

Réaménagement de la passe migratoire, de la fosse 9 et approvisionnement en eau des étangs de la rivière à Mars

Étude hydrogéomorphologique

Contact Nature Rivière-à-Mars

Version finale

Numéro du projet: 60581879

Mai 2019

Réserves et Limites

Le rapport ci-joint (le « Rapport ») a été préparé par AECOM Consultants Inc. (« Consultant ») au bénéfice du client (« Client ») conformément à l'entente entre le Consultant et le Client, y compris l'étendue détaillée des services (le « Contrat »).

Les informations, données, recommandations et conclusions contenues dans le Rapport (collectivement, les « Informations ») :

- sont soumises à la portée des services, à l'échéancier et aux autres contraintes et limites contenues au Contrat ainsi qu'aux réserves et limites formulées dans le Rapport (les « Limites »);
- représentent le jugement professionnel du Consultant à la lumière des Limites et des standards de l'industrie pour la préparation de rapports similaires;
- peuvent être basées sur des informations fournies au Consultant qui n'ont pas été vérifiées de façon indépendante;
- n'ont pas été mises à jour depuis la date d'émission du Rapport et leur exactitude est limitée à la période de temps et aux circonstances dans lesquelles elles ont été collectées, traitées, produites ou émises;
- doivent être lues comme un tout et, par conséquent, aucune section du Rapport ne devrait être lue hors de ce contexte;
- ont été préparées pour les fins précises décrites dans le Rapport et le Contrat;
- dans le cas de conditions souterraines, environnementales ou géotechniques, peuvent être basées sur des tests limités et sur l'hypothèse que de telles conditions sont uniformes et ne varient pas géographiquement ou dans le temps.

Le Consultant est en droit de se fier sur les informations qui lui ont été fournies et d'en présumer l'exactitude et l'exhaustivité et n'a pas l'obligation de mettre à jour ces informations. Le Consultant n'accepte aucune responsabilité pour les événements ou les circonstances qui pourraient être survenus depuis la date à laquelle le Rapport a été préparé et, dans le cas de conditions souterraines, environnementales ou géotechniques, n'est pas responsable de toute variation dans de telles conditions, que ce soit géographiquement ou dans le temps.

Le Consultant convient que le Rapport représente son jugement professionnel tel que décrit ci-dessus et que l'Information a été préparée dans le but spécifique et pour l'utilisation décrite dans le Rapport et le Contrat, mais ne fait aucune autre représentation ou garantie de quelque nature que ce soit, expresse ou implicite, en ce qui concerne le Rapport, les Informations ou toute partie de ceux-ci.

Sans limiter de quelque façon la généralité de ce qui précède, toute estimation ou opinion fournies par le Consultant concernant les coûts et l'échéancier de travaux construction ou de toute autre activité professionnelle décrite dans le Contrat représentent le jugement professionnel du Consultant à la lumière de son expérience et de la connaissance et des informations dont il dispose au moment de la préparation du Rapport. N'ayant aucun contrôle sur le marché, les conditions économiques, le prix de la main-d'œuvre, du matériel et des équipements de construction ou les procédures d'appel d'offres, le Consultant, ses administrateurs, dirigeants et employés ne sont en mesure de faire aucune représentation ou garantie de quelque nature que ce soit, expresse ou implicite, quant à l'exactitude de ces estimations et opinions ou quant à l'écart possible entre celles-ci et les coûts et échéanciers de construction réels ou de toute autre activité professionnelle décrite dans le Contrat, et n'acceptent aucune responsabilité pour tout dommage ou perte découlant ou lié de quelque façon à celles-ci. Toute personne se fiant sur ces estimations ou opinions le fait à ses propres risques.

À moins que (1) le Consultant et le Client n'en conviennent autrement par écrit; (2) que ce soit requis en vertu d'une loi ou d'un règlement; ou (3) que ce soit utilisé par un organisme gouvernemental révisant une demande de permis ou d'approbation, seul le Client est en droit de se fier ou d'utiliser le Rapport et les Informations.

Le Consultant n'accepte et n'assume aucune responsabilité de quelque nature que ce soit envers toute partie, autre que le Client, qui pourrait avoir accès au Rapport ou à l'Information et l'utiliser, s'y fier ou prendre des décisions qui en découlent, à moins que cette dernière n'ait obtenu l'autorisation écrite préalable du Consultant par rapport à un tel usage (« Usage non conforme »). Tout dommage, blessure ou perte découlant d'un Usage non conforme du Rapport ou des Informations sera aux propres risques de la partie faisant un tel Usage.

Ces Réserves et Limites font partie intégrante du Rapport et toute utilisation du Rapport est sujette à ces Réserves et Limites.

Informations de qualité

Préparé par	Vérifié par	Vérifié (AQ) par	Approuvé par
			
Fabien Hugue Hydrogéomorphologue	Joanna Eyquem P.Geo. Hydrogéomorphologue principale	Jacques Langlois Géomorphologue Vérificateur de qualité	Sylvain Daraïche. Gestionnaire de projet

Historique des révisions

Révision	Date de révision	Détails	Autorisé	Nom	Position
01	Avril 2019	Préliminaire	29 avril 2019	Sylvain Daraïche	Gestionnaire de projet
02	Mai 2019	Final	29 mai 2019	Sylvain Daraïche	Gestionnaire de projet

Liste de distribution

# Des copies papier	PDF requis	Support Numérique	Association / Nom de l'entreprise
2	Oui	Photos terrain et Shapefiles	Contact Nature Rivière-à-Mars

Préparé pour:

Contact Nature Rivière-à-Mars

Préparé par:

AECOM Canada Ltd
85, rue Sainte-Catherine Ouest
Montreal, QC H2X 3P4
Canada

T: 514.287.8500
F: 514.287.8600
aecom.com

© 2019 AECOM Canada Ltd.. Tous droits réservés.

Ce document a été préparé par AECOM Canada Ltd. (ci-après "AECOM") à l'usage exclusif de notre client (ci-après le "Client") conformément aux principes de consultation généralement reconnus, au budget d'honoraires et aux conditions dont ont convenu AECOM et le Client. Toute information fournie par des tiers et mentionnée aux présentes n'a pas été vérifiée par AECOM, sauf si on précise explicitement le contraire dans le document. Aucun tiers ne peut s'appuyer sur le présent document sans l'autorisation préalable, expresse et écrite d'AECOM

Table des matières

1. Introduction	1
1.1 Objectifs de l'étude	2
1.2 Zone d'étude	3
2. Hydrogéomorphologie – quelques concepts	7
2.1 Ajustement des cours d'eau	7
2.2 Le concept du niveau d'eau « plein bord »	7
2.3 Des systèmes « confinés » et « non confinés »	8
2.4 L'espace de liberté	9
3. État des connaissances existantes	11
3.1 Données disponibles	11
3.2 Caractérisation du bassin versant	11
3.3 Études, évènements et interventions antérieurs	17
4. Délimitation des tronçons géomorphologiques	19
5. Travail sur le terrain	21
5.1 Caractérisation des tronçons	21
5.2 Évaluation géomorphologique rapide	21
5.3 Questionnaire SIG et photographies géolocalisées	22
5.4 Relevé quantitatif	22
6. Détermination des secteurs sensibles pour l'équilibre géomorphologique	25
6.1 Résultats de l'évaluation géomorphologique rapide	25
6.2 Résultats de l'étude sur la capacité de transport dans les tronçons étudiés	26
7. Recommandations pour l'aménagement du cours d'eau et du bassin versant	31
7.1 Recommandations spécifiques	31
7.2 Recommandations pour la gestion du cours d'eau à long terme	40
Références	43

Annexes

- Annexe A : Méthode d'évaluation géomorphologique rapide
- Annexe B : Cartographie des zones inondables dans la partie aval de la rivière à Mars (aval du barrage des murailles)
- Annexe C : Représentation graphique des sections transversales effectuées sur le terrain
- Annexe D : Représentation graphique des profils en longs effectués sur le terrain
- Annexe E : Graphiques des répartitions granulométriques dans le lit de la rivière à Mars

Figures

Figure 1-1 :	Localisation du bassin versant de la rivière à Mars (bassin en rouge) dans la région du Saguenay au Québec.....	4
Figure 1-2 :	Schéma de la région du Saguenay montrant les pôles urbains (polygones roses). La ville de La Baie, située au numéro 14, est traversée par la rivière à Mars juste avant sa confluence avec le Fjord (d'après le schéma d'aménagement et de développement de la ville de Saguenay, 2011).	4
Figure 1-3 :	Localisation des deux sites d'étude le long de la portion aval de la rivière à Mars.	5
Figure 2-1 :	Les dimensions du chenal au niveau plein bord	8
Figure 2-2 :	Systèmes confinés et non confinés.....	8
Figure 3-1 :	Carte des écorégions du Saguenay–Lac-Saint-Jean, montrant le contexte physiographique de la rivière à Mars (localisé dans le cercle rouge)	12
Figure 3-2 :	Géologie du Quaternaire le long de la section aval de la rivière à Mars (tiré du Système d'information géominière du Québec)	13
Figure 3-3 :	Topographie du bassin versant de la rivière à Mars et de la zone d'étude	14
Figure 3-4 :	Superficie de l'occupation du sol dans le bassin versant de la rivière à Mars.....	15
Figure 3-5 :	Carte de l'occupation du sol du bassin versant de la rivière à Mars (source : MELCC).....	16
Figure 3-6 :	Cartographie des zones inondables (grand courant et faible courant) de 2001 de la rivière à Mars disponible sur le site du MELCC. Les feuillets sont disponibles à l'annexe B.....	17
Figure 4-1 :	Tronçons hydrogéomorphologiques délimités dans la zone d'étude	20
Figure 5-1 :	Cartographie des relevés de terrain effectués les 11 et 12 septembre 2018.	23
Figure 6-1 :	Schéma conceptuel de la formation d'un pavage à la surface du lit d'un cours d'eau en dégradation.	29
Figure 7-1 :	Photographie de la zone d'accumulation de sédiments située en aval de la passe migratoire, nécessitant un curetage annuel	32
Figure 7-2 :	Schéma du scénario 2 indiquant le potentiel lié au renforcement du seuil de Énergir en aval.	32
Figure 7-3 :	Schéma de l'aménagement d'une butée sur le barrage Roméo-Tremblay permettant de dévier le courant vers le banc d'accumulation (scénario 3).	33
Figure 7-4 :	Schéma de la réorientation du chenal en amont du barrage Roméo-Tremblay pour favoriser l'écoulement vers le banc d'accumulation (scénario4).....	34
Figure 7-5 :	Exemple d'une passe migratoire naturalisée étant en continuité avec le cours d'eau et le transit sédimentaire (source : https://www.beckmanmill.org/fish-ladder).	34
Figure 7-6 :	Profil en long de la rivière à Mars au niveau des étangs 7 et 8, montrant les conditions actuelles de la prise d'eau (bleu) et le potentiel de restauration donné par le scénario 1 (orange).....	37
Figure 7-7 :	Profil en long de la rivière à Mars au niveau des étangs 7 et 8, montrant la possibilité de rallonger la conduite de la prise d'eau (scénario 2). Le triangle rouge désigne la position d'un seuil en enrochement.....	37
Figure 7-8 :	Cartes des stations piézométriques indiquant (a) les débits et (b) les niveaux de nappes par rapport au sol	38
Figure 7-9 :	Exemple de seuil en enrochement proposé dans le scénario 4 (crédit photo : Miroslav Chum).....	38
Figure 7-10 :	Schéma de l'aménagement des seuils dans le tronçon à l'étude indiquant le bénéfice de la recharge multiple sur la modification de la pente locale (source : Elkins et al., 2007).....	39

Photos

Photo 1-1 :	Enrochements le long de la rivière à Mars pour stabiliser les berges à la suite du déluge du Saguenay en 1996.	1
Photo 1-2 :	Le barrage Roméo-Tremblay et sa passe migratoire permettant la montaison des espèces anadromes dans la rivière à Mars au PK-3.3 (vue vers la rive droite)	2
Photo 7-1 :	Évidences au terrain des enjeux au niveau du seuil entre les fosses 9 et 10 (a) fond de rivière argileux indiquant un niveau de dégradation record; (b) incision du seuil en rive gauche et déstabilisation des enrochements.	36

