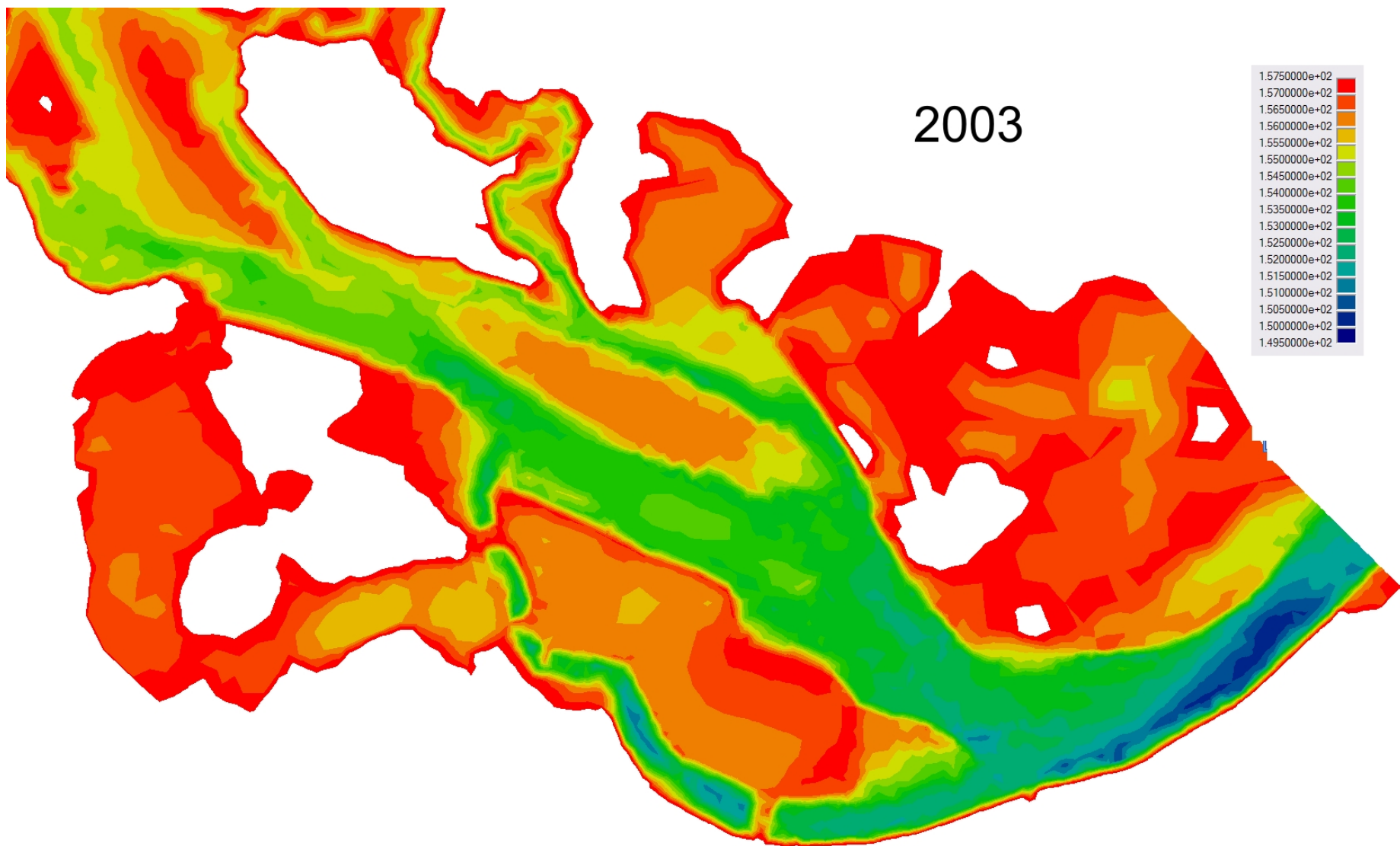


Figure 6 : Topographie d'ensemble mise à jour en 2003 – Repère géodésique

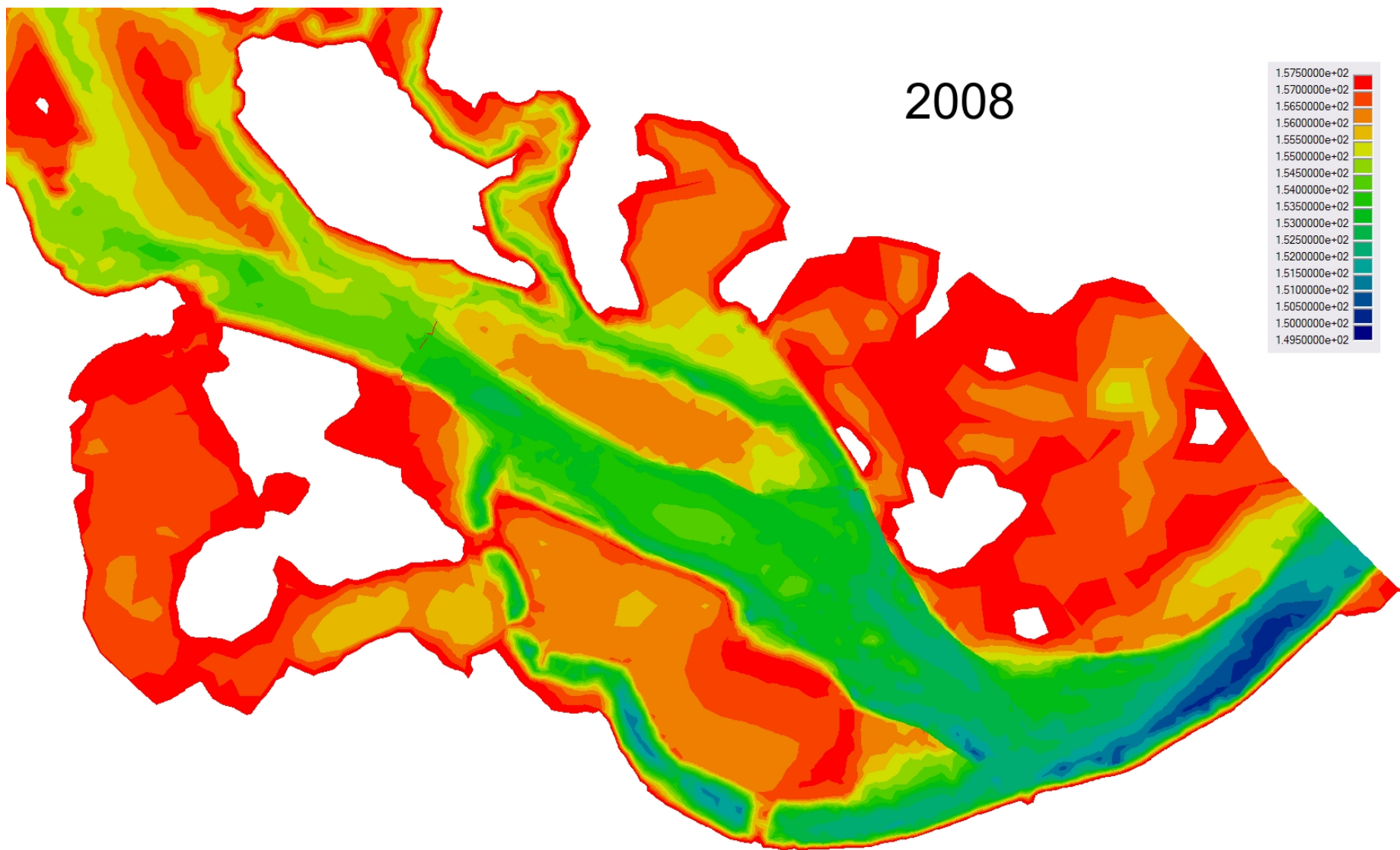


Figure 7 : Topographie d'ensemble de référence (2008) – Repère géodésique

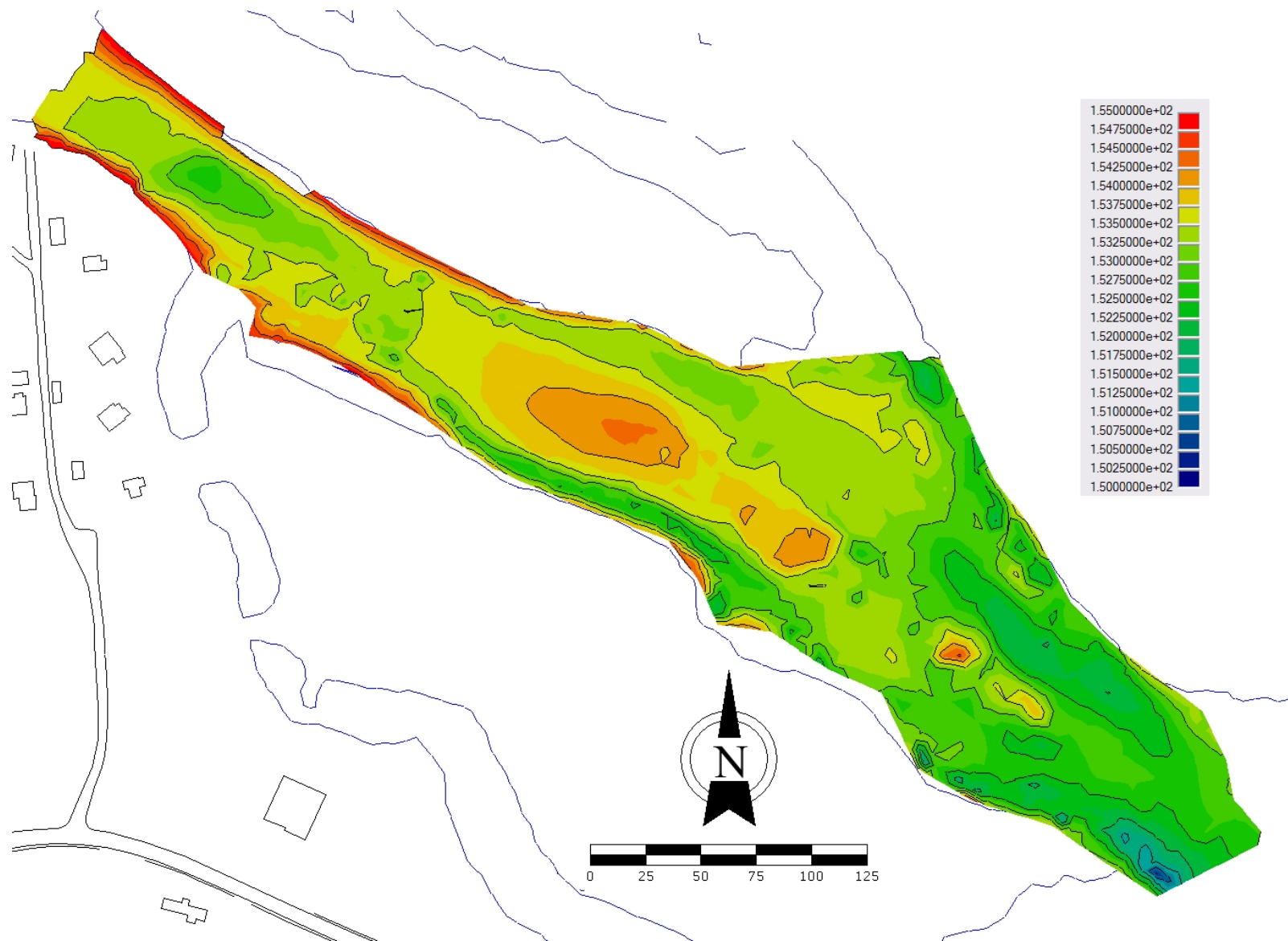


Figure 8 : Vue détaillée de la topographie du site en face des bassins - Mise à jour de 2008 – Ligne de berge à l'altitude de 155 m

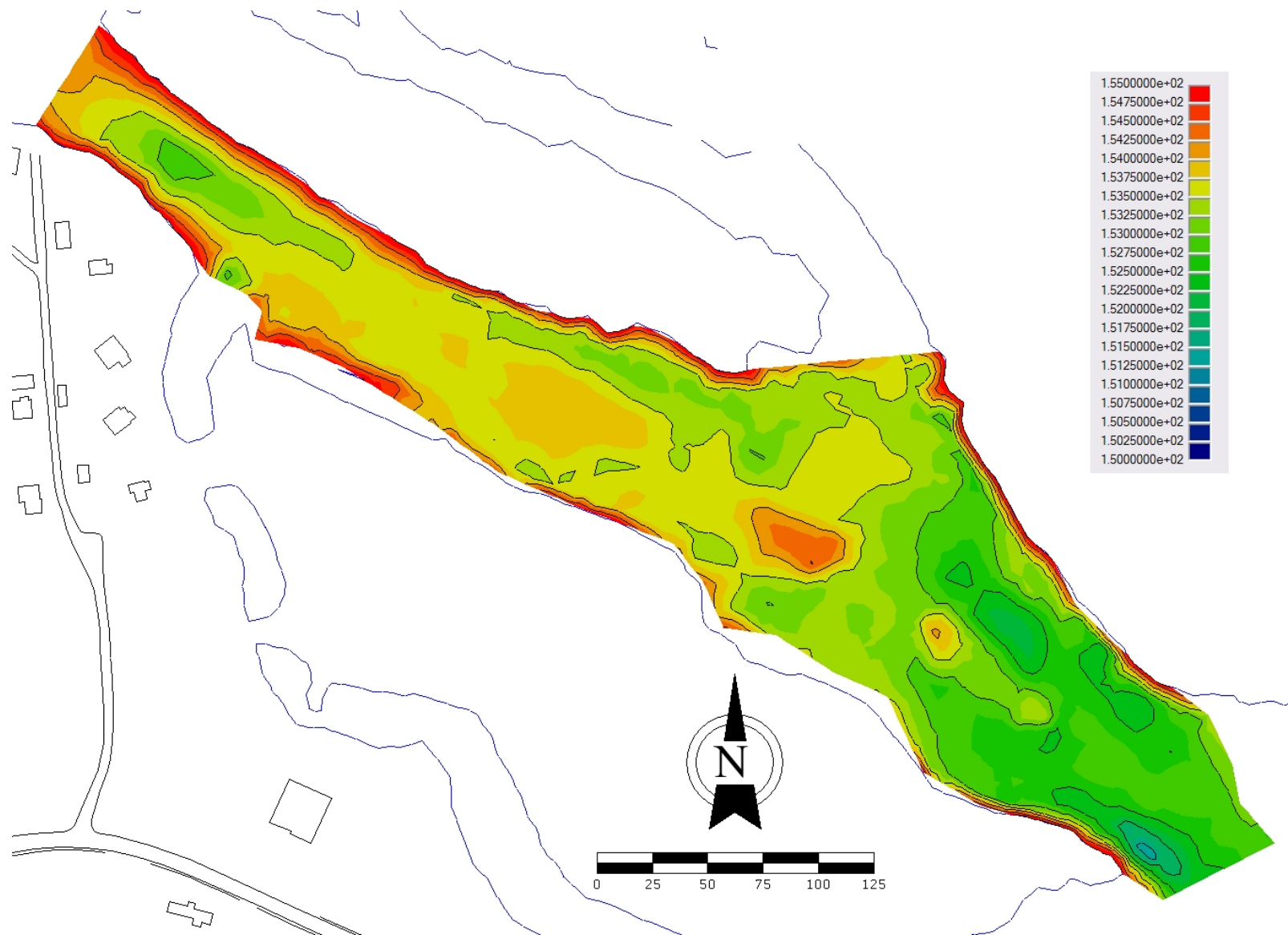


Figure 9 : Vue détaillée de la topographie du site en face des bassins – Référence de 1995– Ligne de berge à l'altitude de 155 m