Tableaux

Tableau 2-1 :	Termes hydrogéomorphologiques utilisés dans l'évaluation rapide géomorphologique.....	7
Tableau 4-1 :	Description des tronçons hydrogéomorphologiques et limites amont-aval.....	19
Tableau 5-1 :	Évaluation géomorphologique rapide - Classification	21
Tableau 6-1 :	Résultats de l'évaluation géomorphologique rapide dans les zones d'étude de la rivière à Mars (voir section 5.2 pour plus de détails sur cette méthode)	25
Tableau 6-2 :	Dimensions du chenal et contrainte de cisaillement moyenne sur les sections de la rivière à Mars.....	27
Tableau 6-3 :	Capacité de transport versus compétence pour un substrat de granulométrie inférieur ou égal à D_{50} au niveau des transects étudiés	28
Tableau 6-4 :	Capacité de transport versus compétence pour un substrat de granulométrie inférieur ou égal à D_{90} au niveau des transects étudiés.	28
Tableau 7-1 :	Scénarios proposés pour le réaménagement de la passe migratoire	35
Tableau 7-2 :	Scénarios proposés pour le réapprovisionnement de la prise d'eau des étangs 7 à 9	40

1. Introduction

La rivière à Mars est un cours d'eau faisant partie des bassins versants du Saguenay. Comme la plupart des cours d'eau qui ont été touchés par les inondations catastrophiques en 1996, la rivière à Mars est toujours en phase d'ajustement post-déluge. Une des solutions préconisées à la suite de ces inondations fut de construire des enrochements sur les berges de la rivière à Mars afin de contenir l'écoulement dans son lit (voir photo 1-1). Bien que cette intervention permette de stabiliser le cours d'eau, elle a pour effet de le confiner et de réduire l'apport en sédiments provenant de ses berges. Un cours d'eau naturel considéré comme « stable » ne signifie pas forcément qu'il est à l'état statique. Au contraire, il existe naturellement un équilibre dynamique entre les sédiments provenant de l'amont et des berges, les sédiments transitant dans un tronçon de rivière et les sédiments érodés et transportés vers l'aval. Lorsque ce continuum est brisé le long de ce processus, il y a un déséquilibre. Dans le cas de la rivière à Mars, le confinement du chenal d'écoulement par l'enrochement a diminué les apports de sédiments et a ainsi provoqué l'incision de son lit pour maintenir son équilibre sédimentaire.



Photo 1-1 : Enrochements le long de la rivière à Mars pour stabiliser les berges à la suite du déluge du Saguenay en 1996.

La rivière à Mars est un cours d'eau très prisé pour la pêche sportive en raison de la présence de deux espèces de poissons d'intérêt, soit le saumon atlantique et l'omble de fontaine anadrome du Saguenay. Or, la montaison de ces espèces a diminué au cours des dernières années en raison de la dégradation de leurs habitats entre l'embouchure du cours d'eau à La Baie et le barrage des Murailles situé à environ 12 km en amont. Les enjeux peuvent être divisés entre les contraintes potentielles sur le passage des poissons et l'état des habitats fauniques adjacents.

Les secteurs les plus problématiques pour le **passage des poissons** ont été identifiés par Contact Nature Rivière-à-Mars (i) à la passe migratoire du barrage Roméo-Tremblay (photo 1-2) et (ii) au niveau du seuil localisé entre la fosse 9 et la fosse 10 :

- À la base de la passe migratoire, un alluvionnement se produit, venant obstruer l'entrée de l'échelle à poisson. Pour pallier cette situation, et ainsi aider les poissons anadromes à franchir le barrage Roméo-Tremblay, des travaux mécaniques de dragage sont réalisés annuellement au pied de la passe migratoire.
- Au seuil en amont de la fosse 9, des changements de la configuration du cours d'eau pourraient avoir un impact sur la libre circulation des poissons. En effet, une dégradation importante du lit s'est produite à la base du seuil au niveau des fosses 8 et 9, ce qui tend à accroître la hauteur du seuil situé entre les fosses 9 et 10. De plus, une brèche s'est formée en rive gauche sur le seuil due à l'incision du lit, modifiant les conditions hydrodynamiques sur le seuil.



Photo 1-2 : Le barrage Roméo-Tremblay et sa passe migratoire permettant la montaison des espèces anadromes dans la rivière à Mars au PK-3.3 (vue vers la rive droite)

L'état des habitats fauniques est aussi affecté par l'incision du lit de la rivière dans son ensemble. Les modifications du régime morpho-sédimentologique de la rivière à Mars observées dans les dernières années ont mené à la perte d'habitats fauniques due à l'innascibilité de l'eau à des étangs artificiels qui ont été aménagés dans la zone d'étude, à la suite de l'incision du chenal principal et à la déconnection de la prise d'eau. L'an dernier, des débits inférieurs à 3 m³/s n'ont pas permis d'alimenter les étangs 7, 8 et 9 situés en amont, dû à l'incision du chenal.

Les sections suivantes du chapitre 1 présentent les objectifs de l'étude ainsi que la zone d'étude.

1.1 Objectifs de l'étude

Dans le but de proposer des solutions durables en lien avec la restauration des habitats du poisson, cette étude vise à évaluer les enjeux géomorphologiques le long de la portion aval de la rivière à Mars entre le barrage des Murailles et la ville de La Baie, située à la confluence avec la baie des Ha! Ha!.

Plus spécifiquement, l'étude a pour objectif, dans un premier temps, d'identifier les conditions morpho-sédimentaires présentes :

- entre les fosses 9 à 12 (incluant la passe migratoire) et
- au niveau de la prise d'eau des étangs 7 à 9.

Par la suite, des scénarios d'aménagement sont proposés, qui permettront de restaurer des conditions favorables et durables pour l'habitat du poisson.

Il est recommandé que les scénarios d'aménagement soient entrepris dans un contexte de suivi morpho-sédimentologique à long terme, qui pourrait être réalisé en collaboration avec les chercheurs de l'Université du Québec à Chicoutimi (Dr Maxime Boivin, UQAC).

1.2 Zone d'étude

La rivière à Mars prend sa source dans les hautes-terres du Plateau laurentien, s'écoule du sud vers le nord en direction du Fjord du Saguenay dans lequel elle se jette 100 km plus loin au niveau de la baie des Ha! Ha! (figure 1-1). La presque totalité de son territoire draine le relief du Bouclier canadien dans des vallées confinées. À la sortie du Plateau laurentien, soit environ 12 km en amont de la confluence avec le Fjord, le barrage des Murailles marque la fin de la section confinée et la rivière à Mars méandre dans les basses-terres du Saguenay où elle s'écoule d'ouest en est, en direction de la ville de La Baie (figure 1-2).

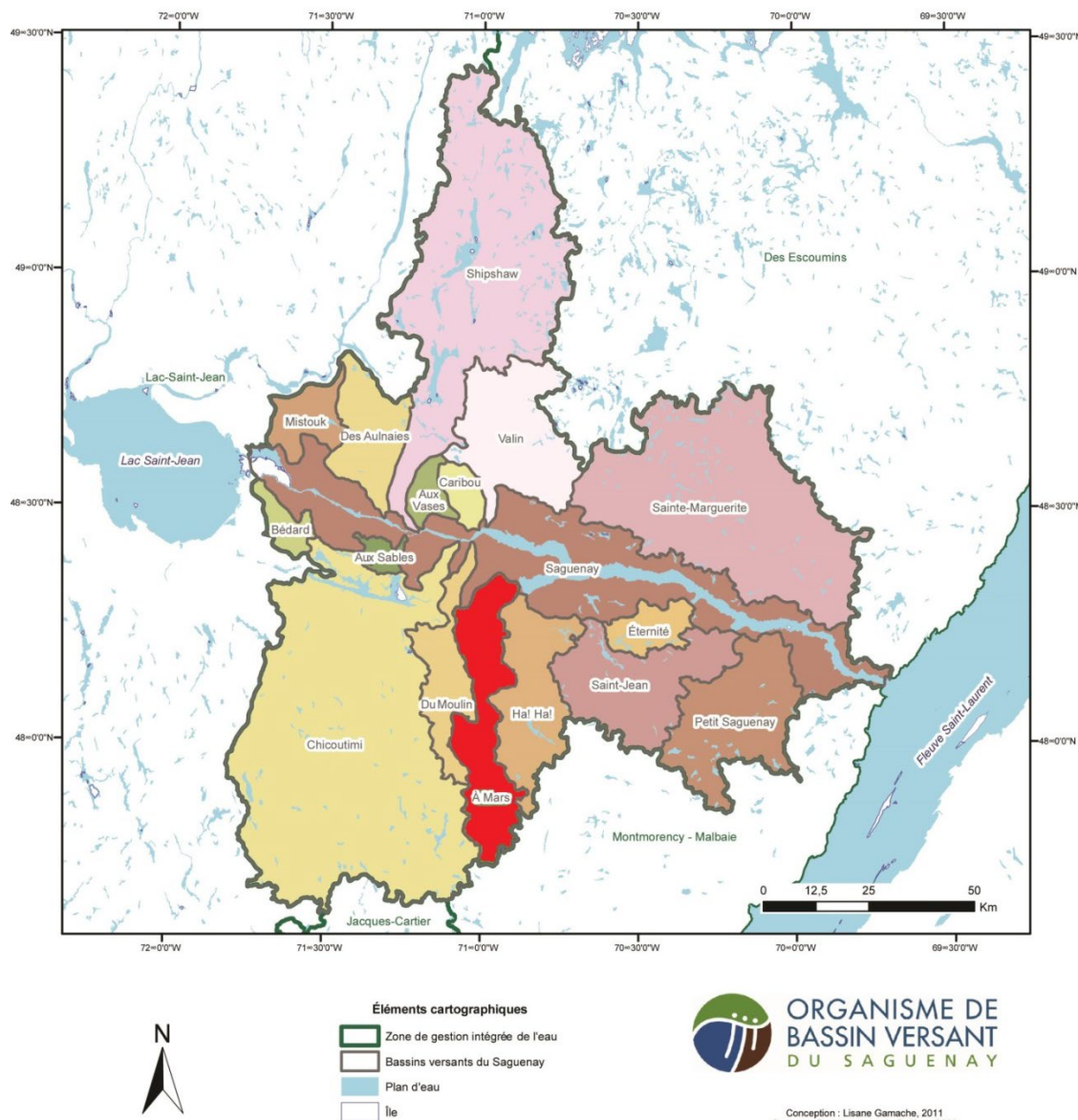


Figure 1-1 : Localisation du bassin versant de la rivière à Mars (bassin en rouge) dans la région du Saguenay au Québec

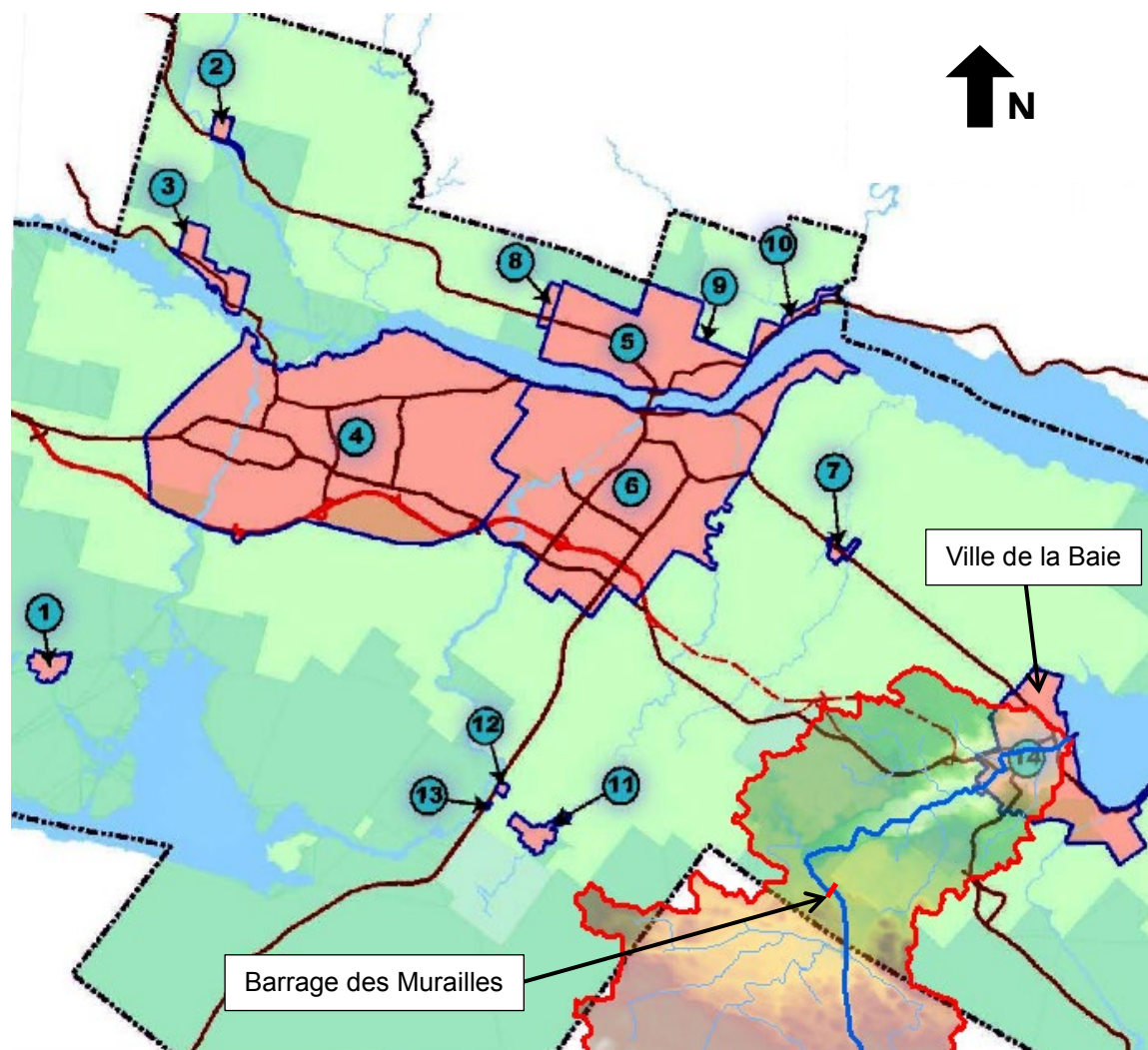


Figure 1-2 : Schéma de la région du Saguenay montrant les pôles urbains (polygones roses). La ville de La Baie, située au numéro 14, est traversée par la rivière à Mars juste avant sa confluence avec le Fjord (d'après le schéma d'aménagement et de développement de la ville de Saguenay, 2011).

C'est dans le dernier segment de 12 kilomètres en amont de la confluence avec le Fjord jusqu'au barrage des Murailles que les processus fluviaux sont dynamiques, et ce, dans la zone la plus urbanisée du bassin versant. La zone d'étude se concentre donc sur cette portion de la rivière à Mars et plus particulièrement au niveau de deux sites d'études (figure 1-3) :

- Tronçon situé point kilométrique PK-3.3 (depuis la confluence avec le Fjord) en aval du barrage Roméo-Tremblay, incluant le seuil entre les fosses 9 et 10 (PK-3.0) et la passe migratoire en amont de la fosse 12 (PK-3.3; photo 1-2).
- Tronçon situé au PK-7.3 en aval du pont de la voie ferrée, au niveau de la prise d'eau des étangs artificiels 7, 8 et 9.

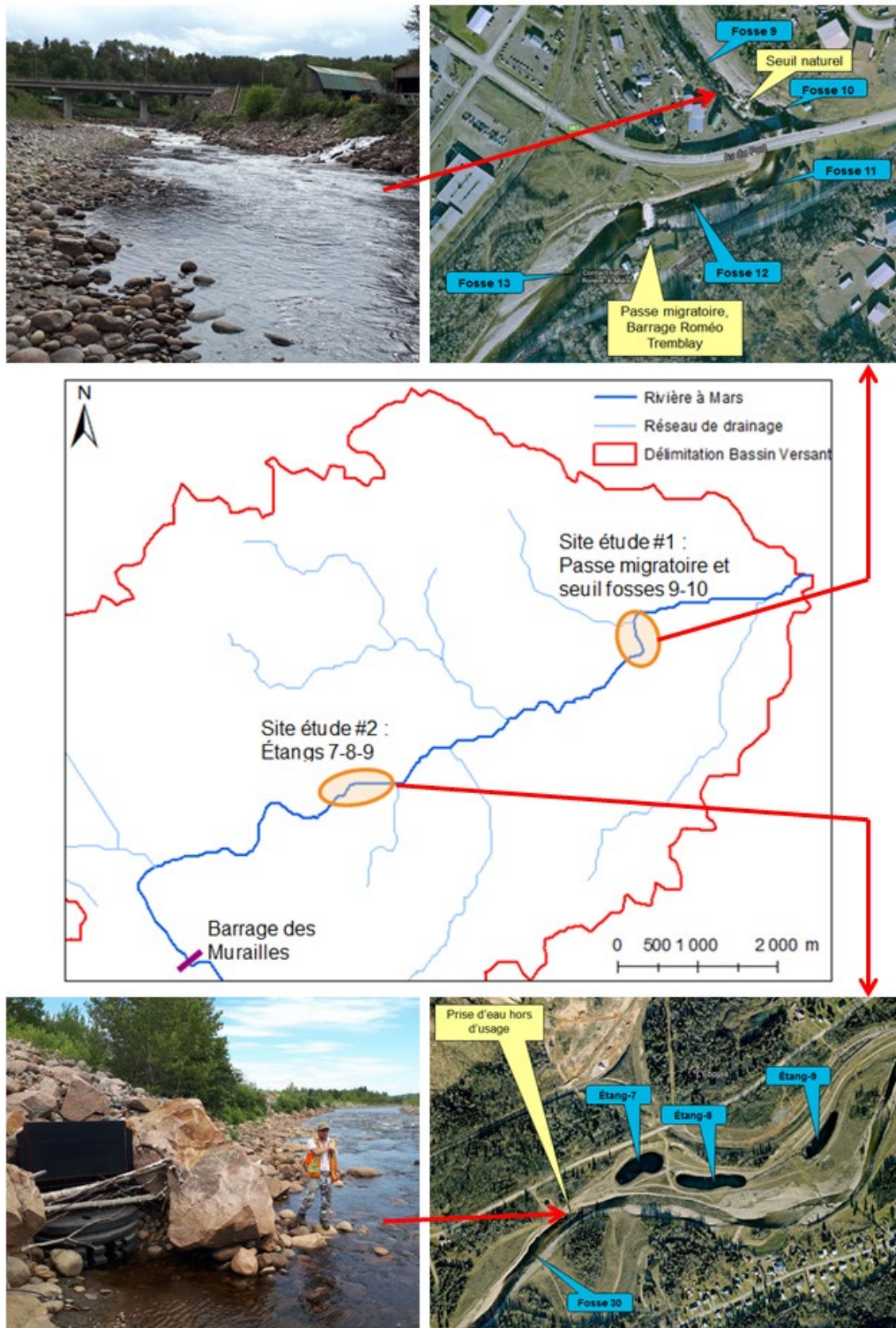


Figure 1-3 : Localisation des deux sites d'étude le long de la portion aval de la rivière à Mars.

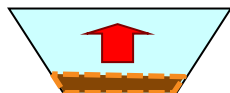
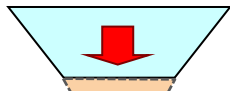
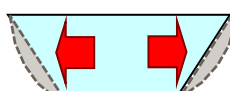
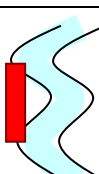
2. Hydrogéomorphologie – quelques concepts

L'hydrogéomorphologie est la science qui étudie les formes des cours d'eau et les processus contrôlant leur évolution (par exemple, le transport des sédiments, l'érosion, et la sédimentation). Les études hydrogéomorphologiques utilisent des concepts et des termes techniques qui ne sont pas nécessairement connus par tous les usagers des cours d'eau. Donc, cette section du rapport présente quelques définitions pour faciliter la compréhension du rapport par les usagers.

2.1 Ajustement des cours d'eau

Les cours d'eau s'ajustent à des changements dans l'écoulement et l'apport des sédiments. Le présent rapport fait référence à quatre types d'ajustements : l'alluvionnement (ou aggradation), la dégradation, l'élargissement et l'ajustement planimétrique. Ces termes sont expliqués et illustrés au tableau 2-1.

Tableau 2-1 : Termes hydrogéomorphologiques utilisés dans l'évaluation rapide géomorphologique

Mode d'ajustement	Définitions	Illustration
Alluvionnement	Accumulation des sédiments déposés sur le lit d'un cours d'eau. L'élévation du lit augmente.	
Dégradation	Érosion sur le lit d'un cours d'eau. L'élévation du lit diminue.	
Élargissement	Érosion des berges d'un cours d'eau, qui crée une coupe transversale plus large.	
Ajustement planimétrique	Changement dans la configuration du tracé d'un cours d'eau – par ex. : formations de nouveaux embranchements, formation de bancs médians (îles), avulsions.	

Des indicateurs des modes d'ajustement peuvent être observés sur le terrain et utilisés pour caractériser la stabilité d'un cours d'eau - voir la méthode d'évaluation géomorphologique rapide (section 6.2 et annexe A).

2.2 Le concept du niveau d'eau « plein bord »

Le concept du niveau d'eau « plein bord » est important en hydrogéomorphologie. Ce débit représente le débit maximal qu'un chenal peut contenir avant que le cours déborde de ses berges et se déverse sur la plaine inondable. Ce débit est en général celui qui maintient ou transforme le lit du cours d'eau (transport efficace de sédiments), et correspond typiquement à une fréquence de 1:1 à 1:1,5 an pour des cours d'eau en zone rurale et de 1:2 ans pour les cours d'eau urbains.

Les dimensions du chenal pour un niveau plein bord sont aussi importantes pour la caractérisation et la compréhension des cours d'eau. La largeur et la profondeur de plein bord sont illustrées à la figure 2-1.

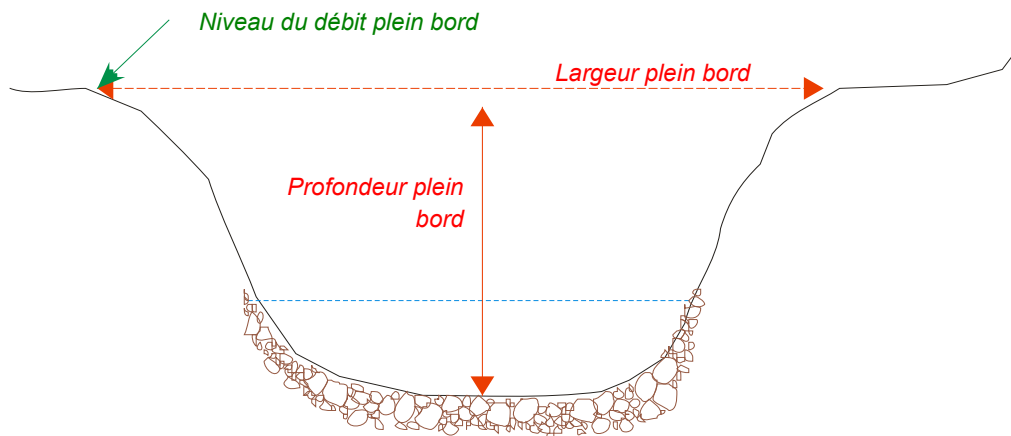


Figure 2-1 : Les dimensions du chenal au niveau plein bord

Il est généralement difficile d'identifier les dimensions du niveau plein bord sur le terrain lorsque le chenal a été modifié par des interventions humaines (par exemple, après le redressement ou le dragage du chenal) qui ont modifié ses dimensions naturelles. Dans ces cas, des indicateurs sont utilisés pour définir le niveau de débit à pleins bords tels que les niches d'érosion, les changements dans la pente de la berge, les matériaux des berges ou la végétation des berges.