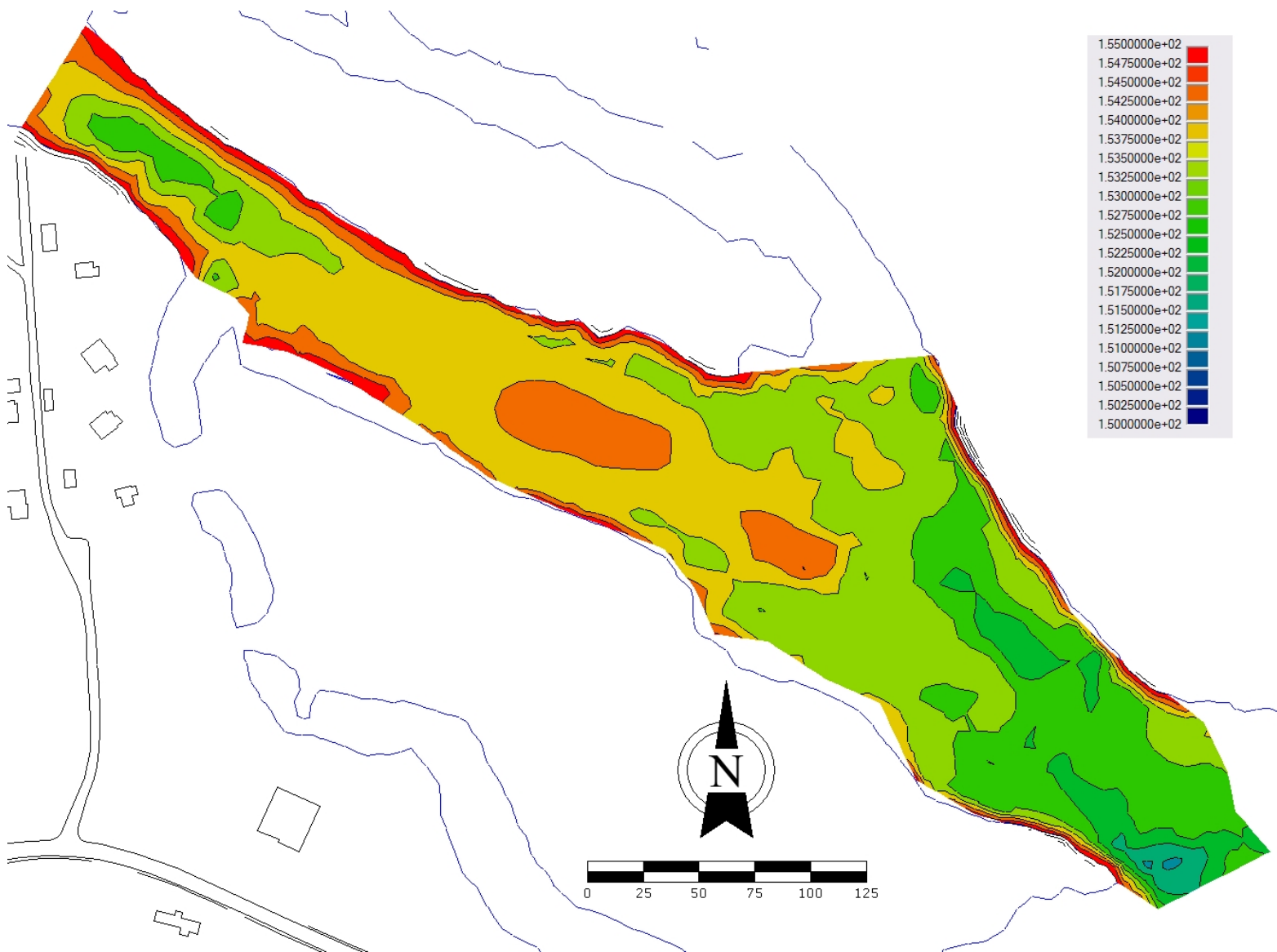


Figure 10 : Vue détaillée de la topographie du site en face des bassins – État en 2003 – Ligne de berge à l'altitude de 155 m

2.1.4 Interprétation de l'évolution topographique

La Figure 11 résume les mouvements d'alluvions résultant de la survenue d'un embâcle précédent directement en face des bassins. Le secteur en rouge à l'amont correspond *grosso modo* à la position du pied de l'embâcle et montre l'extension du phénomène de dégradation du lit mineur qui en est résulté. Le secteur en bleu plus loin en aval est l'autre résultante du processus alluvionnaire, soit une déposition des matériaux déplacés de l'amont. Les différences typiques ont une valeur de -0,25 m à l'amont avec des creux de 0,7 m. À l'aval, l'aggradation a atteint typiquement des valeurs de 0,5 m ce qui est loin d'être négligeable. Plus loin encore en aval, on observe une alternance de mouvements opposés de plus faible amplitude.

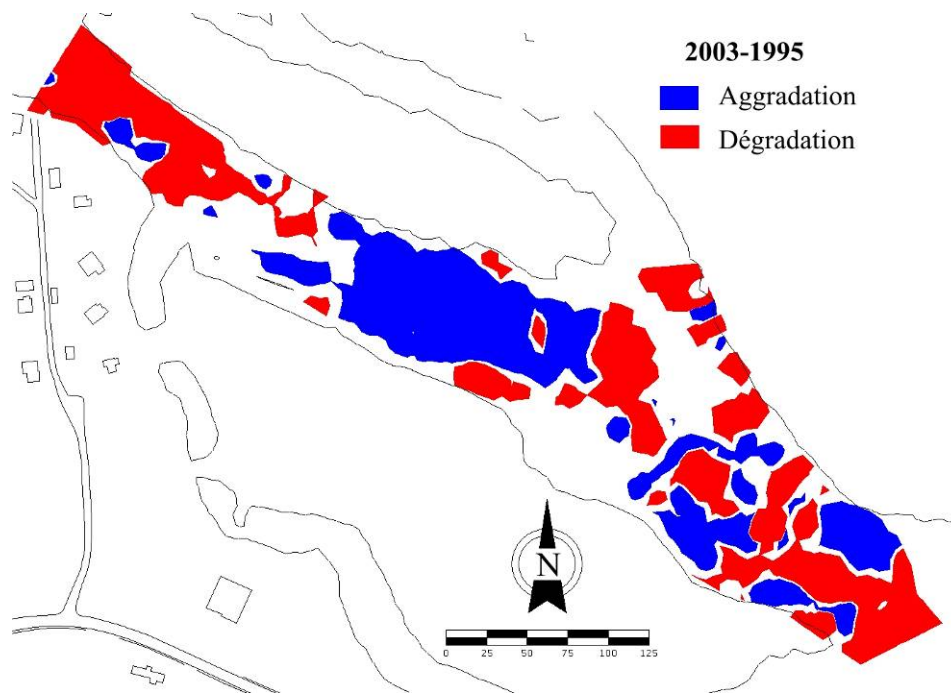


Figure 11: Zones d'aggradation et de dégradation – Différence 2003-1995

La caractérisation de 2008 a permis d'observer de nouveaux mouvements de nature soit anthropique ou d'origine naturelle. La Figure 12 illustre ce point. En amont, l'érosion provoquée par l'embâcle précédent tend à être compensée par un apport de matériaux alluvionnaires sur la zone dégradée. Plus loin en aval, jouxtant la rive droite, on observe un surcreusement lequel est associé à des travaux en rive visant à assurer un approvisionnement hivernal plus sécuritaire au système de pompage superficiel. Le banc d'alluvions grossières situé au centre du cours d'eau s'est quelque peu dégradé à son pourtour tandis qu'il s'est consolidé au centre.

Quand on considère l'ensemble de la période 1995-2008 (Figure 13), les trois résultantes les plus notables sont principalement associées à l'embâcle évoqué, soit une légère dégradation du lit mineur en amont accompagnée de l'engraissement d'un vaste banc d'alluvion au centre. L'autre évolution à noter est associée au surcreusement réalisé pour les fins du captage en rive droite. Il

apparaît de plus en plus que la rivière à cet endroit tend à se diviser en deux bras séparés par un banc d'alluvions en voie de végétalisation graduelle, donc de consolidation pour former un nouvel îlet typique du secteur étudié. Il en porte d'ailleurs le nom.

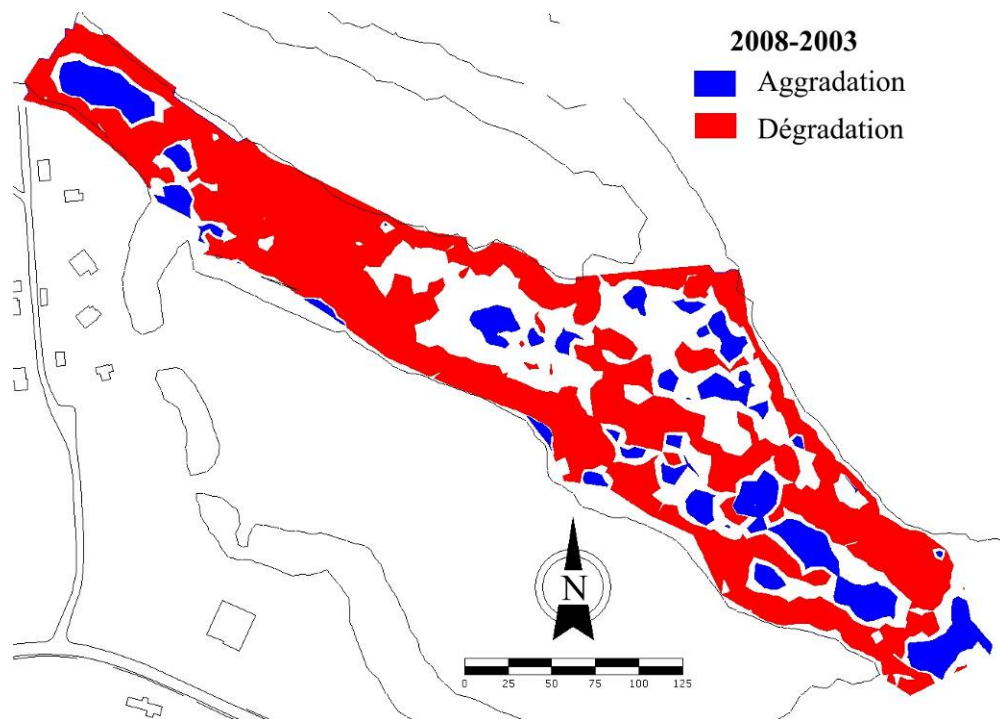


Figure 12: Zones d'aggradation et de dégradation – Différence 2008-2003

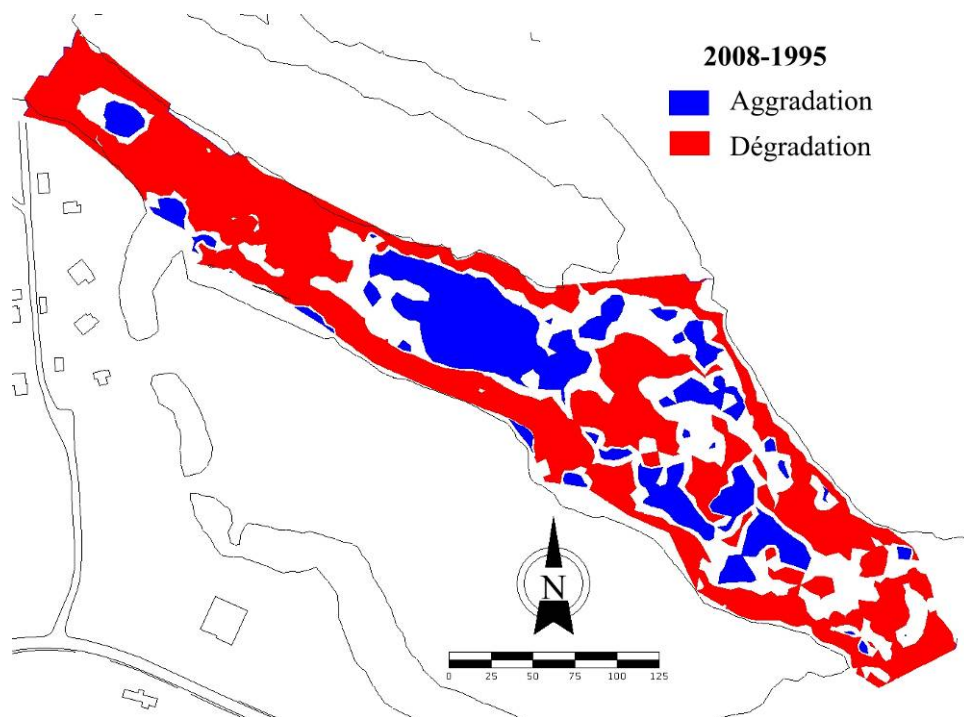


Figure 13: Zones d'aggradation et de dégradation – Différence totale 2008-1995

2.1.5 Évolution dans le secteur d'implantation des conduites

Afin de faciliter le positionnement des puits horizontaux dans le plan et en élévation, trois transects ont été placés dans le secteur et les données topographiques disponibles y ont été portées en graphique (Figure 14, Figure 15 et Figure 16). La position des transects est fournie sur les graphiques. Les profils de 1995 et de 2003 du transect #1 sont relativement stables, le profil de 2003 montre une dégradation générale de 20-30 cm. Le transect #2 montre un comportement similaire. Le transect #3 fournit l'explication de cette dégradation. On y remarque que l'abaissement du lit de la rivière s'est produit en rive droite en ligne directe avec l'excavation en rive réalisée afin de chenaliser l'écoulement vers le système de pompage superficiel. Il s'en est ensuivi une érosion rétrogressive qui s'est propagée vers l'amont. Ce déséquilibre morphologique a-t-il atteint son terme? Il est permis de penser que non et qu'il devrait se poursuivre à un degré moindre sur l'ensemble du site d'implantation des nouvelles conduites sous-fluviales. Il faudra donc tenir compte de ce fait pour finaliser le positionnement de celles-ci dans le plan et surtout en élévation. On peut s'attendre à ce que le profil latéral se surcreuse de plus en plus, majoritairement en rive droite, vis-à-vis des transects #1 et #2, et typiquement jusqu'à la cote 153,25 m. Ce nouvel équilibre serait étroitement associé aux conséquences du surcreusement artificiel réalisé antérieurement. Il est donc important d'éviter un positionnement des conduites trop haut qui pourrait conduire à une surexposition de celles-ci à des mouvements futurs de plus grande amplitude.