2.3 Des systèmes « confinés » et « non confinés »

Des sections des cours d'eau peuvent être classifiées comme confinées ou non confinées (figure 2-2). Dans des systèmes confinés, le cours d'eau est localisé dans une vallée, et son tracé est contraint par les murs de la vallée. Dans des systèmes non confinés, le cours d'eau n'est pas contraint par les murs de la vallée et peut développer des méandres en traversant un terrain relativement plat.

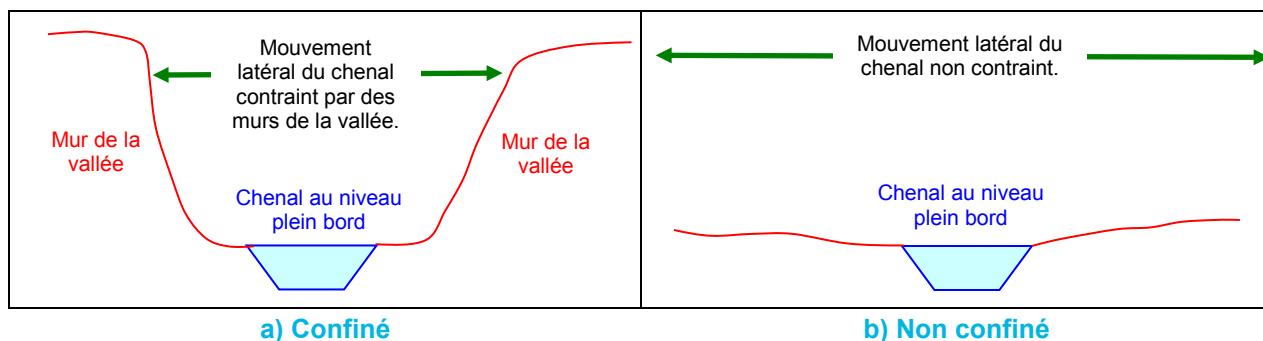


Figure 2-2 : Systèmes confinés et non confinés

La compréhension de ces deux systèmes est importante, car ils nécessitent des approches différentes pour définir les risques d'érosion. En effet, pour des systèmes non confinés, où les méandres d'un cours d'eau ne sont pas influencés par les murs de la vallée, le concept de l'espace de mobilité peut être utilisé pour délimiter les zones à risque d'érosion fluviale. À l'opposé, pour des systèmes confinés, l'interaction du cours d'eau avec les murs de la vallée doit être prise en compte, ainsi que la stabilité de ces murs.

2.4 L'espace de liberté

Par nature, les systèmes fluviaux sont intrinsèquement dynamiques et par conséquent, une rivière considérée comme étant « stable » n'est pas forcément un système « statique ». La connectivité entre un cours d'eau et sa plaine inondable, incluant les inondations et le transport de sédiments, est un processus naturel qui joue un rôle majeur dans l'écologie aquatique. Les régimes hydrauliques et sédimentaires sont influencés par des facteurs de contrôle, comme la géologie et la topographie, combinés avec l'apport en sédiments et le régime d'écoulement. Les inondations et l'érosion latérale des berges sont problématiques seulement là où il y a des conflits d'usage entre la rivière et les riverains ou les infrastructures (sécurité publique), et/ou là où les processus sont déstabilisés par les interventions humaines. Dans le but de vouloir mieux gérer les aléas fluviaux afin de s'en protéger, tout en protégeant l'environnement, il est nécessaire de bien comprendre cette dynamique.

Les problèmes liés aux phénomènes d'inondation et d'érosion des berges peuvent être évités en conservant le développement en dehors des zones à risques. En Amérique du Nord, en Europe et en Australie, cette réalisation a été reflétée dans les approches de gestion qui redonnent de l'espace aux rivières, par exemple « Room for the River » (Nederland), « Making Space for Water » (Royaume-Uni) et « Espace de Bon Fonctionnement » (France). Au Canada, une approche similaire utilisant les principes de l'hydraulique et de l'hydrogéomorphologie, est déjà intégrée aux projets municipaux en Ontario et encadrée par les politiques provinciales dont les autorisations sont requises (TRCA, 2004). Récemment, ces approches ont été revues et améliorées, dans un contexte québécois, pour encourager la prise en compte des processus hydrogéomorphologiques dans la gestion des cours d'eau au Québec.

Une approche pour définir l'espace de liberté a été élaborée en 2013 par la Consortium Université de Concordia, Université de Québec à Rimouski (UQAR), Université de Québec à Montréal (UQAM), Ouranos et AECOM dans le projet « *Espace de liberté : Un cadre de gestion intégrée pour la conservation des cours d'eau dans un contexte de changements climatiques* » (Biron *et. al.*, 2014). Elle représente une amélioration des approches ontariennes, en utilisant les nouveaux outils (comme les données LiDAR), que sont maintenant souvent disponibles. L'espace de liberté prend en compte la fonctionnalité d'un cours d'eau, incluant :

- a) L'espace inondable (zone à risque d'inondation)
- b) L'espace de mobilité (zone à risque d'érosion fluviale)
- c) Les besoins écologiques (milieux humides)

Comme noté dans ce projet de recherche de 2013 « Une gestion par espace de liberté des cours d'eau du Québec exige un changement majeur dans nos perceptions et nos représentations des rivières qui, jusqu'à maintenant, ont été considérées comme des entités relativement statiques dans le paysage. Une telle approche apportera notamment comme avantage de faciliter l'adaptation aux risques liés à une plus grande variabilité des débits en climat futur par une gestion proactive qui améliore la santé des cours d'eau tout en étant avantageuse économiquement à moyen et à long terme. Elle contribuera également à diminuer les risques pour les infrastructures et la sécurité publique en utilisant une cartographie basée sur la dynamique des cours d'eau pour déterminer les zones où les aménagements devraient être interdits à l'avenir ».

3. État des connaissances existantes

Les sections suivantes de ce chapitre présentent les données disponibles pour l'étude, la caractérisation du bassin versant et les études, évènements et interventions antérieurs.

3.1 Données disponibles

Les informations suivantes ont été identifiées avec l'assistance de l'organisme Contact Nature Rivière-à-Mars et de la Ville de Saguenay.

Documents

- Présentation PowerPoint de l'évolution des fosses 9 à 12 effectuée par Contact Nature Rivière-à-Mars.
- Document d'observation des fosses 1 à 12 effectué par Mario Dallaire (Contact Nature Rivière-à-Mars) en novembre 2007.
- Plans approximatifs du réseau de gaz naturel Énergir (anciennement GazMétro).

Données SIG

- Données topographiques (mélange de courbes de niveaux générés au 1 m à partir de relevés LiDAR (2011) et de photo-interprétation (2007)).
- Les photos aériennes historiques datant de 1975, 1976, 1981, 1984, 1994, 1996, 1997, 1998, 2003 en format ECW.
- Les orthophotos de 2005, 2007, 2008, 2010, 2013, 2014, 2015, 2016 et 2017 (format .tif).
- L'hydrographie linéaire et surfacique (Shapefiles des lacs et rivières, milieux humides préliminaires, réseau hydrographique et zones inondables).
- Le shapefile d'occupation du sol (urbain).
- La carte pédologie (format shapefile).
- La carte des dépôts de surface (Lasalle et Tremblay, 1978).

3.2 Caractérisation du bassin versant

Le bassin versant de la rivière à Mars est un bassin de forme allongée mesurant environ 65 km de long pour 10 km de large. La superficie du bassin est de 663,9 km² et la longueur de la branche principale est de 95,9 km.

Les sections suivantes du chapitre 3 présentent le contexte physiographique et géologique, la topographie et l'occupation du sol du bassin versant de la rivière à Mars.

3.2.1 Physiographie et géologie

La rivière à Mars prend sa source dans le haut Plateau laurentien et draine les hautes-terres de Ferland vers le nord (dans la réserve des Laurentides) avant de rejoindre les basses-terres du Haut-Saguenay (figure 3-1) pour se jeter dans la baie des Ha! Ha! au niveau de la ville de La Baie.

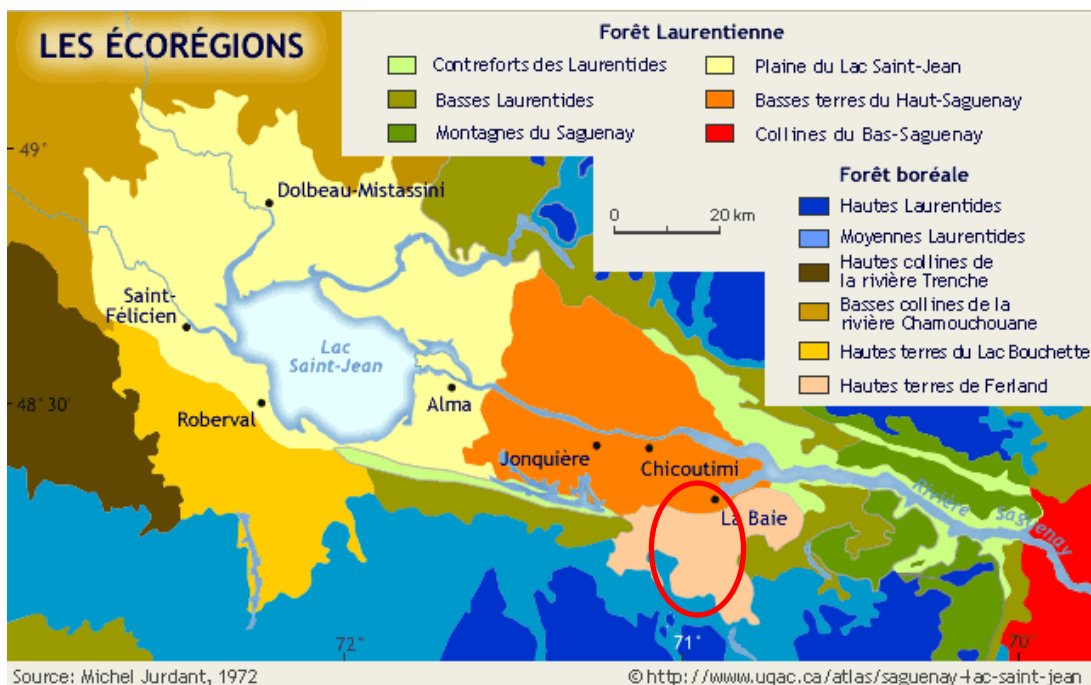


Figure 3-1 : Carte des écorégions du Saguenay-Lac-Saint-Jean, montrant le contexte physiographique de la rivière à Mars (localisé dans le cercle rouge)

L'assise géologique du haut Plateau laurentien est principalement composée de roches ignées intrusives et de roches métamorphiques de haut grade, vestiges du Bouclier canadien. Une limite nette est visible entre le Bouclier canadien et les basses-terres du Saguenay sur la carte des dépôts du Quaternaire (figure 3-2). Lorsque le cours d'eau quitte le Plateau laurentien, il entre dans des unités de sédiments glaciomarins et sa direction change pour s'écouler vers le nord-est afin de rejoindre la baie des Ha! Ha!. Le chenal passe ainsi d'un état confiné à une plaine alluviale ouverte.

3.2.2 Topographie

La topographie du bassin versant de la rivière à Mars est composée d'un relief montagneux atteignant 1084 m d'altitude dans sa partie amont et d'un relief modéré en aval du barrage des Murailles (figure 3-3). La rivière à Mars se jette dans le Fjord à une altitude nulle.