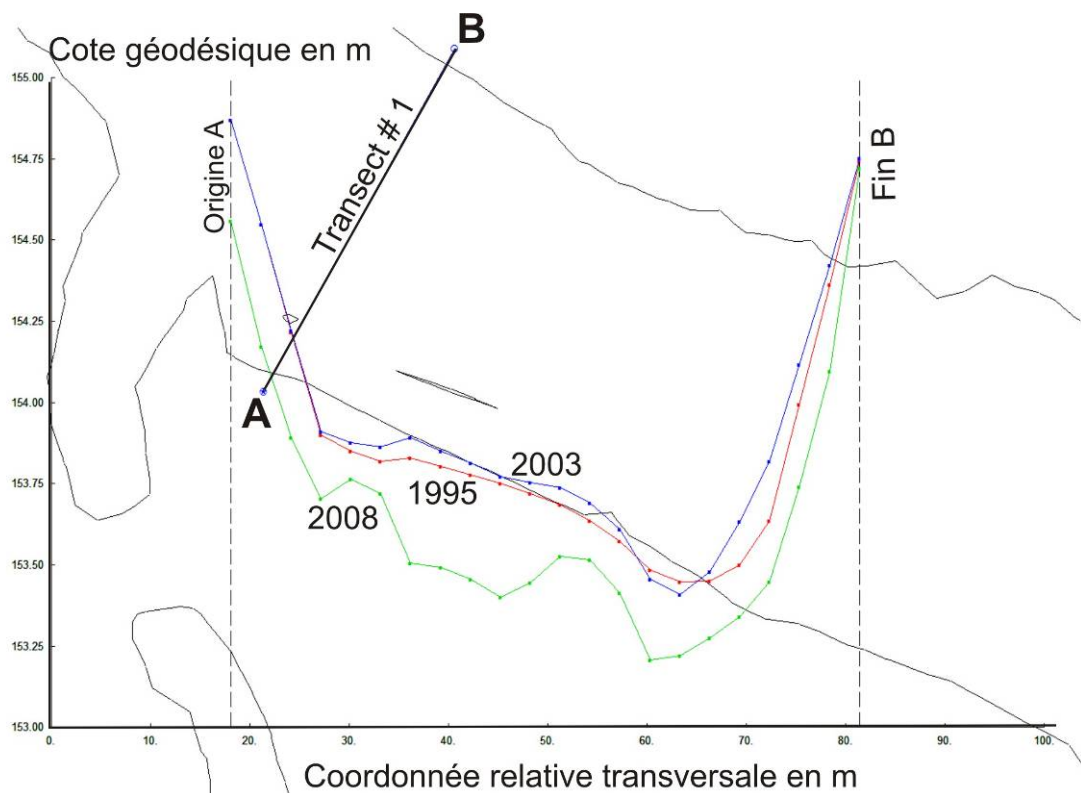


Figure 14: Évolution temporelle de la topographie du lit mineur - Transect #1

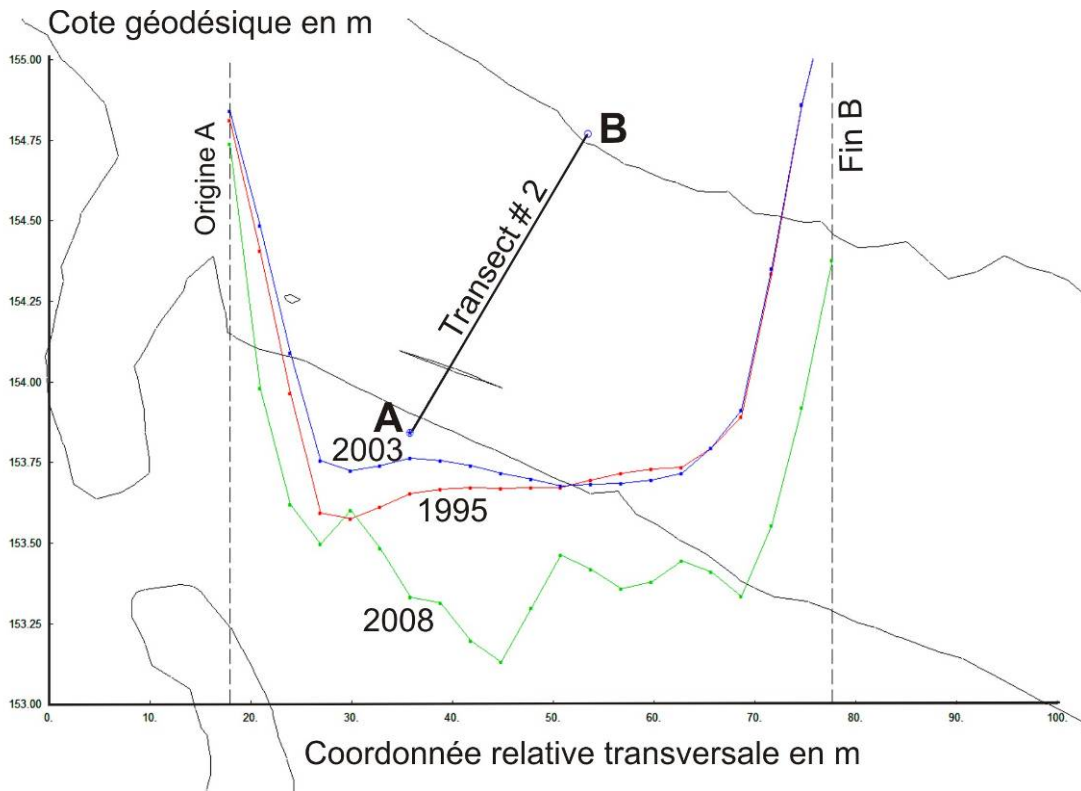


Figure 15: Évolution temporelle de la topographie du lit mineur - Transect #2

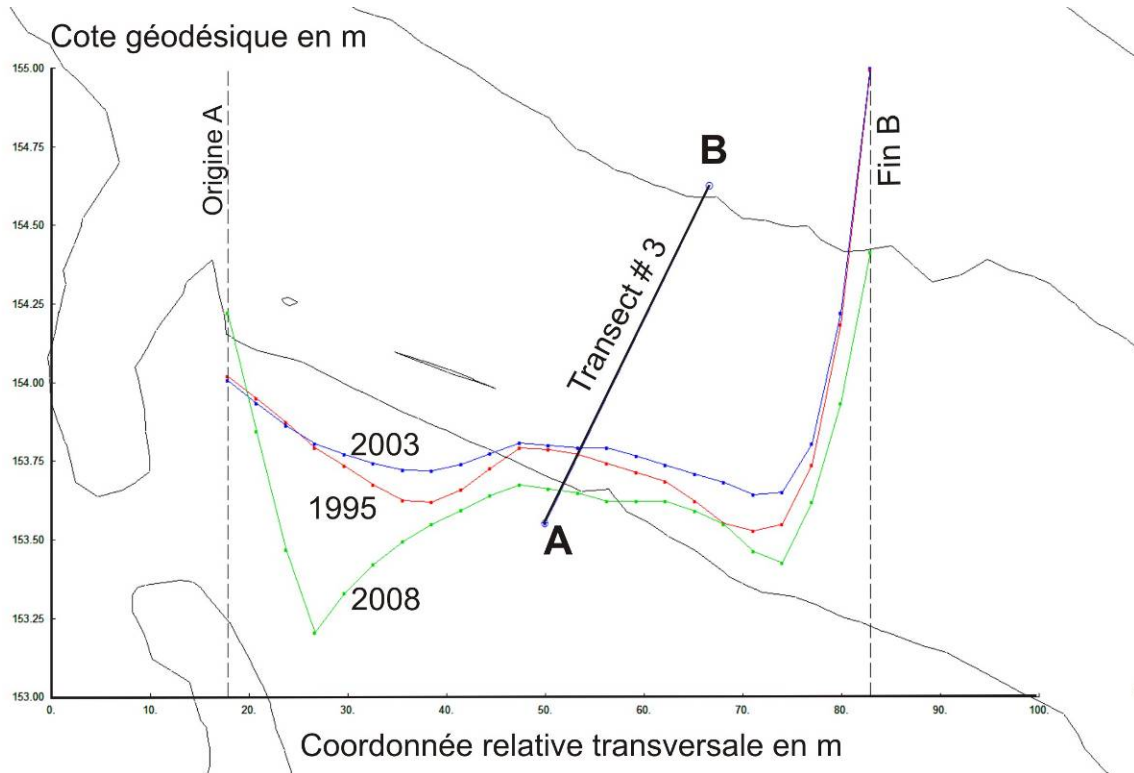


Figure 16: Évolution temporelle de la topographie du lit mineur - Transect #3

3 Couvert de glace

3.1 Problématique et objectifs

L'implantation d'une prise d'eau sous-fluviale vise à répondre temporairement au besoin d'approvisionnement en eau brute lors d'épisodes particuliers, notamment en hiver lorsque les conditions de captage superficiel de l'eau sont rendues difficiles à cause des conditions de glace et de frazil. Il est donc nécessaire de documenter cette problématique par une approche appropriée, si possible à l'échelle du site et à une phase avancée de l'hiver permettant d'observer les différents horizons d'eau liquide, de frazil résiduel, de glace et de neige sur le site à l'étude. Cet aspect de la question a donc été abordé par le biais d'une caractérisation terrain mettant en œuvre un instrument de mesure conçu à cette fin, soit le géoradar et par un positionnement GPS de base.

Il s'agit plus précisément d'identifier les endroits où le couvert de glace, et éventuellement la couche de frazil résiduelle, se trouvent appuyés au fond (donc sans présence d'eau en circulation), et de déterminer si ces endroits correspondent au site prévu d'implantation des conduites sous-fluviales. Le cas échéant, le chemin préférentiel d'infiltration de l'eau vers les conduites qui, en conditions libres de glace, emprunte en majorité le plus court chemin à l'aplomb de celles-ci, pourrait s'en trouver allongé, réduisant potentiellement l'efficacité nominale du dispositif projeté. En d'autres termes, il s'agit d'identifier les zones où une couche d'eau liquide est présente en permanence même à la fin de l'hiver lorsque le débit de la rivière atteint son niveau d'étiage le plus sévère.

3.2 Caractérisation au géoradar

La caractérisation a été réalisée le 17 mars 2008 avant le début des conditions de fonte printanière et à la fin de la période normale de récession hydrologique hivernale. Cette phase du cycle hydrologique correspond aux conditions parmi les plus adverses pour l'opération d'un système de captage sous-fluvial, soit

1. le maximum de couverture spatiale et d'épaisseur de la glace,
2. un débit à son minimum annuel, donc

3. un couvert de glace appuyé au fond sur de grandes surfaces,
4. et possiblement, des accumulations stables de frasil importantes là où le couvert n'est pas appuyé au fond.

Ainsi, le débit moyen journalier observé pour le 17 mars 2008 était de 7,6 m³/s à la station 051001 (Marches-Naturelles; Source : Centre d'Expertise hydrique du Québec). Afin de tenir compte d'un bassin versant réduit à la hauteur du site, une valeur de 7,1 m³/s est retenue. Celle-ci correspond à la période d'étiage normalement la plus sévère de l'année. (voir la Figure 17)

Les relevés radar ont été effectués à l'aide d'un radar de sol (géoradar) de la compagnie GSSI (modèle SIR-3000). Une antenne de 400 MHz (standard international 5103A) a été utilisée. Les relevés radar ont été effectués sous forme de transects en échantillonnage continu (5 Hz). La fréquence de saisie du radar a été fixée à 10 GigaHz.

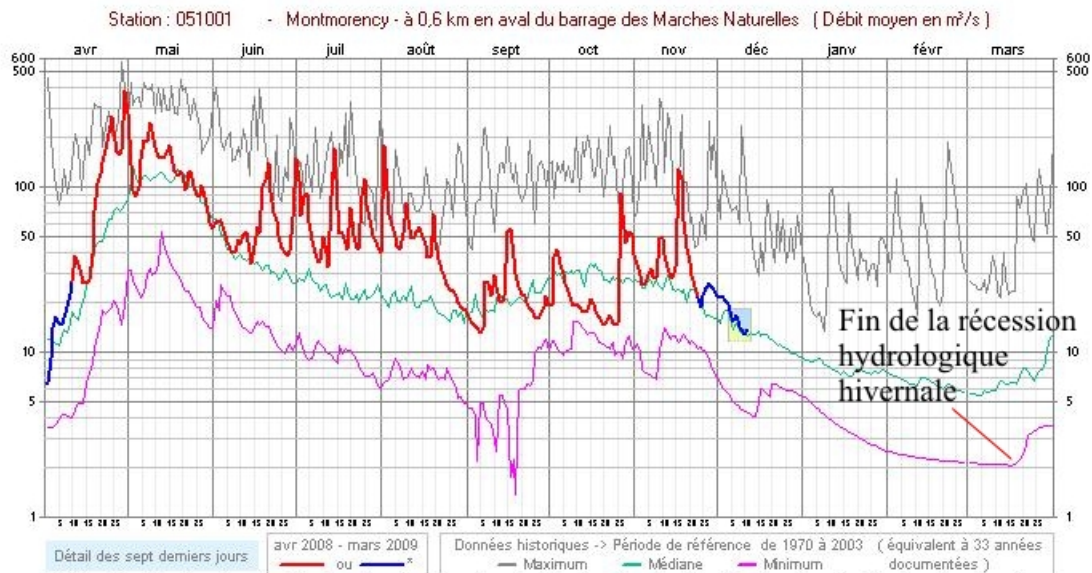


Figure 17: Régime hydrologique annuel typique de la Montmorency – Station 051001 (Marches –Naturelles)

Source : <http://www.cehq.gouv.qc.ca/suivihydro/graphique.asp?NoStation=051001>

La Figure 18 montre la position et la numérotation des transects réalisés. Certains transects n'ont pu être suffisamment validés (#2 et #4, #16 à #19) ou suffisamment interprétés pour être rapportés ici. L'analyse du signal du géoradar a pu être réalisée à l'aide d'algorithmes permettant de discriminer l'épaisseur de la neige superficielle, de la glace, du frasil résiduel présent sous le couvert et enfin, de la couche d'eau liquide en écoulement et vraisemblablement en charge (sous pression).



Figure 18 : Localisation des transects de mesure glaciologique par géoradar

3.2.1 Méthodologie de traitement du signal radar

Les épaisseurs de neige et de glace ont été obtenues directement sans filtrage des données. La forte intensité de ces réflecteurs électromagnétiques ont permis de suivre ces interfaces de façon continue à l'aide d'algorithmes de suivi de pics tel que proposés dans la bibliographie (Gilman *et al.*, 1963 ; Lau & Weng, 1995 ; Torrence & Compo, 1998 ; Weng & Lau, 1994). La Figure 19 montre un tracé du retour du signal radar et les échos des différentes interfaces des matériaux solides.

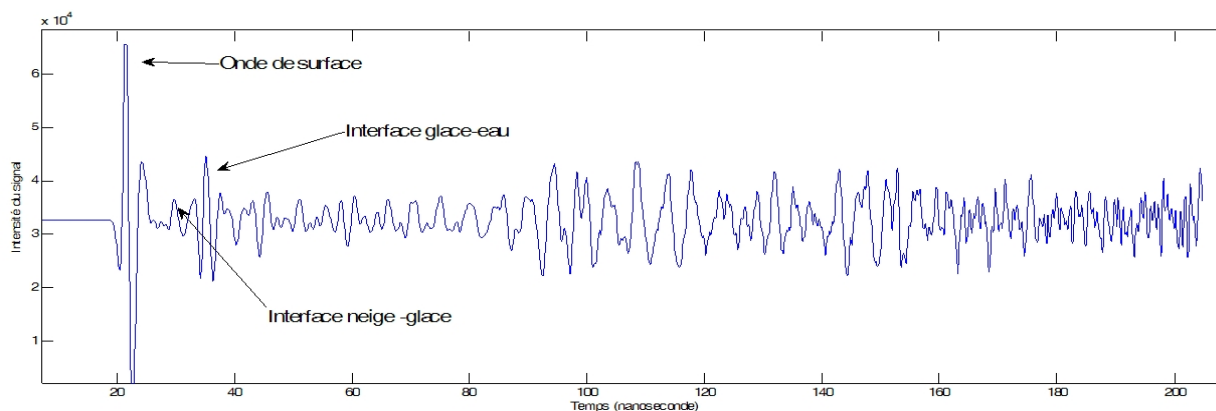


Figure 19 : Exemple de signal radar - Interprétation

Les grandes quantités de frazil présentes sous le couvert de glace ont causé une grande diffusion du signal rendant l'identification visuelle directe des échos électromagnétiques du frazil ainsi que du lit de la rivière impossibles. Par contre, un phénomène de réflexions multiples a été identifié entre le lit de la rivière et l'interface frazil-eau. Cet effet de battement a été exploité afin d'extraire les épaisseurs des matériaux sous glace.

Un premier traitement des signaux consiste en la décomposition en continue du signal par ondelette. Une ondelette orthogonale Daubechies d'ordre 2 a été utilisée. L'équation suivante représente la décomposition continue par l'ondelette ψ du signal réel $s(t)$ (Figure 20).

$$W(b, a) = \frac{1}{(a)^{1/2}} \int \psi * \left(\frac{t-b}{a} \right) s(t) dt$$

Les signaux obtenus ont ensuite été décomposés de façon continue par ondelette complexe de type Morlet (équation suivante). Le signal complexe obtenu a ensuite permis d'extraire le spectre de puissance du battement. Une relation entre les échelles de grandeur des ondelettes et des fréquences a été calculée. Les périodes obtenues ont ainsi été associées aux épaisseurs d'eau présentes sous le couvert de glace.

$$\psi(t) = e^{ik_{\psi}t} e^{-|t|^2/2}$$

Les vitesses de propagation des ondes électromagnétiques utilisées pour la reconstruction des épaisseurs sont indiquées au Tableau 1.

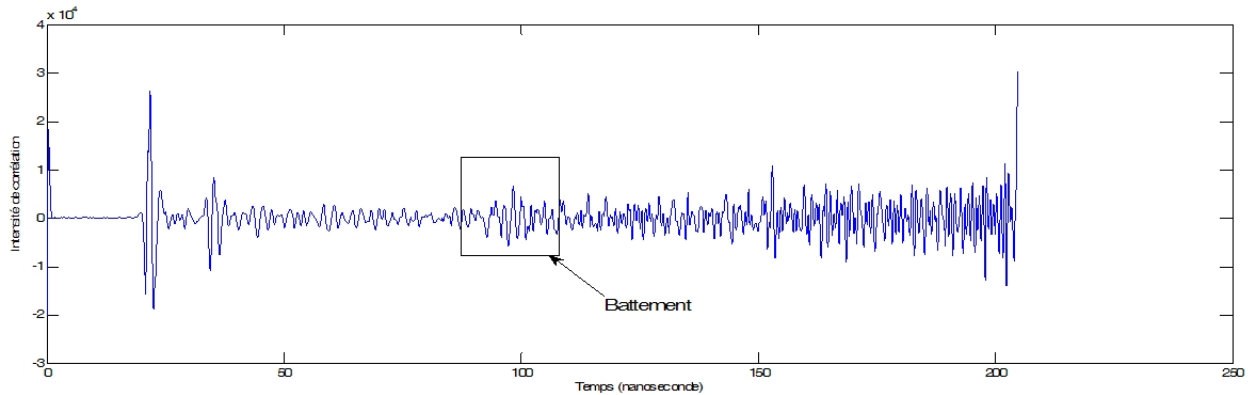


Figure 20 : Décomposition continue par ondelette db2 à l'échelle 6.

Tableau 1 : Vitesses de propagation des ondes électromagnétiques utilisées

Horizon	Vitesses (cm/ns)
Neige	28
Glace	17
Frazil	4
Eau	3.3



Figure 21 : Caractérisation au géoradar le 17 mars 2008 –
Sur la photo : Francis Bérubé, INRS-ETE

3.2.2 Résultats du géoradar

Les Figures suivantes (4 à 15) présentent les interprétations des différents horizons d'eau liquide ou solide observés au géoradar.