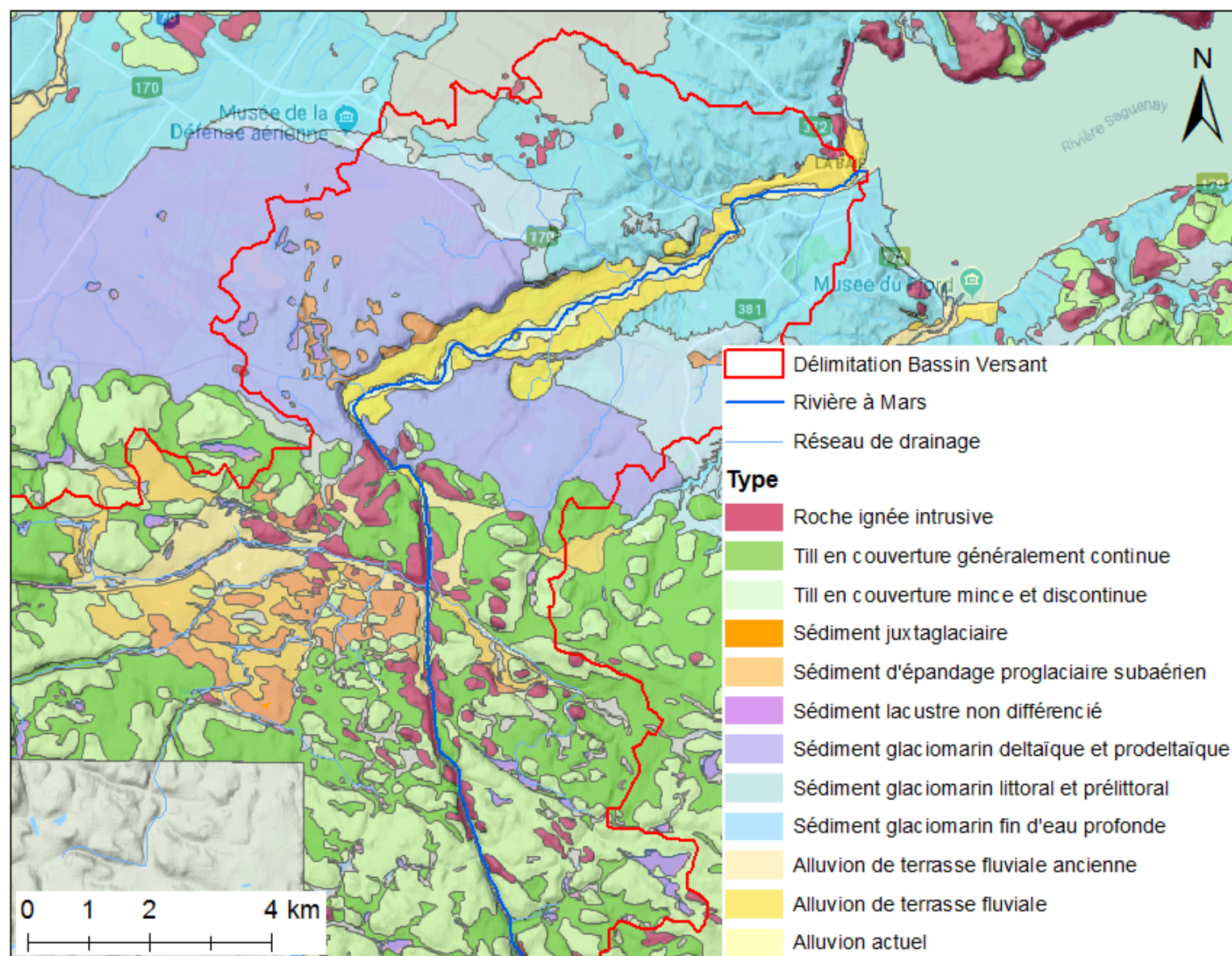


Figure 3-2 : Géologie du Quaternaire le long de la section aval de la rivière à Mars (tiré du Système d'information géomineire du Québec)

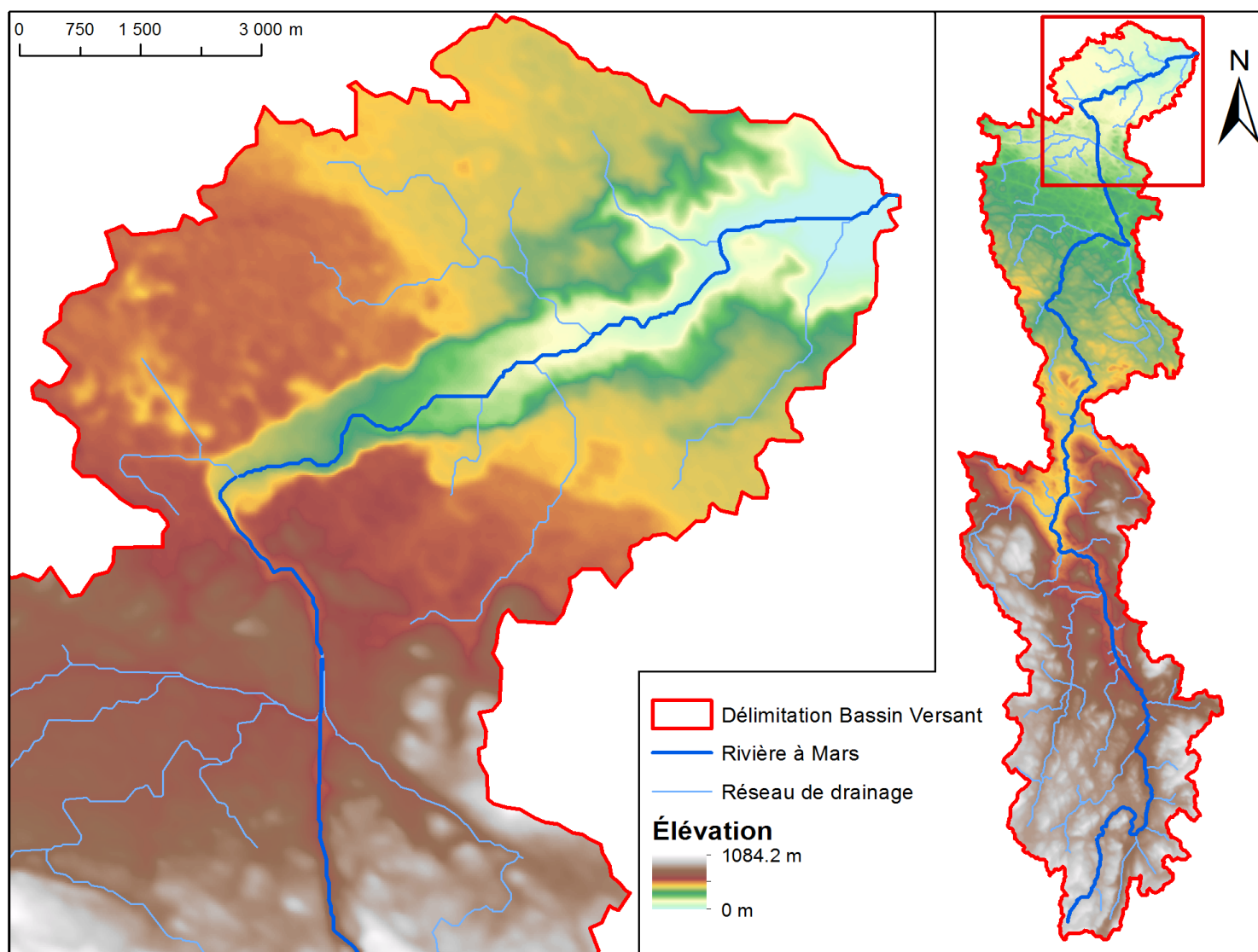


Figure 3-3 : Topographie du bassin versant de la rivière à Mars et de la zone d'étude

3.2.3 Occupation du sol

Le bassin versant de la rivière à Mars est principalement recouvert de surfaces boisées avec environ 83 % de sa superficie composée de forêts (figure 3-4). C'est dans la portion aval du bassin que les terres sont utilisées à des fins agricoles pour 10 % de la superficie totale du bassin (figures 3-4 et 3-5). Juste avant de se jeter dans la rivière Saguenay, la rivière à Mars traverse la ville de La Baie, quatrième plus grande ville de la région du Saguenay en termes de superficie, occupant 3,4% de la superficie totale du bassin versant. Seulement 3,6 % de la superficie est occupée par les milieux humides, les lacs et rivières, laissant peu de place à la rétention du débit le long du bassin versant.

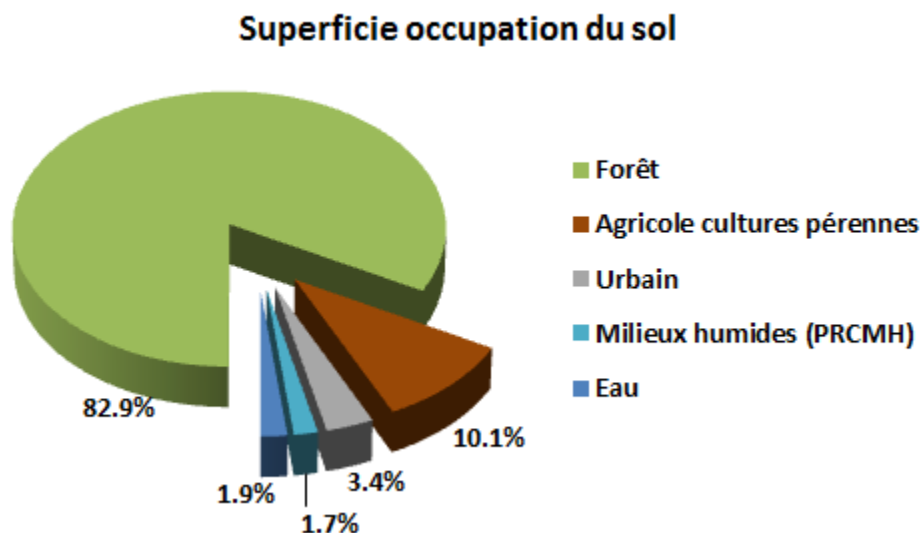


Figure 3-4 : Superficie de l'occupation du sol dans le bassin versant de la rivière à Mars.

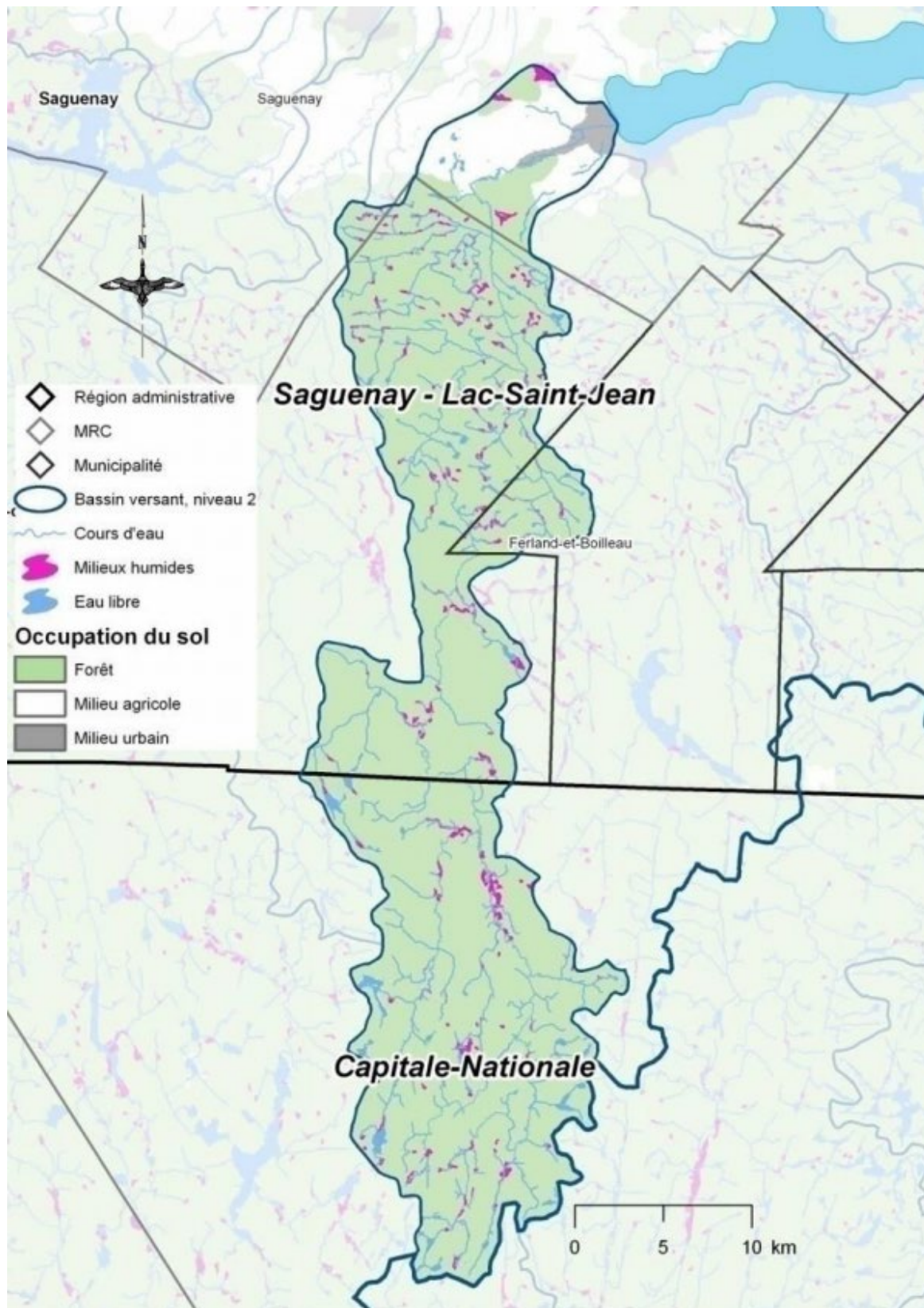


Figure 3-5 : Carte de l'occupation du sol du bassin versant de la rivière à Mars (source : MELCC)