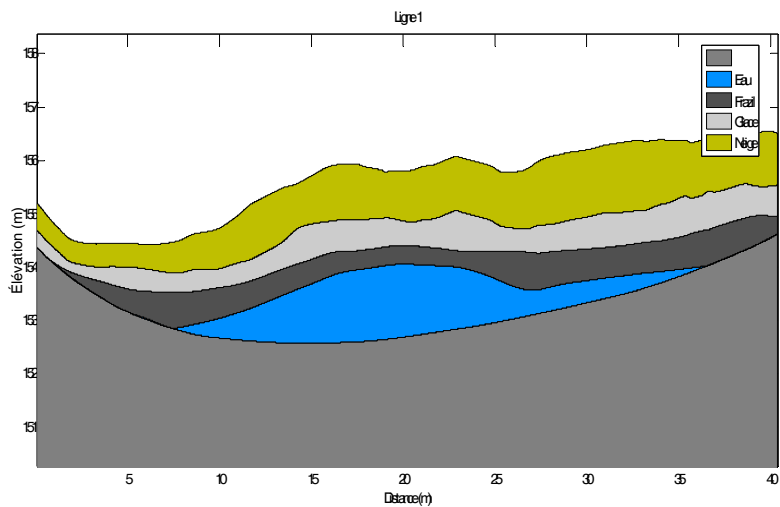


Figure 22 : Géoradar – 17 mars 2008 - Horizons du profil transversal #1

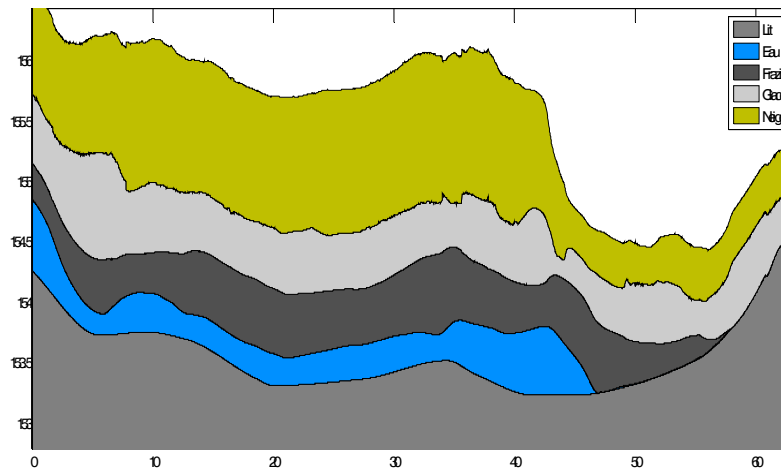


Figure 24 : Géoradar – 17 mars 2008 - Horizons du profil transversal #5

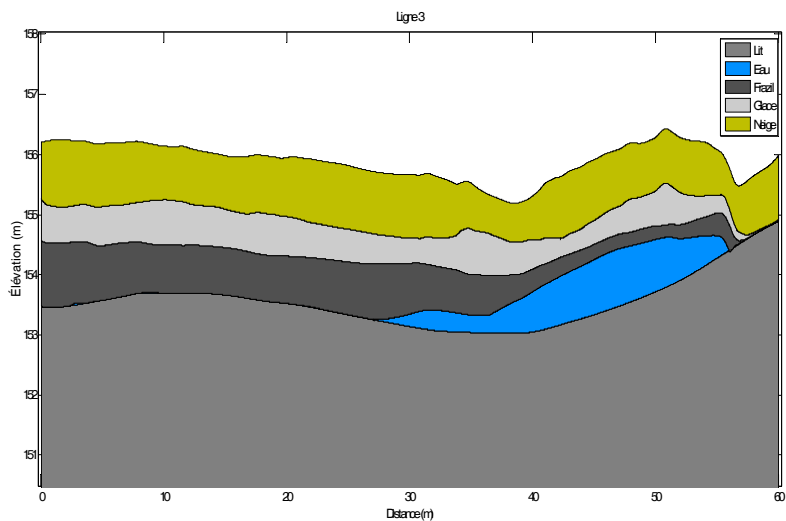


Figure 23 : Géoradar – 17 mars 2008 - Horizons du profil transversal #3

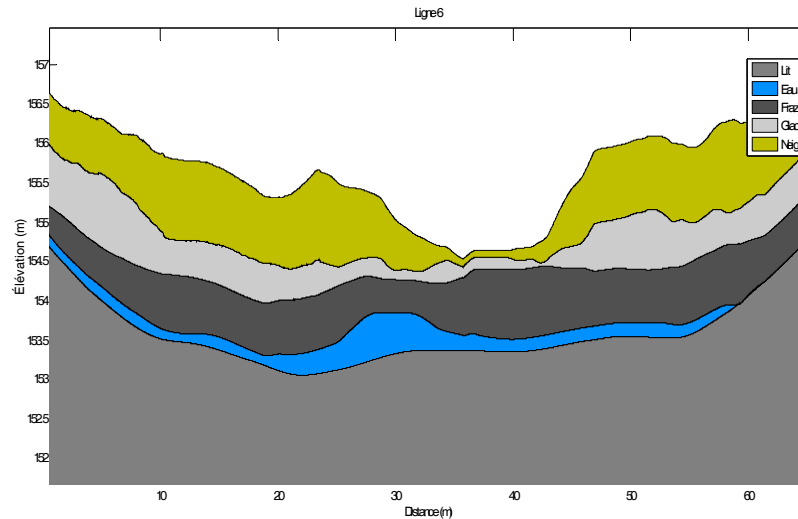


Figure 25 : Géoradar – 17 mars 2008 - Horizons du profil transversal #6

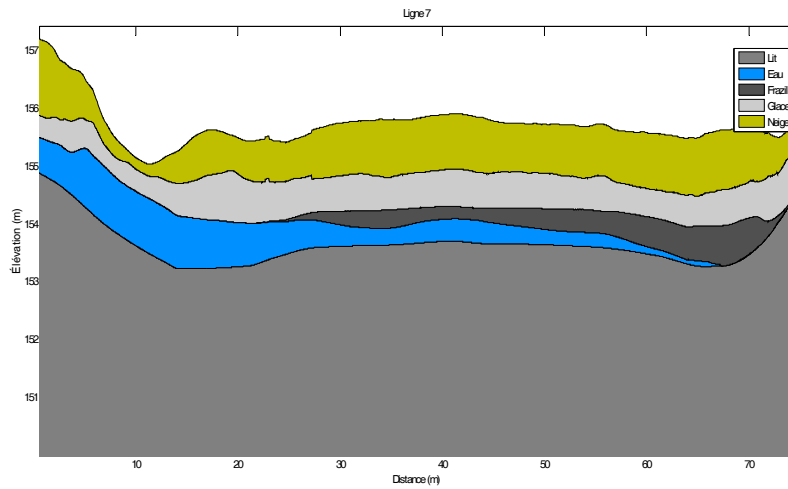


Figure 26 : Géoradar – 17 mars 2008 - Horizons du profil transversal #7

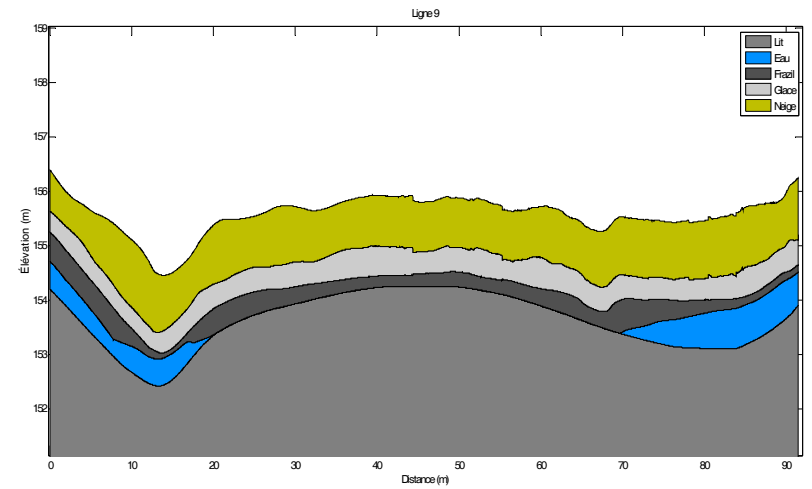


Figure 28 : Géoradar – 17 mars 2008 - Horizons du profil transversal #9

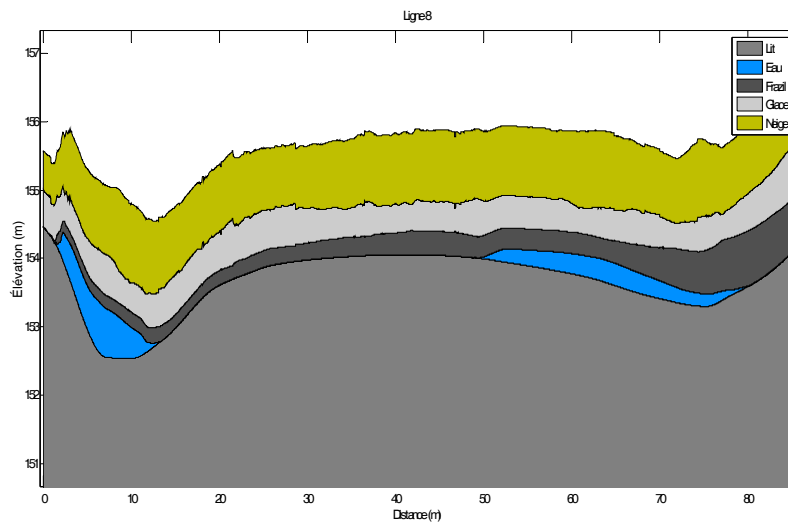


Figure 27 : Géoradar – 17 mars 2008 - Horizons du profil transversal #8

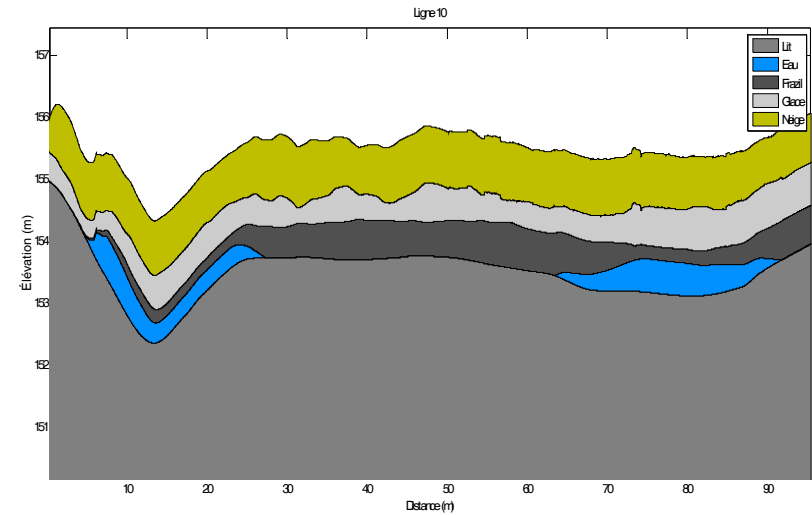


Figure 29 : Géoradar – 17 mars 2008 - Horizons du profil transversal #10

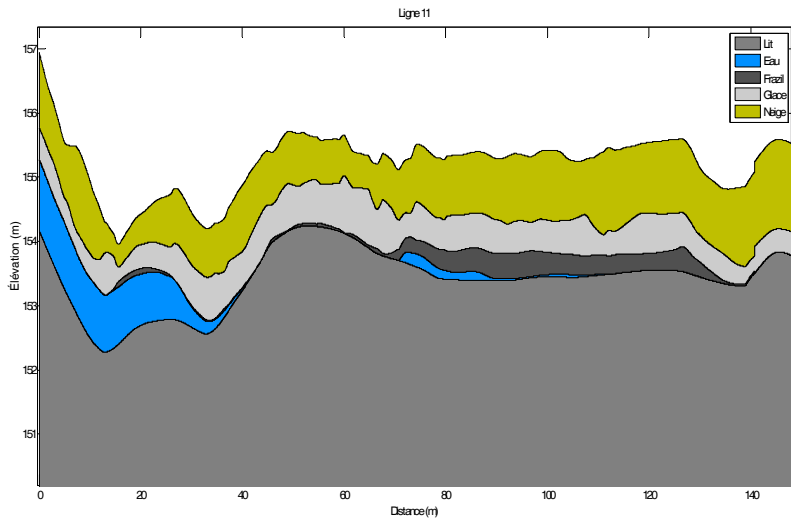


Figure 30 : Géoradar – 17 mars 2008 - Horizons du profil transversal #11

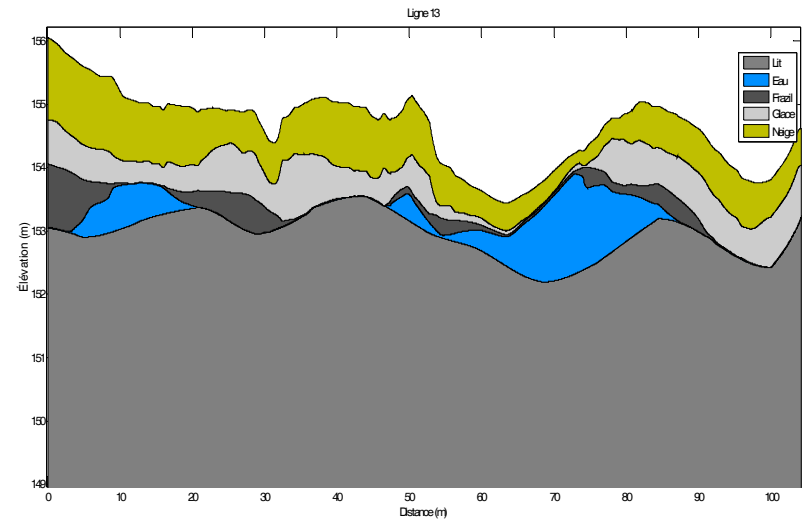


Figure 32 : Géoradar – 17 mars 2008 - Horizons du profil transversal #13

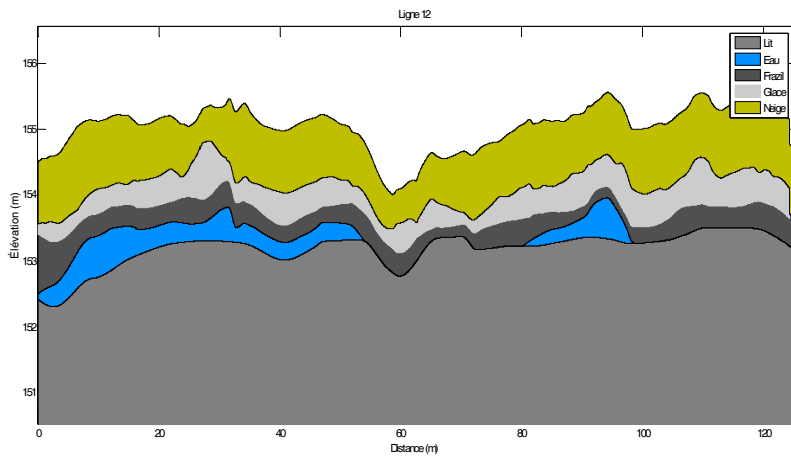


Figure 31 : Géoradar – 17 mars 2008 - Horizons du profil transversal #12

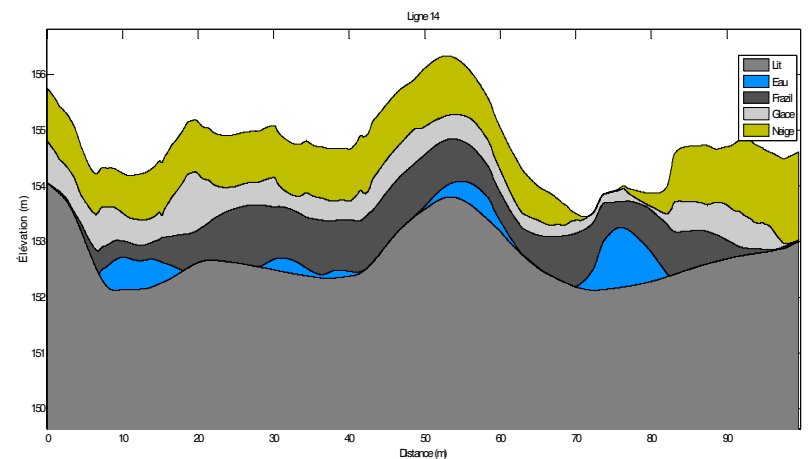


Figure 33 : Géoradar – 17 mars 2008 - Horizons du profil transversal #14

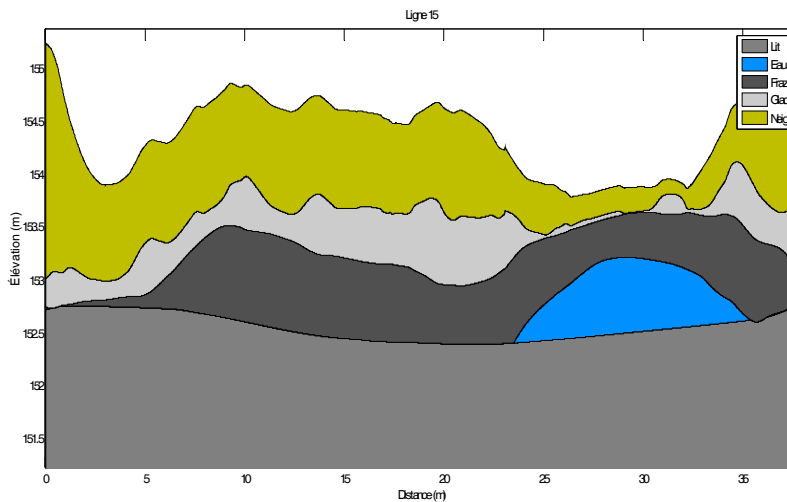


Figure 34 : Géoradar – 17 mars 2008 - Horizons du profil transversal #15

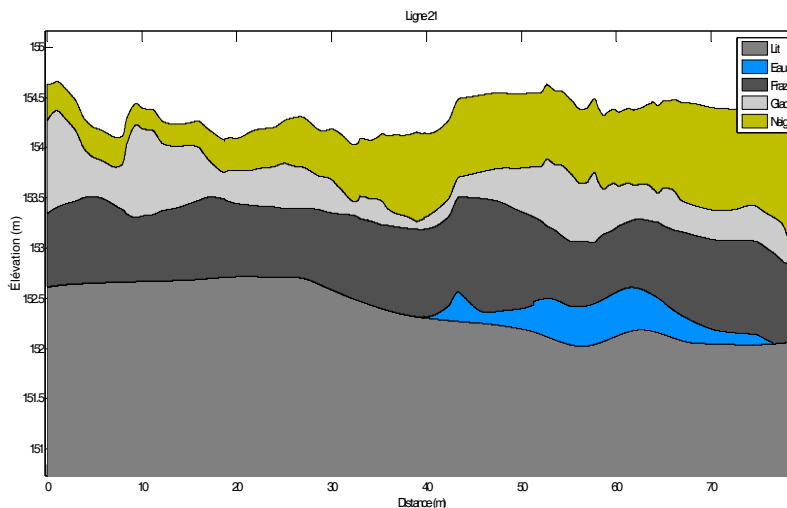


Figure 35 : Géoradar – 17 mars 2008 - Horizons du profil transversal #21

Dans ces illustrations, le profil du fond (cote d'altitude) n'est pas exactement conforme à celui existant au moment de la prise de données réalisée en octobre 2008. Afin d'interpréter adéquatement ce point, le lecteur devra se reporter à la section portant sur la topographie. La présente analyse a été réalisée en se basant sur une topographie antérieure (2004) car la mise à jour réalisée en octobre n'était pas disponible au moment de l'interprétation. Quoiqu'il en soit, la cote du fond a été introduite ici afin de faciliter l'interprétation des données du radar dans le profil vertical.

En lien avec ces profils, une cartographie bi-dimensionnelle (2D) des différentes couches a été réalisée afin de faire ressortir l'organisation synoptique des écoulements. La Figure 36 rapporte l'extension dans le plan de la couche d'eau libre sous le couvert et la couche de frasil sous-jacente. La Figure 37 présente la hauteur de cette couche d'eau libre. La Figure 38 montre la couche de frasil, la Figure 39 la couche de glace et la Figure 40 la couche de neige superficielle.

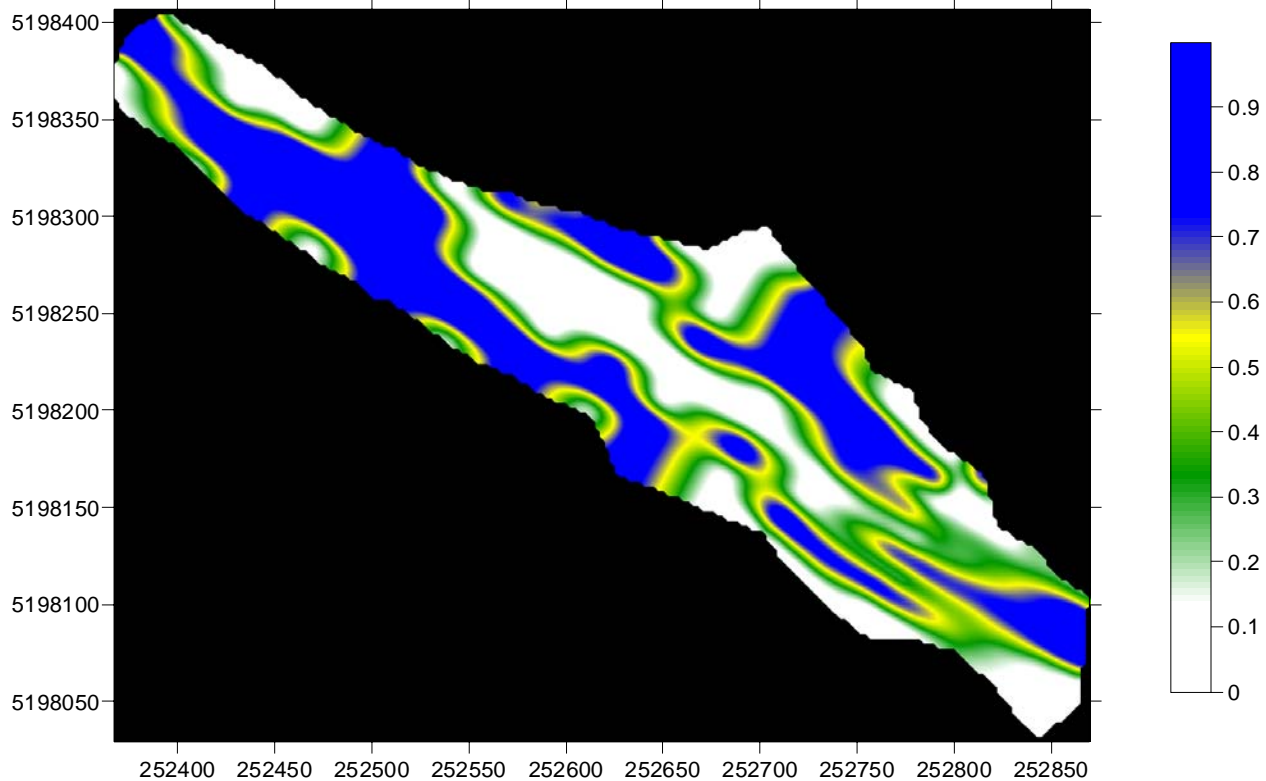


Figure 36 : Présence d'eau liquide et possiblement d'écoulement - 17 mars 2008 – Secteur des Îlets

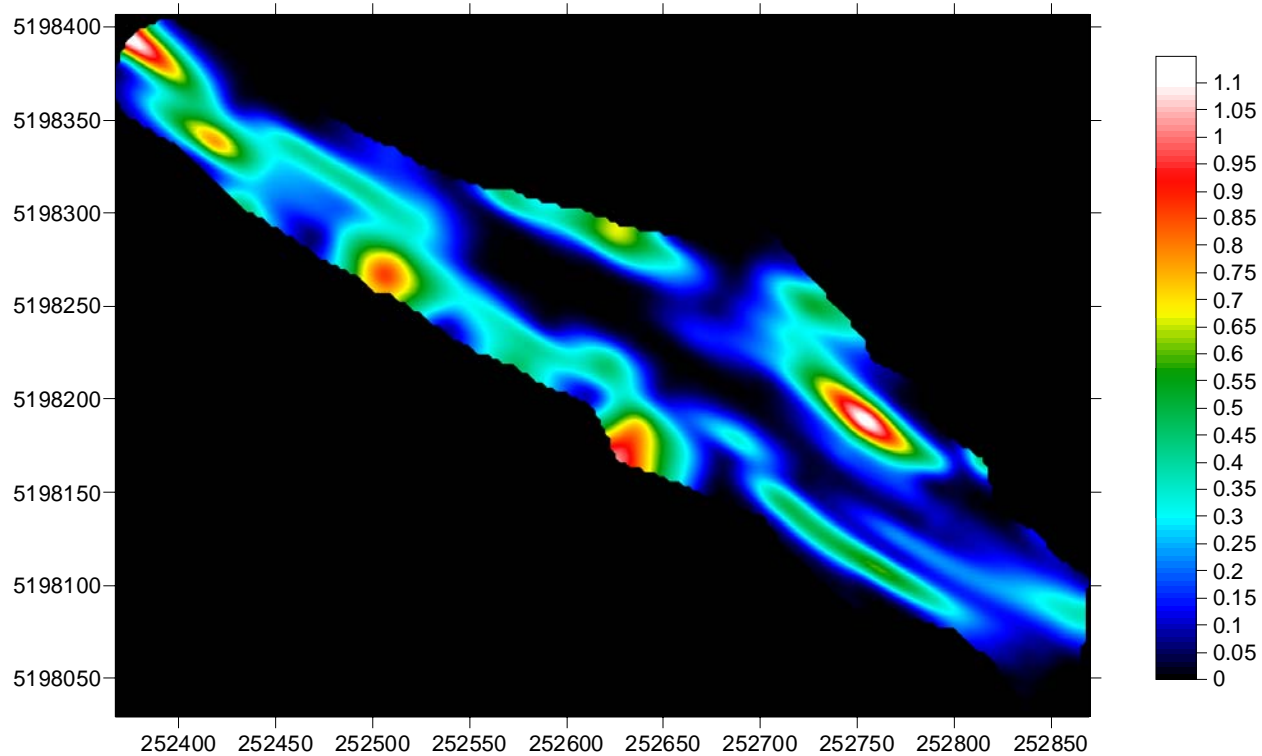
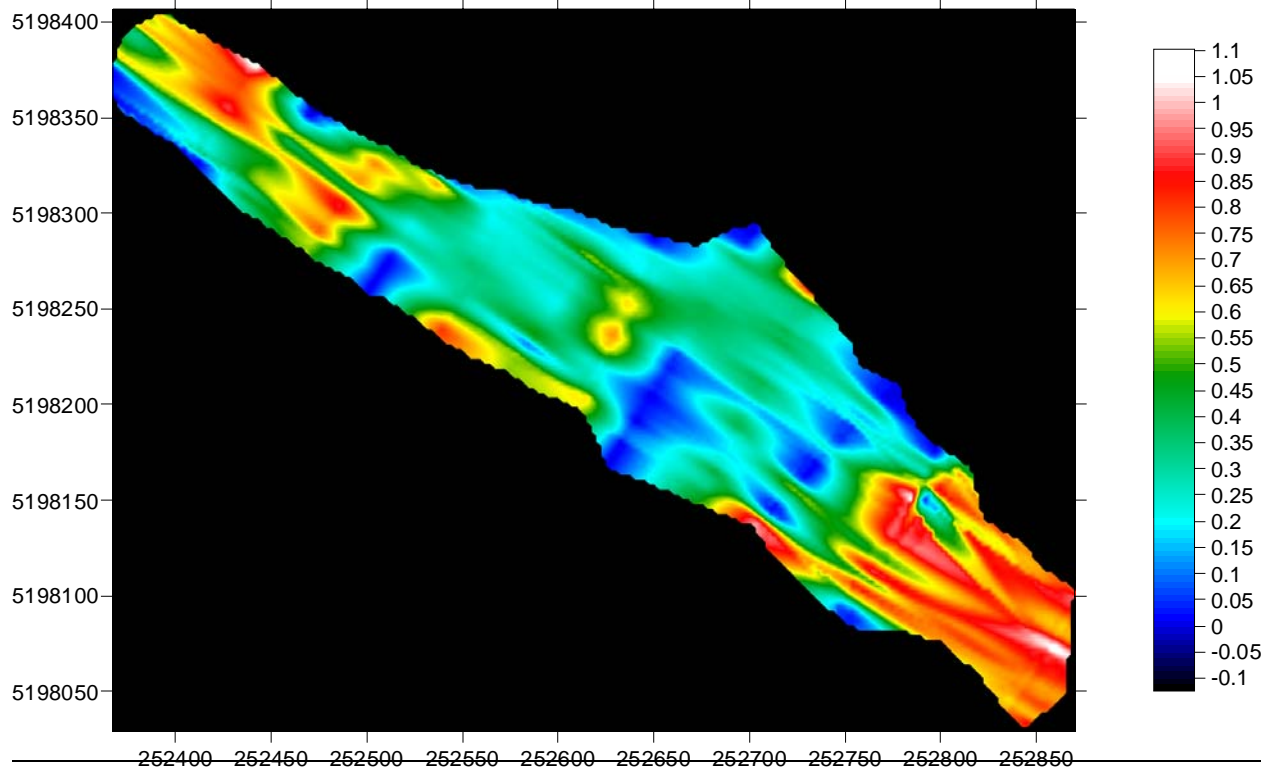
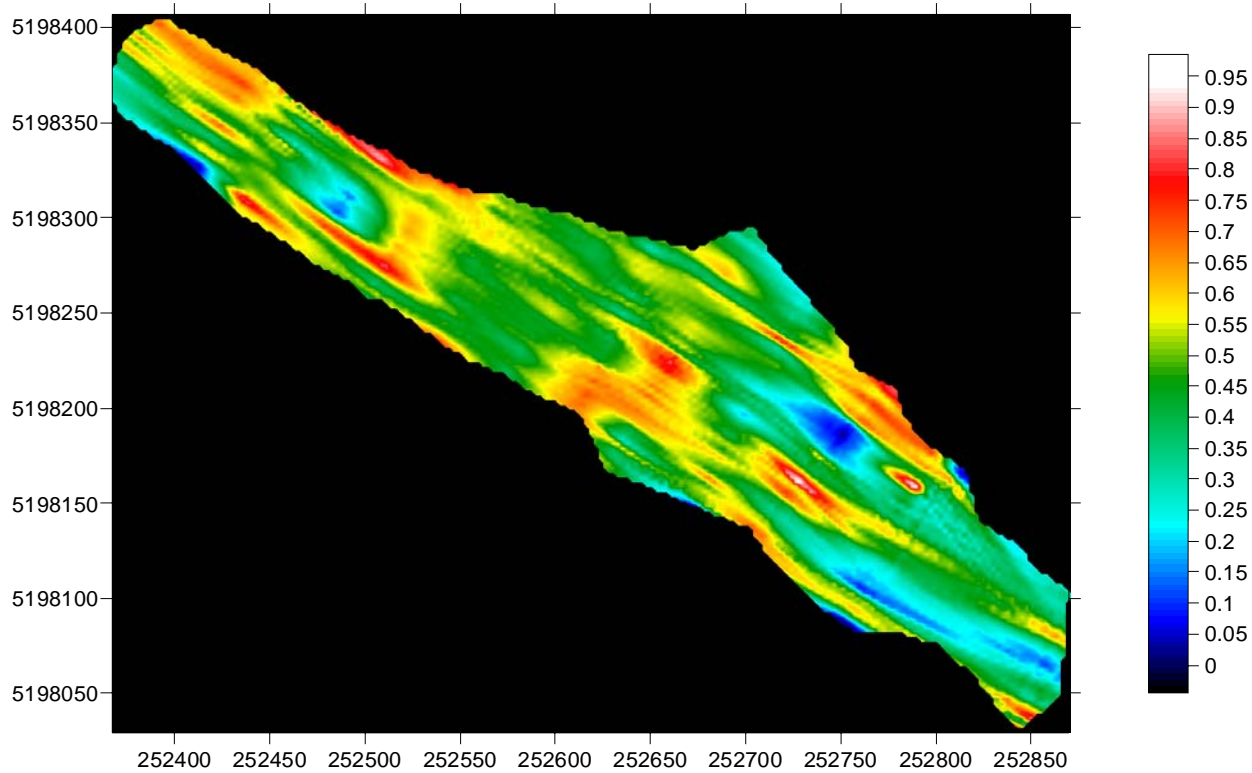


Figure 37 : Épaisseur de la couche d'eau liquide en mètres - 17 mars 2008 – Secteur des Îlets



**Figure 38 : Épaisseur de la couche de frasil sous la glace -
17 mars 2008 – Secteur des Îlets**



**Figure 39 : Épaisseur de la couche de glace solide en mètres -
17 mars 2008 – Secteur des Îlets**

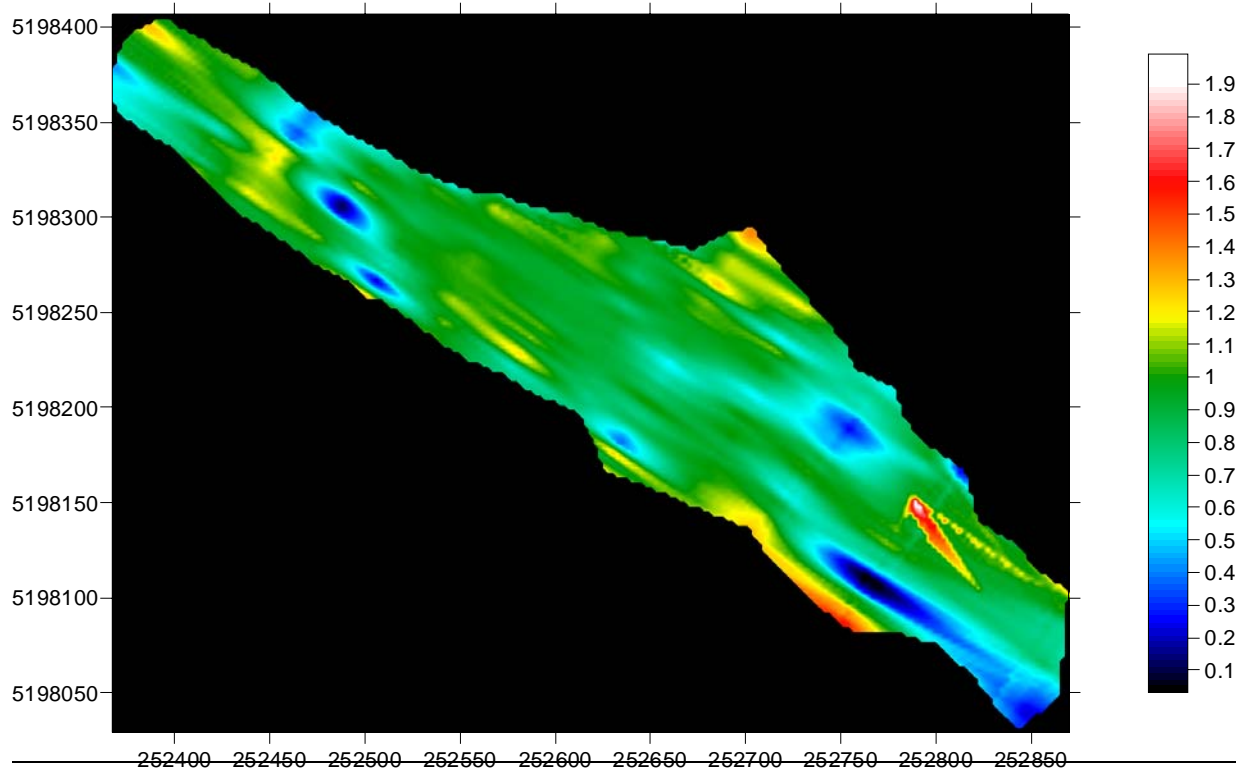


Figure 40 : Épaisseur de la couche de neige en mètres – 17 mars 2008 – Secteur des Îlets

3.2.3 Interprétation

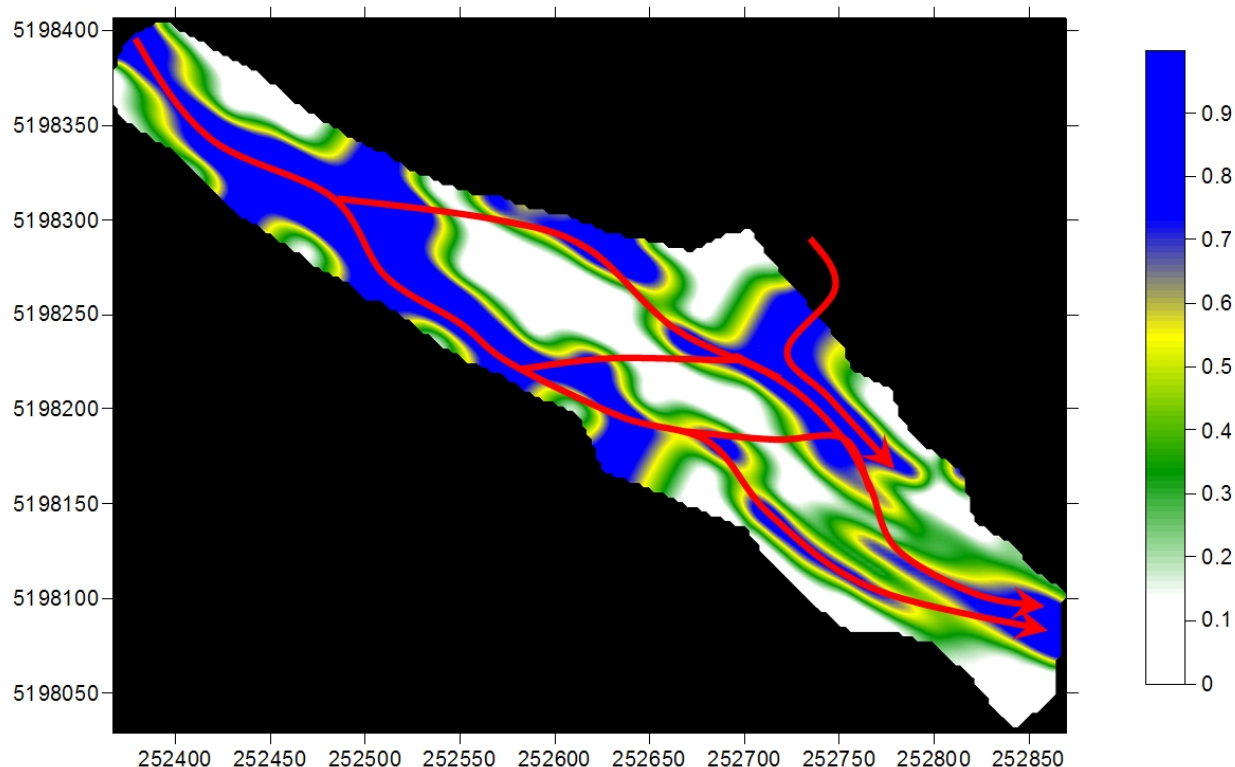
Eau liquide et écoulements sous glace. À la lumière de ces données (Figure 36 et Figure 37), on peut déjà observer que l'écoulement de l'eau en phase liquide se produit tel qu'on s'y attendait dans ou à proximité des zones les plus profondes (thalweg) du lit mineur confirmant ainsi notre hypothèse relative à la formation graduelle et différentielle du couvert de glace. L'écoulement sous la glace est donc structuré en fonction de la dynamique de la prise du couvert de glace, elle-même conditionnée par la topographie. Il est aussi vraisemblable que l'écoulement se produise en charge (sous pression) sous le couvert de glace, avec une valeur de pression sans doute près d'une valeur hydrostatique avec une hauteur d'eau équivalente à celle des différents horizons. En effet, lorsque le débit augmente en hiver suite à des précipitations abondantes (sans débâcle), le débit accru fait augmenter la pression sous le couvert de sorte que des résurgences d'eau se manifestent souvent au-dessus du couvert de glace lors de tels événements.

Il en résulte que la section d'écoulement face aux bassins de captage (Figure 41) est alimentée par deux sources : le cours principal de la rivière et un apport latéral en provenance de plusieurs bras latéraux (ce secteur de la rivière est de type anastomosé ou en tresse) qui convergent tous vers une embouchure commune en rive gauche face aux bassins. Cet apport latéral se produit cependant en aval du site prévu d'implantation de la prise d'eau sous-fluviale de sorte qu'il ne peut pas contribuer au captage. Comme cet apport provient en majorité du cours principal de la rivière plus loin en amont, il se trouve soustrait au débit qui continue de transiter directement en face des bassins.

On peut également observer que le trajet préférentiel de l'eau sous glace en face des bassins se divise en deux afin de contourner un haut-fond important au milieu du lit mineur. Il est à noter ici que des travaux en rivière (excavation du lit mineur en berge) réalisés au cours des dernières années par la Ville ont permis de créer un courant d'appel en direction des installations de pompage superficiel. D'ailleurs, comme nous l'avons aussi constaté pour l'évolution topographique, ces travaux ont eu pour résultat de consolider la structuration des écoulements évoquée autour du banc central d'alluvion qui de son côté tend lui aussi à s'engraisser au cours du temps.

Enfin, on peut observer que toutes ces structures d'écoulement convergent vers une destination commune en aval située plutôt en rive gauche.

En termes de profondeur, les écoulements préférentiels varient entre 0,3 m et 1 m avec des valeurs typiques de 0,5 m. Dans le secteur d'implantation des puits horizontaux, la couche d'eau libre voisine parfois une profondeur de 1 m mais se situe plus généralement à 30-50 cm. Il est aussi notable que c'est dans cette zone que l'écoulement sous glace se trouve le mieux distribué latéralement (voir aussi la Figure 23 et Figure 24 montrant les profils verticaux au site retenu) allant même jusqu'à recouvrir l'ensemble du lit mineur. Ceci semble confirmer l'intérêt du site retenu pour l'implantation des puits horizontaux. Toutefois, le trajet préférentiel de l'eau se situant en général au thalweg, et les zones situées près des rives étant les premières à s'assécher avec l'épaississement des glaces et la récession hydrologique, il est important de tenir compte de ce comportement pour assurer le plus possible un apport d'eau libre à l'aplomb des conduites.



**Figure 41 : Interprétation des trajets préférentiels d'écoulement sous glace à la fin de l'hiver 2008.
Légende des épaisseurs d'eau liquide en mètres**

Frasil. Une couche de frasil dont l'état de consolidation reste à déterminer demeure sous le couvert de glace jusqu'à la fin de l'hiver (Figure 38). Le frasil est formé d'un mélange de particules de glace et d'eau de sorte que son comportement hydrodynamique peut être associé à celui d'un milieu poreux. Il en résulte que, contrairement à la glace solide qui s'y juxtapose, la couche de frasil pourrait participer à alimenter les processus d'infiltration vers les conduites, mais à un taux sûrement inférieur à la couche d'eau liquide.

La présence de ce frasil est possiblement liée à la survenue d'une débâcle importante le 8 janvier 2008 qui a rendu à la surface libre plusieurs kilomètres de la rivière entre l'amont de l'Île-Enchanteresse (habituellement, depuis le secteur des Grands Rapides commençant à l'amont du PK18 par rapport à l'embouchure). Un embâcle important s'est ensuite formé à la hauteur du pont multifonctionnel immédiatement en aval de la rue du Cantaloup (autrefois du Bocage) et à l'amont de la prise d'eau des Îlets. Suite à de tels épisodes, le couvert se reforme très graduellement, habituellement après plusieurs jours, voire semaines, étant donné le débit et les vitesses de courant qui demeurent longtemps trop élevés pour la formation d'un couvert de glace stable. La conséquence est un apport important de frasil produit par le temps froid nocturne mais aussi diurne consécutif (une température extérieure inférieure à -8°C produit du frasil). Le frasil tend alors à poursuivre son chemin à travers l'embâcle et va ensuite se loger sous le couvert de glace resté en place en aval.