3.3 Études, évènements et interventions antérieurs

3.3.1 Inondations précédentes

En juillet 1996, le Saguenay fut touché par de fortes inondations lors de l'évènement du « déluge ». La rivière à Mars fut l'une des rivières les plus impactées par ces inondations. La plaine alluviale de la rivière à Mars fut complètement remodelée par le passage de la crue. À la suite de cet évènement d'ampleur, des mesures de protection préventives ont été ajoutées sur la plupart des rivières au Saguenay–Lac-Saint-Jean. Ces mesures de protection consistaient à construire des digues en enrochement et des seuils de contrôle afin de contenir l'écoulement dans le lit de la rivière. Malgré le fait que ces interventions datent d'une vingtaine d'années, le cours d'eau de la rivière à Mars subit encore aujourd'hui de forts ajustements morpho-sédimentaires pour tenter de retrouver un équilibre dynamique, qui est contrôlé selon les nouvelles conditions géomorphiques. Parmi ces ajustements, l'incision du chenal est une réponse attendue parce que le cours d'eau est privé de ses sédiments par la présence d'enrochements.

Depuis cet évènement catastrophique, quelques crues de moindre ampleur ont eu lieu, à noter la crue du 17 octobre 2005 avec un débit de pointe de 200 m³/s et la crue du 4 mai 2010 avec un débit qui a atteint 160 m³/s.

Une cartographie des zones inondables indiquant les zones de faible courant et de grand courant est disponible sur le site du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements climatiques (MELCC) (figure 3-6). Les feuillets de la cartographie des zones inondables sont présentés à l'annexe B.

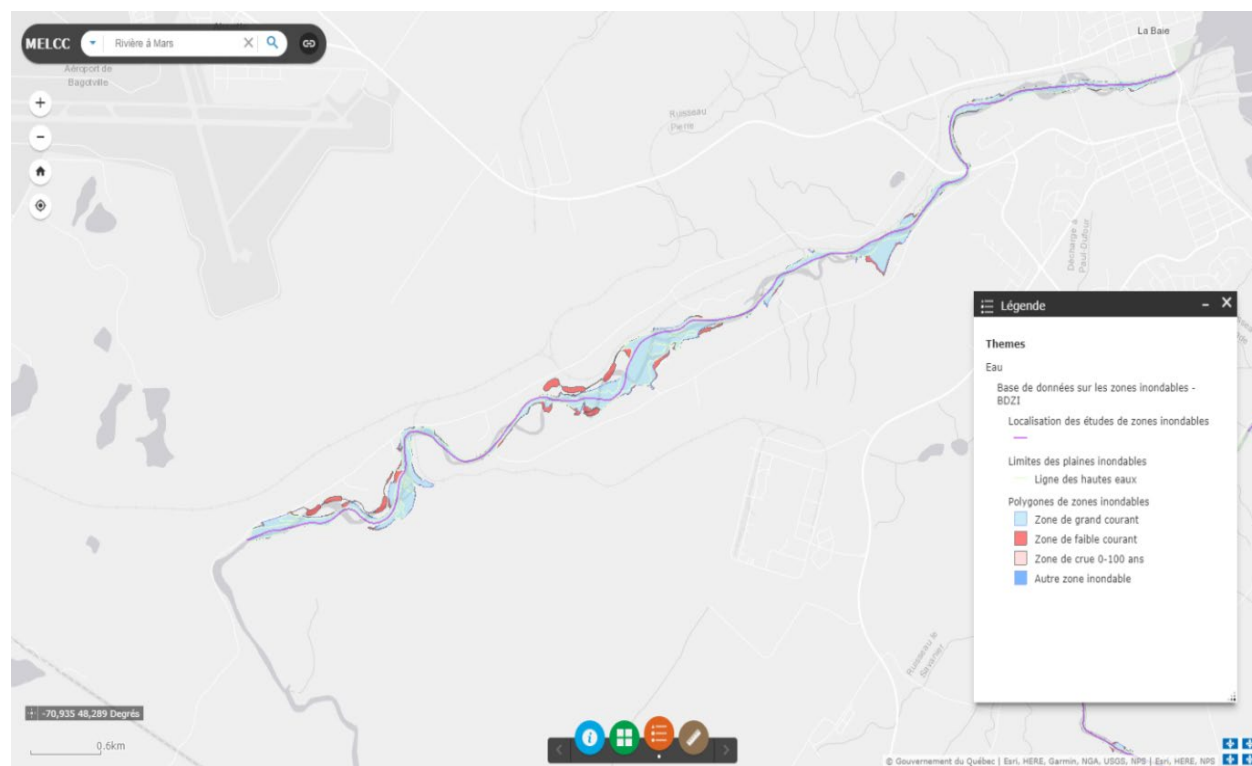


Figure 3-6 : Cartographie des zones inondables (grand courant et faible courant) de 2001 de la rivière à Mars disponible sur le site du MELCC. Les feuillets sont disponibles à l'annexe B.

3.3.2 Interventions dans le bassin versant

Des photographies aériennes (1975, 1981, 1984, 1994, 1996, 1997, 1998, 2003, 2005, 2007, 2008, 2010, 2013, 2014, 2015, 2016 et 2017) ont été utilisées pour analyser l'historique des changements sur la rivière à Mars. Les changements naturels, les modifications anthropiques et les changements d'utilisation du territoire qui auraient pu impacter significativement la forme du chenal ont été documentés et sont discutés ici-bas :

- Vers la fin des années 1970, le développement du secteur Port Alfred démarre.
- Au début des années 1980, la rivière à Mars est constituée de bras multiples séparés par des îles végétalisées.
- Vers 1984, la végétation des îles a disparu et des bancs de gravier sont apparents sur l'ensemble du cours d'eau laissant penser qu'une crue a remodelé le chenal.
- Au début des années 1990, les habitations riveraines se font de plus en plus nombreuses. La végétation recolonise les bancs de sédiments dans le cours d'eau.
- En 1996, les inondations du déluge du Saguenay laissent une cicatrice visible sur les photos aériennes et la plaine alluviale est élargie et dépourvue de végétation. L'érosion des berges est visible sur la totalité de la rivière.
- Après le déluge de 1996, les infrastructures sont reconstruites. Le cours d'eau est endigué sur une portion ce qui lui donne une forme linéaire. Peu d'îles et de bancs sont visibles.
- Au début des années 2000, le cours d'eau a repris de la sinuosité dans les portions qui n'ont pas été endiguées. Des bancs latéraux et médians sont visibles sur le long du cours.
- Entre 2006 et 2010, après les crues importantes, l'incision des fosses 8 et 9 atteint des records et le cours d'eau coule sur un fond argileux par endroits. La digue en enrochement de la rive gauche s'est effondrée laissant apparaître la membrane de géotextile.
- À partir de 2010, le bras secondaire qui longeait la rive droite en aval de la passe migratoire se comble et le banc de sédiments se stabilise.
- En 2012-2013, le banc d'accumulation de sédiment situé en aval de la passe migratoire a été transféré en rive gauche et un déflecteur constitué de gros enrochements a été placé en aval du barrage. Un an plus tard, le déflecteur a été détruit et le banc d'accumulation a migré naturellement vers la rive droite.

4. Délimitation des tronçons géomorphologiques

Les données disponibles (section 3.1) et les caractéristiques du bassin versant (section 3.2) ont été utilisées pour identifier les tronçons fonctionnels de la rivière à Mars lors d'un travail préliminaire effectué au bureau. Les tronçons sont des segments de rivière relativement homogènes en termes de dynamique fluviale et de capacité de transport sédimentaire, dont la longueur varie en général entre 200 m et 2 km sur des cours d'eau de taille moyenne, comme la rivière à Mars. Les tronçons ont été identifiés selon :

- les facteurs de contrôles principaux (topographie, géologie, géologie superficielle, sinuosité, changement d'utilisation du territoire et modifications anthropiques);
- les caractéristiques hydrogéomorphologiques, surtout si la rivière est confinée, semi-alluviale ou alluviale;
- les données extraites à partir des images aériennes (photos historiques ou images satellitaires disponibles sur Google Earth) ainsi que du modèle numérique de terrain (MNT), telles que la largeur du cours d'eau, la pente, le type morpho-sédimentaire, etc.

Les tronçons ont été délimités à l'aide d'un SIG et un identifiant unique leur a été assigné (voir tableau 4-1). Le travail de terrain (voir section 5 du rapport) a permis de raffiner les limites définies autour des deux sites d'étude, à savoir les tronçons RaM-6 et RaM-7 pour l'étude de la prise d'eau des étangs en amont et les tronçons RaM-9 et RaM-10 pour la caractérisation géomorphologique au niveau de la passe migratoire et de la fosse 9.

En tout, 11 tronçons ont été identifiés entre le barrage des Murailles et la ville de La Baie (tableau 4-1 et figure 4-1).

Tableau 4-1 : Description des tronçons hydrogéomorphologiques et limites amont-aval

Tronçon	Caractéristiques	Sinuosité	Mobilité du chenal	Coord. limite amont		Coord. limite aval	
				Latitude	Longitude	Latitude	Longitude
RaM-1	Canyon confiné dans le roc	Nulle	Inexistante	48.294	-70.982	48.297	-70.986
RaM-2	Ouverture dans la vallée, forte pente et présence de blocs	Faible	Elargissement potentiel	48.297	-70.986	48.301	-70.989
RaM-3	Accumulation de sédiments en amont du contrôle rocheux, présence d'un banc médian	Moyenne	Érosion contrôlée par enrochements	48.301	-70.989	48.304	-70.987
RaM-4	Chenal unique endigué (enrochements)	Moyenne	Faible (contrôlée)	48.304	-70.987	48.307	-70.970
RaM-5	Ouverture en chenaux multiples	Moyenne	Étalement latéral	48.307	-70.970	48.311	-70.968
RaM-6	Chenal unique endigué (enrochements)	Faible	Faible (contrôlée)	48.311	-70.968	48.313	-70.953
RaM-7	Ouverture du chenal dans la plaine alluviale, alternance de bancs latéraux et médians dynamiques	Élevée	Grande mobilité latérale (érosion de berges)	48.313	-70.953	48.318	-70.937
RaM-8	Chenal unique endigué (enrochements + 3 seuils de contrôle)	Faible	Faible (contrôlée)	48.318	-70.937	48.320	-70.928
RaM-9	Ouverture du chenal dans la plaine alluviale, alternance de bancs latéraux et médians dynamiques	Élevée	Grande mobilité latérale (érosion de berges)	48.320	-70.928	48.328	-70.907
RaM-10	Chenal unique endigué (enrochements)	Moyenne	Faible (contrôlée)	48.328	-70.907	48.333	-70.902
RaM-11	Présence de bancs d'accumulation, diminution de pente	Faible	Faible (contrôlée)	48.333	-70.902	48.338	-70.875



5. Travail sur le terrain

Une campagne de terrain a été menée pour analyser les conditions géomorphologiques dans les tronçons 6 et 7 concernant la problématique de la prise d'eau des étangs 7 à 9, ainsi que dans les tronçons 9 et 10 concernant les problématiques sur la libre circulation du poisson (à savoir, l'alluvionnement en aval de la passe migratoire et l'incision à la base du seuil dans la fosse 9). Ce travail de terrain a été réalisé les 11 et 12 septembre 2018 par Fabien Hugue, hydrogéomorphologue, accompagné de notre géomaticien Mathieu Pronovost. Les activités de terrain sont décrites en détail dans ce chapitre.