En situation normale, soit sans mouvement de glace (typiquement une année sur deux), le frasil se forme en eau libre tant que le couvert de glace n'est pas refermé complètement, et il est donc possible que des accumulations de frasil sous glace semblables à celles observées le 17 mars 2008 puissent également être observées sous un couvert de glace déjà formé en aval, notamment dans les zones de ralentissement du courant.

Les résultats présentés (Figure 38) montrent deux zones d'accumulation principales : à l'amont du site et à l'aval, des endroits présentant des écoulements moins structurés ou plus profonds. Dans les régions moins profondes au centre, le couvert de glace nouvellement formé au début de l'hiver s'appuie très rapidement au fond et ne permet pas le transit et la rétention du frasil. On y retrouve des épaisseurs de frasil allant de 0,1 m à 0,5 m. Dans les zones plus profondes où l'accumulation est possible, l'épaisseur de la couche de frasil atteint typiquement 1 m.

3.3 Caractérisation photographique hivernale

D'autres observations non publiées, visuelles cette fois, ont été réalisées au cours des dernières années afin d'identifier les chemins préférentiels de l'eau sous couvert de glace en partant de l'hypothèse qu'une dépression du niveau du couvert de glace correspond à une zone d'écoulement sous-jacent. En effet, la formation du couvert de glace initial est étroitement associée à la vitesse du courant qui, à son tour, dépend de la profondeur. En général, la vitesse de courant la plus rapide se retrouve dans les zones plus profondes (thalweg), là où le couvert de glace se forme en dernier et progresse le plus lentement en épaisseur. L'apport d'énergie calorifique par l'écoulement, quoique faible, retarde d'autant plus la formation du couvert que la vitesse du courant est rapide. Ainsi, il est possible d'identifier aisément les passages préférentiels du courant sous glace simplement à partir d'une interprétation visuelle du niveau de surface de la glace. Ces observations ont été enregistrées par photographie panoramique et restituées

sommairement dans un repère planimétrique. Toutefois, la présence d'une dépression du niveau de surface en hiver ne garantit pas qu'il subsiste une couche d'eau liquide sous-jacente, de là l'importance de procéder à une caractérisation au géoradar. Il est à noter que lors de la campagne au géoradar, ces zones particulières d'écoulement sous couvert ont été repérées au GPS de poche (Garmin 60CS) lequel est associé à une précision horizontale typique de 3 m dans les conditions d'observation idéales du 17 mars 2008.

La Figure 43 montre différentes vues panoramiques du couvert de glace présent sur l'ensemble du site en décembre 2005 afin de localiser les chemins préférentiels de l'eau liquide en hiver. Les prises de vues ont été réalisées à partir de différents points localisés sur la Figure 41. La couverture nivale était encore minimale sur le site, notamment dû à un épisode de pluie qui avait provoqué un ruissellement superficiel mettant en évidence les dépressions du couvert. Il était donc possible de distinguer les zones préférentielles d'écoulement sous glace révélées par ces dépressions. La Figure 41 présente une interprétation des trajets préférentiels déduits de ces observations.

On remarque que le débit du tronçon est alimenté par le cours principal et par les bras latéraux de la rivière convergeant vers la même embouchure en rive gauche. L'apport latéral ne participe toutefois pas au débit du cours principal au droit du site retenu pour les conduites. Dans le cours principal, l'organisation des écoulements reflète bien sûr la topographie en tresse (anastomosée) du lit mineur à cet endroit et on remarque facilement le fractionnement du débit en deux, voire trois bras principaux immédiatement en aval du site d'implantation des conduites.

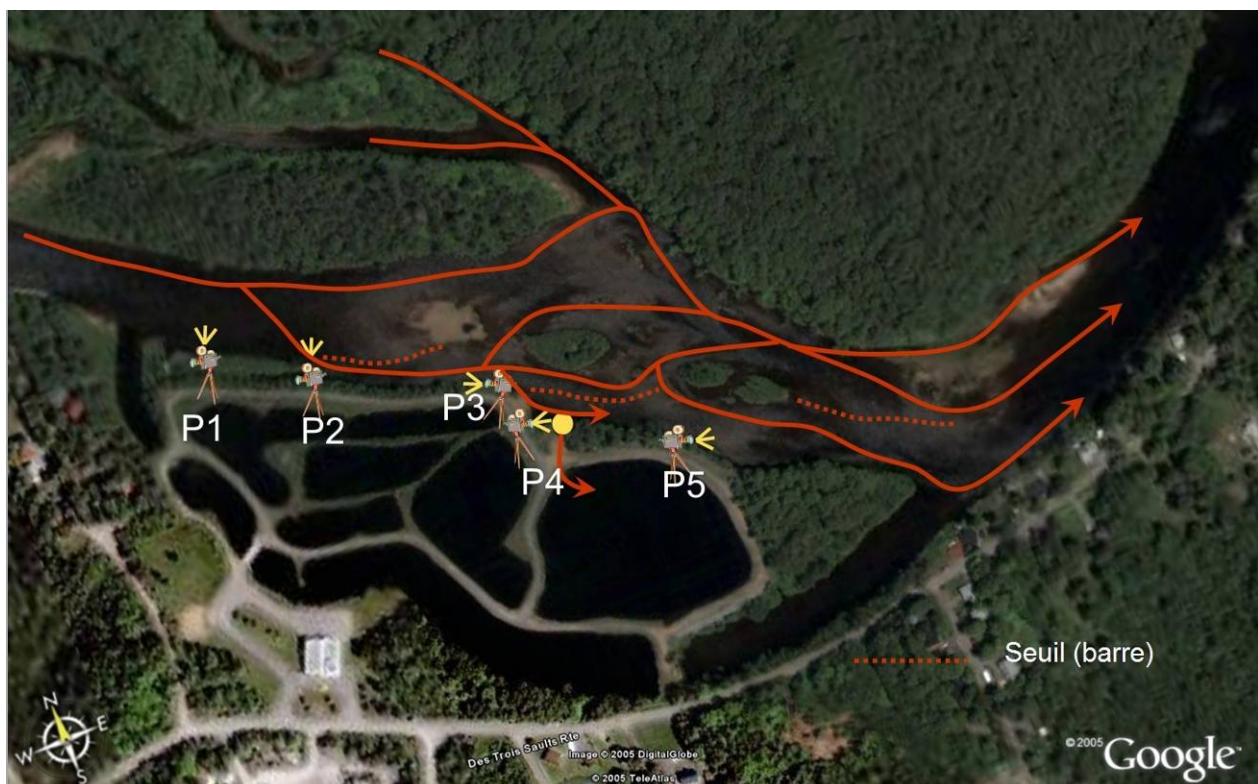


Figure 42 : Interprétation des trajets préférentiels d'écoulement d'après l'interprétation de photographies (P1 à P5) du couvert de glace le 21 décembre 2005

Il n'est pas possible avec ce genre d'information de statuer sur la portée latérale de la présence d'eau libre sous le couvert de glace. À cette époque de l'année, il est toutefois vraisemblable que l'eau liquide fut encore présente partout sur le lit mineur vu que le couvert de glace était encore mince et que la récession hydrologique hivernale ne faisait que commencer.

Cette interprétation vient en appui à l'interprétation fournie des données de géoradar du moins pour ce qui est des trajets préférentiels d'écoulement sous glace. Il n'est pas possible avec ce genre d'information de statuer sur la portée latérale de la présence d'eau libre sous le couvert de glace. À cette époque de l'année, il est toutefois vraisemblable que l'eau liquide soit encore présente partout sur le lit mineur vu que le couvert de glace est encore mince et que la récession hydrologique hivernale ne fait que commencer. Cette interprétation vient en appui à l'interprétation fournie des données de géoradar du moins pour ce qui est des trajets préférentiels d'écoulement sous glace.



Figure 43 : Jeu de photographies prises en décembre 2005 peu après la formation du couvert de glace (P1 à P5 d'ouest en est; voir la figure suivante pour leur disposition et leur interprétation)

4 Analyse de l'emplacement proposé

4.1 Dans le plan

La Figure 44 montre la proposition de positionnement des puits horizontaux à la marge du lit mineur à l'amont des bassins de captage actuel et légèrement en prise avec les talus de protection. Afin d'assurer un approvisionnement suffisant à l'aplomb des conduites, la topographie des lieux actuellement à la cote approximative de 156 m, doit être abaissée afin de permettre à l'eau libre de recouvrir le plancher de la rivière. La section d'écoulement du cours principal s'en trouvera élargie donc augmentée avec pour résultat un ralentissement des courants et une déposition possiblement accrue d'alluvions et de sédiments en période de crue dans ce secteur, possiblement à l'endroit même où l'implantation des conduites est projetée. Ce lieu constitue en effet un site privilégié d'accumulation de débris et de sédiments dans la configuration topographique actuelle. Le nouvel équilibre morpho-sédimentaire sera-t-il entretenu naturellement par les forces tractrices du courant dans la configuration proposée ou celle-ci nécessitera-t-elle des opérations d'entretien périodiques en rivière? Il n'est pas possible avec nos connaissances actuelles de statuer sur ce point. Une modélisation numérique 2D du bief permettrait sans doute de jeter un éclairage additionnel sur ce point.

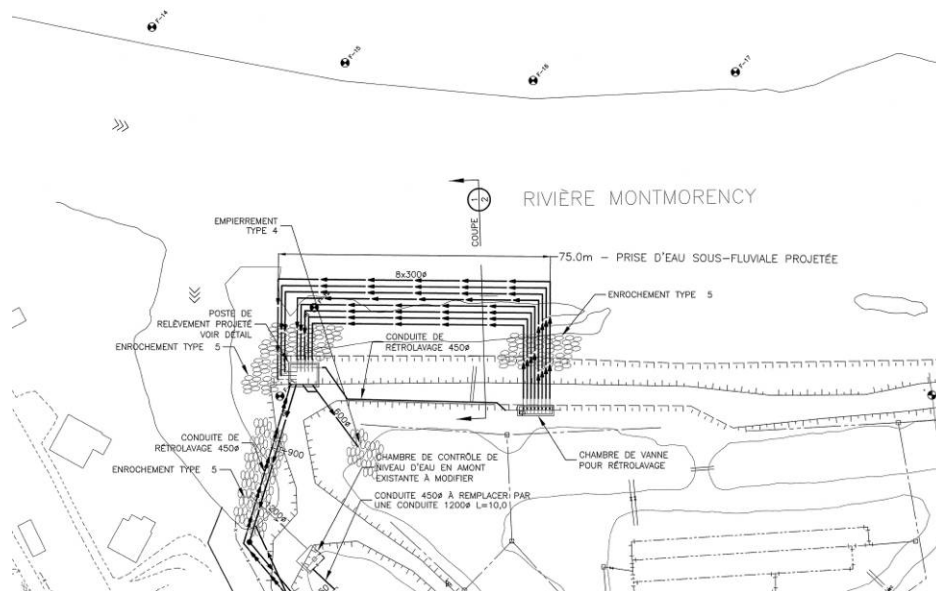


Figure 44 : Emplacement proposé des puits horizontaux (Source : Génio, 2008)

Si des opérations d'entretien devenaient nécessaires, soit sur la couche superficielle, soit au niveau du lit filtrant, voire même des conduites, l'avantage du lieu serait de permettre d'intervenir facilement à partir de la rive (Denis Pinard, Communication personnelle, 2008). Le même raisonnement s'applique à l'étape de la construction avec des activités beaucoup moins invasives sur la rivière et plus sécuritaires durant la mise en place.

Étant donné les réserves émises, il semble plus approprié d'envisager le déplacement latéral du dispositif d'au moins 5 m vers le nord afin de mieux l'exposer aux forces du courant et d'éviter autant que possible les accumulations de débris et de sédiments fins qui ont tendance à s'accumuler sur le site préliminairement retenu.

4.2 En élévation

La Figure 45 montre le positionnement proposé des conduites en élévation. On note que le lit d'infiltration est positionné à la cote 154 m tandis que le radier des conduites est positionné à 151,9 m. Hors tout, le dispositif est donc installé à 2,4 m sous la limite superficielle. La question qui se pose ici est à l'égard de la sécurité du système et sa capacité nominale qui pourraient varier en fonction de la dynamique morphologique du cours d'eau à cet endroit.

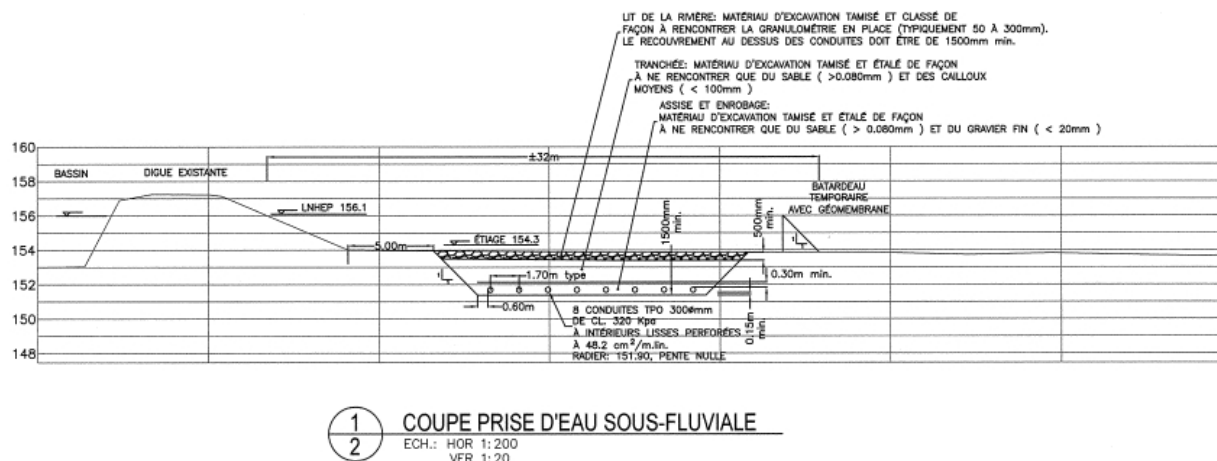


Figure 45 : Positionnement des conduites proposé dans la verticale
(Source : Génio Experts conseils, 2008)

Afin de mieux analyser cette situation, nous présentons une image montrant le positionnement proposé dans le plan sur fond topographique à jour en 2008 (Figure 46). La Figure 47 présente le positionnement en coupe. En implantant la surface du lit filtrant à 154 m, le risque est l'exondation du système de captage au cours ou à la fin de la récession hydrologique hivernale. Une illustration de ceci est donnée à la Figure 24, page 21. On voit que le lit mineur demeure submergé à la cote 153,5 m. À la cote 154 m, il est probable que le lit filtrant s'exonderait en partie ou complètement. D'ores et déjà, il apparaît qu'une cote d'implantation inférieure serait plus appropriée. La fourchette possible pourrait se situer entre 153 m et 153,5 m. Examinons différentes possibilités : 153 m, 153,25 m et 153,4 m.

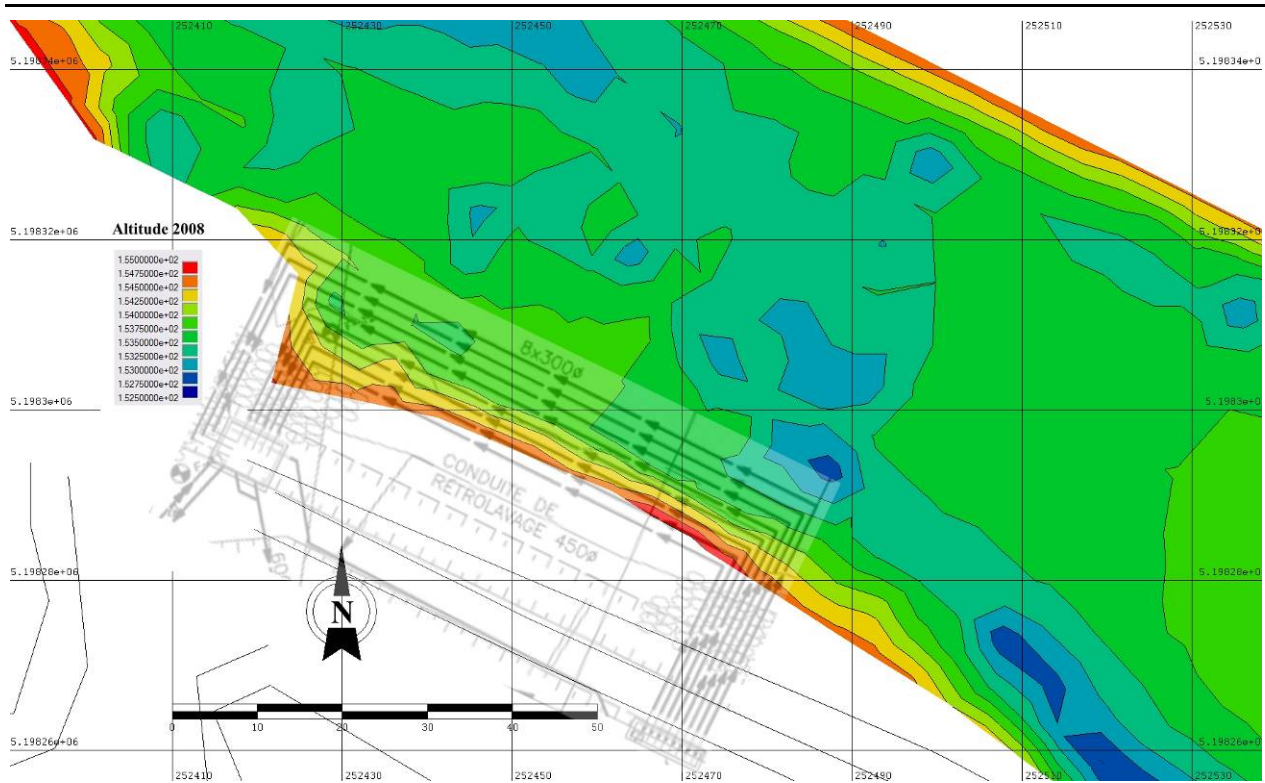


Figure 46 : Positionnement des puits horizontaux par rapport à la topographie 2008

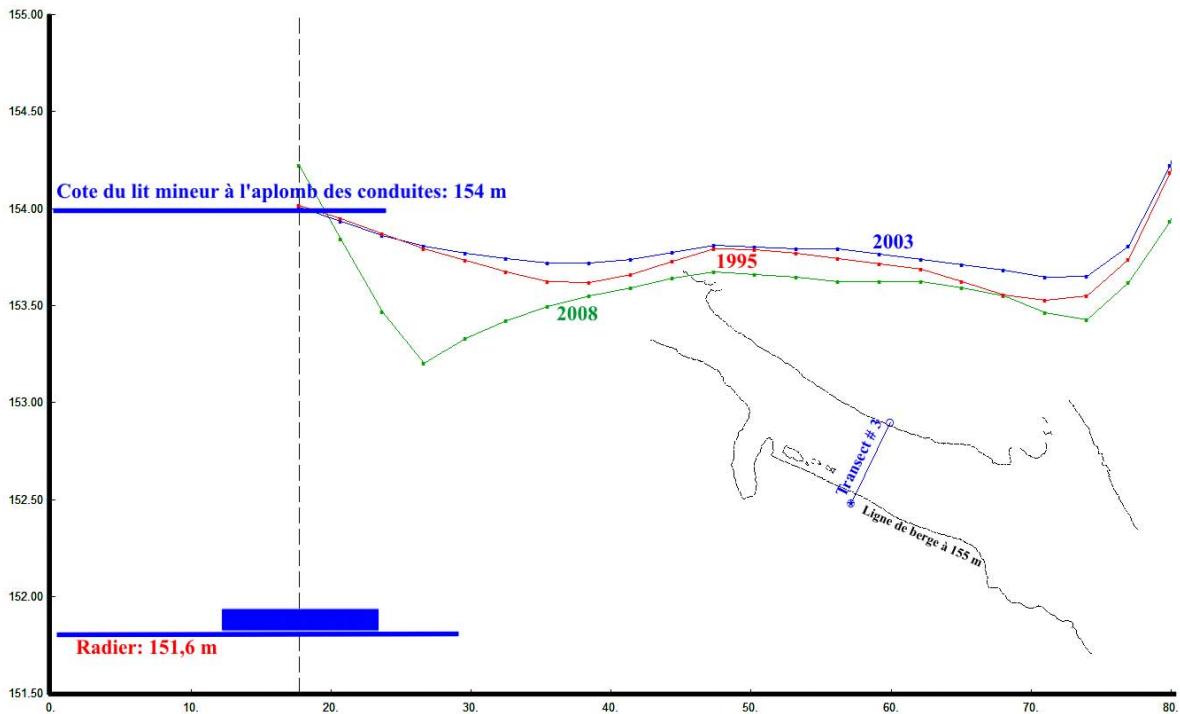


Figure 47: Positionnement projeté des conduites par rapport à l'évolution de la topographie à l'extrémité nord-est du dispositif

-
1. **Cas 153 m** : cette configuration a pour avantage de se situer légèrement plus bas que le niveau actuel du lit mineur au coin nord-est du dispositif. Cette hauteur prolonge en quelque sorte la chenalisation artificielle réalisée en rive au cours des dernières années afin d'attirer le courant de la rivière vers le captage superficiel situé en aval. En revanche, ce surcreusement pourrait avoir pour effet de perturber l'équilibre morpho-sédimentaire de la section d'écoulement, ce qui n'est pas en soi indésirable, mais peut s'avérer difficile à prédire comme en témoigne l'évolution du lit mineur à l'amont du surcreusement déjà réalisé en rive droite. Il est aussi bien connu que le lieu d'implantation des conduites est actuellement propice à l'accumulation de débris végétaux et de particules fines lors des épisodes de crues. Un tel comportement se poursuivrait-il dans la configuration 153 m.? Un déplacement latéral du dispositif pourrait minimiser ce risque mais il semble plus approprié d'envisager un profil plus élevé.
 2. **Cas 153,25 m** : Cette configuration semble assurer une meilleure transition avec le profil chenalisé en rive plus loin en aval qui atteint 153,3 m à la pointe nord-est du dispositif. Par contre, la cote du fond en rive droite à l'extrémité nord-ouest du site se situe plutôt autour de 153,5-153,6 m.
 3. **Cas 153,4 m** : Un compromis entre ces cotes pourrait être 153,4 m. Cette valeur a aussi pour avantage de respecter la continuité du profil en long chenalisé en aval. Elle se situe aussi à une cote comparable à la cote du second thalweg présent en rive gauche (Figure 47; voir aussi la Figure 14 et la Figure 15, page 15 pour les autres profils). À cet endroit, on note aussi la présence d'une barre transversale légèrement en diagonale. Cette structure est positionnée à la cote 153,4 en son point le plus bas (Figure 46).

La position des conduites (radier) étant prévue à 2,4 m sous la surface du lit filtrant, celles-ci devraient donc être implantées à la cote 151,0 m plutôt que 151,6 m si l'option 1,53,4 m était retenue.

5 Conclusions et recommandations

5.1 Conclusions par rapport à l'évolution topographique

L'analyse de trois jeux de données topographiques relevées en 1995, 2003 et 2008 révèle un comportement très dynamique des alluvions dans le secteur. Deux causes principales ont été identifiées : la survenue d'un embâcle entre 2000 et 2003 en face des bassins et le surcreusement artificiel du lit mineur en rive droite à des fins opérationnelles pour le captage superficiel d'eau. Aucun événement de crue majeur, typiquement de période de retour équivalent à la durée de vie utile d'un ouvrage de captage sous-fluvial (disons, 30 ans) ne s'est produit durant la période de référence de sorte qu'il n'est pas possible d'évaluer l'impact morphologique d'un tel événement. Par contre, on note une tendance au ré-équilibre des profils avec les crues périodiques suite à des événements très énergétiques tels que des embâcles.

5.2 Conclusions par rapport au régime des glaces

La réalisation d'une campagne de mesure synoptique des différents horizons d'eau liquide ou solide, rendu possible grâce à un appareil géoradar a permis la cartographie du couvert de glace sur l'ensemble du cours principal de la rivière en face des bassins. L'analyse de la présence d'eau liquide en contact avec les alluvions a révélé que les écoulements résiduels se produisent en charge (sous pression du couvert de glace) et suivent un trajet fortement structuré par la topographie existante. Les observations ont également révélé une présence généralisée de frazil jouxtant le couvert de glace, sans doute généré à surface libre au début de la formation du couvert, ou encore consécutivement à l'embâcle du 17 janvier 2008 à la hauteur du pont multifonctionnel.

5.3 Conclusions par rapport au positionnement des conduites

5.3.1 Dans le plan

La logique d'analyse ici s'appuie sur la présence permanente souhaitable d'eau libre à l'aplomb des conduites et sur l'établissement d'un équilibre alluvionnaire dynamique mais relativement stable du secteur d'implantation. C'est cette configuration qui produit le rendement maximum de captage par les puits horizontaux. Un couvert de glace appuyé au fond à l'aplomb des conduites produirait un rendement réduit à cause d'un chemin d'infiltration allongé tel que l'ont démontré les études précédentes, tandis que des mouvements alluvionnaires de grande amplitude pourraient modifier les valeurs de dimensionnement des conduites (épaisseur de matériaux filtrants notamment).

Il est à noter que seule la région amont de la zone couverte par notre analyse (voir la Figure 44) se trouve visée par la configuration des différentes couches d'eau sous ses différentes phases. D'après les observations réalisées au géoradar, l'ensemble du lit mineur y est en contact avec la couche d'eau liquide même à la fin de l'hiver. À cet égard, le site retenu semble généralement se situer dans la plus propice des sections d'écoulement caractérisées à cause d'une distribution plus uniforme de la lame d'eau liquide.

Toutefois, sans doute pour de plus grandes facilités de construction et d'entretien, la position latérale proposée des conduites dans la section hydraulique se situe à la marge du lit mineur et nécessite même un léger retrait de la ligne de berge actuelle et une reconfiguration du talus de protection des bassins à la même hauteur. Ce site étant actuellement l'objet de processus d'accumulation de débris végétaux et d'alluvions, possiblement fins, lors des crues et embâcles, il apparaît plus prudent sinon souhaitable de distancer un peu plus le dispositif par rapport à la rive actuelle afin de maximiser la submersion du lit mineur à tout moment de l'année. Le cas échéant, il faudra ajuster la position du talus qui le jouxte en conséquence afin de préserver les avantages du site en phases de construction et d'entretien. De plus, il faudrait éviter de réduire la section d'écoulement en crue par un empiètement trop considérable lié au déplacement vers le thalweg de la ligne de berge. Enfin, si la modification de la section d'écoulement à cet endroit entraînait un déplacement du trajet préférentiel du débit en rive droite, il faudrait surveiller étroitement les conséquences possiblement érosives vis-à-vis du site ainsi qu'à l'amont du fossé de ceinture en rive droite.

Recommandation # 1. Longitudinalement, le site d'implantation des puits horizontaux à la hauteur de la section retenue semble le plus propice et devrait être conservé.

Recommandation # 2. Il est toutefois recommandé de considérer le déplacement latéral du dispositif sous-fluvial légèrement vers le large (5 m ou plus) afin de perturber le moins possible la configuration actuelle d'écoulement qui semble relativement stable malgré une morphologie relativement très dynamique dans le secteur, et de soumettre le plus possible la couche superficielle du dispositif aux forces tractrices du courant.

Recommandation # 3. Le cas échéant (recommandation # 2), un suivi morphosédimentaire devrait être réalisé périodiquement afin de s'assurer du bon comportement de la rivière par

rapport au dispositif. La fréquence devrait être liée à la survenue d'événements très énergétiques comme une crue importante (période de retour de 10 ans ou plus), ou encore, suite à un embâcle se produisant dans le secteur.

Recommandation # 4 : Il est recommandé de mettre à jour le modèle hydrodynamique 2D du secteur d'étude (Leclerc *et al.*, 1998; Heniche *et al.*, 1999) comme mécanisme de mise à jour et de suivi de l'hydrodynamique. La mise à jour devrait être envisagée dès qu'un changement morphologique important est enregistré, y compris avec la topographie mise à jour en 2008.

5.3.2 En élévation

La logique d'analyse ici porte sur l'optimisation de l'efficacité du captage liée à la submersion permanente du lit filtrant en toutes saisons, d'une part, et à la sécurité du dispositif par rapport aux mouvements verticaux du lit mineur liés aux processus morpho-sédimentaires (crues et embâcles). La recherche d'un équilibre morpho-sédimentaire relatif dans le secteur est aussi souhaitable afin de conserver autant que possible les caractères du cours d'eau sur lesquels s'appuient les critères de conception, notamment l'épaisseur du lit filtrant. En conséquence,

Recommandation # 5 : La cote du lit mineur à l'aplomb des conduites devrait être fixée à 153,4 m plutôt que 154 m tel qu'initialement proposé.

Recommandation # 6 : Les conduites devraient être implantées à la cote à la cote maximale de 151,0 m (radier) afin de préserver le paramètre de conception relatif à l'épaisseur du lit filtrant.

Recommandation #7 : Afin de se prémunir contre une dérive de l'épaisseur ou de l'efficacité du captage dans le lit filtrant, possiblement liée à la sédimentation superficielle, à l'exondation liée à un bas niveau d'eau hivernal ou à la présence de glace de fond, il est recommandé de dimensionner le dispositif (longueur des conduites) avec un coefficient de sécurité suffisant pour faire face à ces conditions.

5.4 Recommandations par rapport à la couche superficielle du lit filtrant

Quoique le mandat ne prévoyait pas d'analyse détaillée du dimensionnement des matériaux superficiels du lit filtrant (couche protectrice), nous avons examiné les données disponibles sur le site issues d'études antérieures (ex : Leclerc *et al.*, 1998; Heniche *et al.*, 1999). La calibration d'un modèle hydrodynamique avait été effectuée avec un coefficient de Manning local de la section ciblée de 0,035. Cette valeur correspond à une *taille médiane* de matériaux relativement homogène de 300 mm formant la couche superficielle du lit dans le thalweg. Cette taille dominante assez grande illustre bien le dynamisme hydraulique du secteur sur lequel on compte pour favoriser le nettoyage naturel des sédiments fins apportés par les crues de faible amplitude ou captés lors du pompage.

Recommandation # 8 : Il est donc recommandé de mettre en place en surface du lit filtrant un matériau possiblement hétérogène, issu localement du lit mineur du cours d'eau, mais ayant

typiquement les mêmes caractéristiques dominantes de taille médiane qu'on retrouve transversalement dans le thalweg de la rive gauche, soit 300 mm. Cette spécification devrait toutefois faire l'objet d'une validation terrain finale lors de la mise en place du lit filtrant.

Bibliographie

- Gilman, D.L., F.J. Fuglister, & J.M. Mitchell, Jr. (1963). On the power spectrum of "red noise". *J. Atmos. Sci.*, **20**, 182-184.
- 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.
- Lau, K.-M. & H.-Y. Weng (1995). Climate signal detection using wavelet transform: How to make a time series sing. *Bull. Am. Meteor. Soc.*, **76**, 2391-2402.
- 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.
- 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 p.
- Torrence, C. & G.P. Compo (1998). A Practical Guide to Wavelet Analysis. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **79**, 61-78.
- Weng, H. & K.-M. Lau (1994). Wavelets, period doubling, and time-frequency localization with application to organization of convection over the tropical western Pacific. *J. Atmos. Sci.*, **51**, 2523-2541.