5.1 Caractérisation des tronçons

Des données hydrogéomorphologiques ont été récoltées pour caractériser les tronçons dans la zone d'étude (voir tableau 5-1 et figure 5-1). Les relevés incluaient :

- les dimensions typiques du chenal;
- le substrat du lit;
- la végétation riveraine;
- la stabilité des vallées et des berges;
- le degré de connectivité avec la plaine inondable.

Les tronçons qui avaient été délimités dans le travail préliminaire ont été confirmés lors de la reconnaissance sur le terrain. Les résultats sont discutés dans la section 6.1 du présent rapport.

5.2 Évaluation géomorphologique rapide

Afin d'établir les conditions des tronçons hydrogéomorphologiques en termes de stabilité, des relevés ont été effectués en utilisant des protocoles standards d'évaluation géomorphologique rapide (en anglais « Rapid Geomorphic Assessment (RGA) » (MOE, 2003). L'évaluation géomorphologique rapide a été conçue par le Ministère de l'Environnement Ontarien en 1999 pour évaluer des chenaux urbains et fait partie de la publication « Stormwater Management Planning and Design Manual » (MOE, 2003; annexe C – disponible en ligne). La technique a été traduite en français pour inclusion dans le guide de gestion des eaux pluviales au Québec (MDDEP, 2011).

Cette technique qualitative utilise la présence ou l'absence d'indicateurs d'instabilité, par exemple, des racines exposées, des bancs de sédiments, etc. Les indicateurs sont regroupés en quatre catégories – alluvionnement, dégradation, élargissement et ajustement planimétrique – qui sont définies dans la section 2.1. Les indicateurs observés dans chaque tronçon sont documentés et un indice de stabilité est calculé. Le score obtenu est enfin regroupé dans un système à trois classifications (tableau 5-1). Les résultats sont présentés au tableau 6-1 et discutés à la section 6 du rapport.

Tableau 5-1 : Évaluation géomorphologique rapide - Classification

Valeur de l'indice de stabilité	Classification	Interprétation
≤0.20	En équilibre	La morphologie du chenal est à l'intérieur de la gamme de variabilité pour des cours d'eau de caractéristiques hydrographiques similaires – l'évidence d'instabilité est isolée ou associée avec des processus normaux.
0.21-0.40	En transition ou sous stress	La morphologie du chenal est à l'intérieur de la gamme de variabilité pour des cours d'eau de caractéristiques hydrographiques similaires, mais une évidence d'instabilité est fréquente.
≥0.41	En ajustement	La morphologie du chenal n'est pas à l'intérieur de la gamme de variabilité pour des cours d'eau de caractéristiques hydrographiques similaires et une évidence d'instabilité est observée à plusieurs endroits.

(Source: MOE, 2003 – Appendix C3).

5.3 Questionnaire SIG et photographies géolocalisées

Le travail sur le terrain et les observations pour les quatre tronçons étudiés ont été documentés via une application SIG pour téléphone intelligent (et/ou ordinateur, tablette, etc.), facilitant ainsi la prise de données et le post-traitement. Un questionnaire spécifique aux besoins de l'étude a été conçu. Des photographies numériques géolocalisées accompagnent les informations recueillies sur ce questionnaire et permettent de documenter le travail de terrain. L'ensemble des cours d'eau a été couvert par les photographies et leur indexation est rendue disponible sous format cartographique (.KML) pour le logiciel Google Earth, en complément de ce rapport.

5.4 Relevé quantitatif

Les relevés quantitatifs font référence aux données qui ont été récoltées sur le terrain les 11 et 12 septembre 2018. Ces relevés furent composés de données d'arpentage le long de sections transversales et de profils en long, ainsi que d'échantillonnages granulométriques.

5.4.1 Sections transversales

Un total de 17 sections transversales ont été réalisées à l'aide d'un DGPS-RTK (Real Time Kinematic) sur l'ensemble des deux secteurs à l'étude (11 pour la zone d'étude aval et 6 pour la zone d'étude en amont). Ces sections transversales permettent de documenter la forme du chenal en lien avec les processus actuels et serviront de données de base pour d'éventuels suivis à court, moyen et long termes. La localisation des sections transversales est présentée à la figure 5-1 et leurs représentations graphiques sont présentées dans l'Annexe C.

5.4.2 Profils en long

Des profils en long – incluant la pente du thalweg et de la surface de l'eau à l'étiage sévère lors de la campagne de terrain de septembre 2018 – ont été relevés au niveau des deux sites d'étude à partir d'un GPS-RTK. La localisation des profils en long est présentée à la figure 5-1 et leurs représentations graphiques sont présentées à l'annexe D.

Les sections transversales et les profils en long ont servi à établir une valeur de contrainte de cisaillement sur le lit. Cette dernière permet d'estimer la capacité de transport en fonction de la géométrie du cours d'eau à un point donné (en l'occurrence au niveau de chaque section transversale).

5.4.3 Échantillonnage de la taille du substrat

La granulométrie du substrat au niveau de 7 sites d'échantillonnage a été caractérisée en suivant le protocole « Wolman Pebble Count » (Wolman, 1954). Les sites d'échantillonnage sont situés aux sections transversales 1, 3, 5, 7a, 8, 10 et 14 (figure 5-1). L'objectif de réaliser une analyse granulométrique sur la rivière à Mars était de calculer la contrainte critique et de déterminer la compétence du chenal à transporter des sédiments. Les graphiques des répartitions granulométriques sont présentés à l'annexe E.

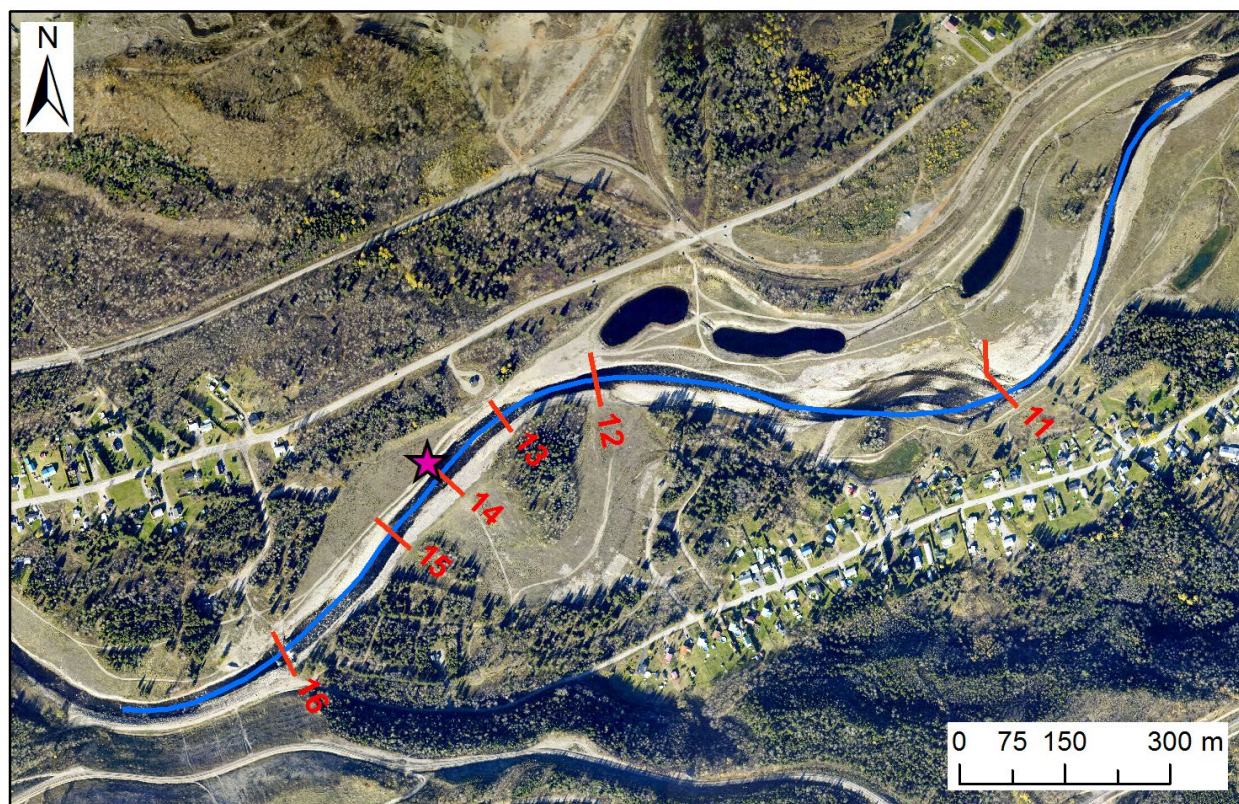
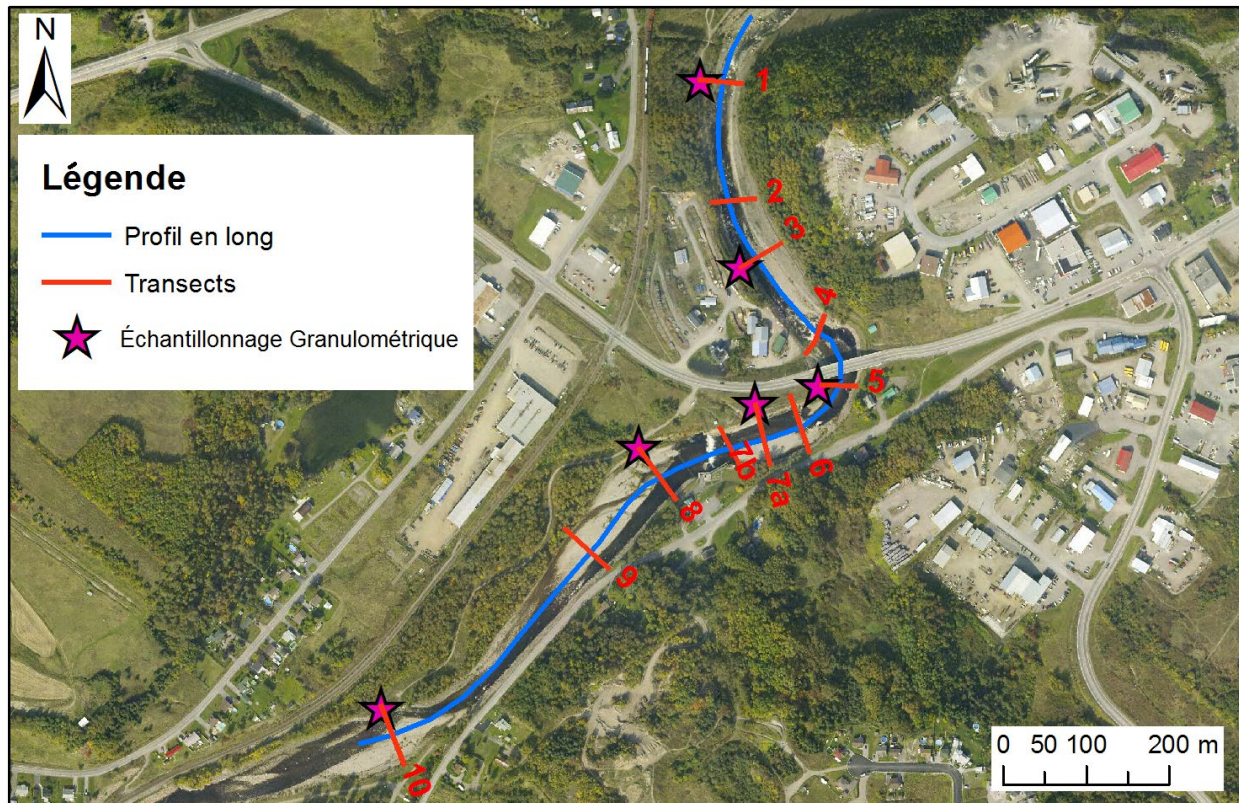


Figure 5-1 : Cartographie des relevés de terrain effectués les 11 et 12 septembre 2018.

6. Détermination des secteurs sensibles pour l'équilibre géomorphologique

6.1 Résultats de l'évaluation géomorphologique rapide

Les résultats de la caractérisation hydrogéomorphologique réalisée sur le terrain par la méthode de « l'évaluation géomorphologique rapide » (annexe A) sont présentés au tableau 6-1. Cette caractérisation cherche à identifier le mode d'ajustement (alluvionnement, érosion, élargissement, ajustement de la forme en plan) potentiel dans le chenal et permet de classer les tronçons en trois (3) catégories, en fonction des évidences observées sur le terrain : « en équilibre », « en transition » ou « en ajustement » (voir descriptif au tableau 5-1).

Tableau 6-1 : Résultats de l'évaluation géomorphologique rapide dans les zones d'étude de la rivière à Mars (voir section 5.2 pour plus de détails sur cette méthode)

Tronçon	Indice de processus géomorphologique				Indice de stabilité du chenal	Classification
	Alluvionnement	Dégradation	Élargissement	Ajustement Planimétrique		
RAM-06	0.13	0.86	0.63	0.14	0.44	En ajustement
RAM-07	0.25	0.29	0.38	0.43	0.34	En transition
RAM-09	0.25	0.14	0	0.43	0.21	En transition
RAM-10	0.11	0.83	0.63	0.14	0.43	En ajustement

Dans le secteur étudié, la rivière à Mars présente une grande variabilité de processus avec évidence d'instabilité fréquente pour les secteurs RAM-07 et RAM-09, allant même jusqu'à l'observation d'instabilité de façon répétitive pour les secteurs RAM-06 et RAM-10 (tronçons classifiés « *en ajustement* »). Ces observations indiquent que la morphologie du chenal ne présente pas une gamme de variabilité similaire à des cours d'eau de caractéristiques hydrographiques semblables.

6.1.1 Ajustement planimétrique

Les tronçons RAM-07 et RAM-09 présentent des indices d'instabilité plus élevés que la norme et ont été classifiés comme étant « *en transition* » d'après leur pointage. Ces deux tronçons subissent actuellement des ajustements planimétriques de la forme. L'analyse historique des photos aériennes a révélé que le tronçon RAM-07 est aussi caractérisé par un taux de migration latéral élevé, accompagné d'un élargissement du chenal. Pour sa part, le tronçon RAM-09 présente des berges statiques dont la forme en plan est en train de s'ajuster aux nouvelles conditions morpho-sédimentaires. Ceci se reflète par la présence de nombreux chenaux secondaires dans ce secteur.

6.1.2 Dégradation

Les tronçons RAM-06 et RAM-10 subissent une dégradation de leur lit combinée avec une incision du chenal année après année. Deux raisons peuvent expliquer la dégradation d'un chenal, soit :

- Un changement dans le régime hydro-sédimentologique à la suite de la modification de l'occupation du sol dans le bassin versant et/ou une modification du débit dans le tronçon étudié (hypothèse peu probable dans le cas de la rivière à Mars, car la croissance urbaine dans le bassin versant y est limitée).
- Une limitation du transit sédimentaire provenant de l'amont et/ou des berges à proximité du site d'étude (hypothèse retenue).

Dans le contexte de l'étude, la forte inondation engendrée sur la rivière à Mars lors du déluge du Saguenay a eu pour effet de remodeler le lit du cours d'eau et la plaine alluviale selon de nouvelles conditions morpho-sédimentologiques. Par la suite, l'endiguement du cours d'eau sur la quasi-totalité de sa course entre le barrage des Murailles et la baie des Ha! Ha! a eu pour effet de réduire l'apport de sédiments sur l'ensemble des tronçons. Plus particulièrement, les tronçons RAM-6 et RAM-10 sont en déficit sédimentaire alors que le cours d'eau maintient sa capacité de transport. Les seuls sédiments disponibles pour le transport se trouvant sur le lit du cours d'eau, un surcreusement du chenal est alors observé dans ces tronçons.

6.1.3 Élargissement

À la suite d'une perturbation, la résilience des cours d'eau à retourner à leur état naturel peut s'effectuer par l'élargissement du chenal pour occuper un espace de mobilité en lien avec les processus géomorphologiques. Dans le cas de la rivière à Mars, cet élargissement du chenal est limité, car les berges ont été stabilisées mécaniquement avec de l'enrochement. Toutefois, les tronçons RAM-06, RAM-07 et RAM-10 ont un pointage élevé dans cette catégorie. En effet, des traces d'affouillement le long des berges stabilisées et une forte migration des berges naturelles ont été observés, indiquant la présence du processus d'élargissement.

6.1.4 Alluvionnement

Le processus d'alluvionnement (dépôt ou accumulation de sédiments) le long de la rivière à Mars est faible, car le chenal est principalement contrôlé par des berges artificielles sans apport direct de sédiments. Des petites accumulations et des bancs médians à l'écoulement ont été notés lorsque la pente du lit diminuait (tronçons RAM-07 et RAM-09). Ces deux tronçons ont la particularité d'avoir des structures artificielles jouant un rôle sur le grade (pente du profil en long) du cours d'eau (exemple : seuil du barrage Roméo-Tremblay).

6.2 Résultats de l'étude sur la capacité de transport dans les tronçons étudiés

6.2.1 Contrainte de cisaillement moyenne sur la section

Lors de la campagne de terrain de septembre 2018, les dimensions du chenal au niveau plein bord ont été mesurées le long de 7 sections transversales (transects 1, 3, 5, 7, 8, 10 et 14 sur la figure 5-1). Ces dimensions permettent d'estimer les valeurs des contraintes de cisaillement moyennes (τ_0) au niveau des tronçons étudiés lors du débit formateur (débit proche de la crue de récurrence 2 ans qui est considéré comme responsable du façonnement de la géométrie d'un chenal). Le tableau 6-2 présente les résultats de cette analyse. Il est reconnu que les valeurs de contraintes de cisaillement moyennes sont un indicateur de la capacité de transport, car elles sont liées à l'aire de la section transversale et à la pente locale du chenal. Plus un chenal est profond et pentu, plus la contrainte de cisaillement moyenne est élevée et plus le potentiel de transport de sédiments est grand. La contrainte de cisaillement moyenne (τ_0) sur une section transversale de cours d'eau est estimée selon la formule suivante :

$$\tau_0 = \gamma RS \quad (\text{Équation. 6.1})$$

Où

- γ est la masse volumique de l'eau ($\gamma = \rho \times g$) = 9810 N/m³;
- R est le rayon hydraulique de la section transversale au niveau plein bord ($R = A/P$, où A est l'aire de la section au niveau plein bord ($A = W \times d$) et P est le périmètre de la section au niveau plein bord ($P = W + 2d$));
- S est la pente moyenne du tronçon au niveau du transect étudié.

Tableau 6-2 : Dimensions du chenal et contrainte de cisaillement moyenne sur les sections de la rivière à Mars

Transect	Largeur plein bord W (m)	Profondeur plein bord d (m)	Rayon hydraulique R (m)	Pente locale S (m/m)	Contrainte de cisaillement moyenne sur la section τ_0 (N/m ²)
1	41,76	2,30	2,07	0,0070	142,3
3	30,60	2,28	1,98	0,0070	136,3
5	35,80	2,95	2,53	0,0100	248,4
7	55,50	2,27	2,10	0,0100	205,8
8	60,10	1,10	1,06	0,0069	71,8
10	72,80	2,50	2,34	0,0069	158,3
14	38,3	3,46	2,93	0,0105	301,9

Les contraintes de cisaillement moyennes sur les sections étudiées varient entre 71,8 N/m² pour le transect 8 qui est caractérisé par un chenal moins pentu, large et peu profond, et 301,9 N/m² pour le transect 14, lequel présente une pente plus élevée et un confinement plus grand.

6.2.2 Contraintes de cisaillement critiques

Sur les mêmes transects, des relevés granulométriques ont été effectués pour calculer les contraintes de cisaillement critiques (τ_c) afin d'identifier les secteurs où le transport de sédiments était le plus actif. La contrainte de cisaillement critique (τ_c) est un indicatif de la compétence d'un chenal, c'est-à-dire qu'elle représente la valeur limite pour laquelle un substrat de chenal étant caractérisé par des sédiments de taille donnée peut être soumis au transport sédimentaire. En d'autres termes, si la contrainte de cisaillement moyenne sur une section transversale (τ_0) dépasse la contrainte de cisaillement critique pour une taille de sédiments donnée (τ_c), le transport est initié. La contrainte de cisaillement critique τ_{ci} pour une taille de sédiments i donnée peut être calculée selon la formule suivante :

$$\tau_{ci} = \theta_{ci}(\rho_s - \rho_w)gD_i \quad (\text{Équation. 6.2})$$

Où

- θ_{ci} est le nombre sans dimension de Shield. θ_{ci} varie entre 0,04 et 0,06 selon la littérature (Petit, 1994) et a été évalué à 0,0495 dans l'étude de la rivière à Mars sur la base de la taille des sédiments présents sur le lit (Ashworth et al., 1992);
- ρ_s et ρ_w sont respectivement les densités du substrat ($\rho_s=2650$ kg/m³) et de l'eau ($\rho_w=1000$ kg/m³);
- g est la constante d'accélération gravitationnelle ($g = 9.81$ m/s²);
- D_i est la taille des sédiments pour la gamme granulométrique i choisie (mm). D_i a été estimée à partir des courbes granulométriques issues des relevés de terrain (voir Annexe E).

Deux classes granulométriques ont été choisies pour étudier la capacité de transport de la rivière à Mars au niveau des tronçons étudiés :

- D_{50} : taille médiane des particules pour lequel 50 % de l'échantillon était plus fin. Cette taille permet d'estimer le taux de transport moyen dans un chenal;

- D_{90} : taille des sédiments dont 90 % de l'échantillon était plus fin. Une taille de sédiments plus grossière que D_{50} permet de renseigner sur la stabilité du chenal lors de forts débits.

Le tableau 6-3 compare la contrainte de cisaillement moyenne sur la section et la contrainte de cisaillement critique pour des sédiments de taille inférieure ou égale à D_{50} au niveau des transects étudiés.

Tableau 6-3 : Capacité de transport versus compétence pour un substrat de granulométrie inférieur ou égal à D_{50} au niveau des transects étudiés

Transect	Contrainte de cisaillement moyenne sur la section τ_0 (N/m ²)	D_{50} (mm)	Contrainte de cisaillement critique τ_c pour D_{50} (N/m ²)	Variation entre τ_0 et τ_c	Conditions de transport des grains D_{50}
1	142,3	100,4	80,4	176,9 %	Mobilisation
3	136,3	79,0	63,3	215,3 %	Mobilisation
5	248,4	195,5	156,6	158,6 %	Mobilisation
7	205,8	180,3	144,5	142,5 %	Mobilisation
8	71,8	88,1	70,6	101,8 %	Équilibre
10	158,3	159,0	127,4	124,3 %	Mobilisation
14	301,9	195,3	156,5	192,9 %	Mobilisation

Les résultats indiquent que pour 6 des 7 transects, la contrainte de cisaillement moyenne est plus élevée que la contrainte de cisaillement critique pour des sédiments de taille D_{50} . Pour ces 6 transects, la plupart du substrat est mobilisable lors du débit formateur. Si aucun apport de sédiments provenant de l'amont ou des berges n'est observé, il est probable que l'incision du chenal se poursuive dans ces tronçons de la rivière à Mars. En revanche pour le transect n° 8, la variation entre τ_0 et τ_c est négligeable (différence inférieure à 5 %), ce qui indique que ce transect est stable, c'est-à-dire que ni dépôt ni incision n'est attendu dans ce tronçon de rivière.

Puisque la majorité des transects présentent des conditions de mobilisation du substrat pour la classe granulométrique médiane (D_{50}) lors du débit formateur, il est intéressant de regarder si les plus grosses particules sont susceptibles d'être transportées dans les mêmes conditions. Le tableau 6-4 présente la variation entre τ_0 et τ_c pour la classe granulométrique D_{90} .

Tableau 6-4 : Capacité de transport versus compétence pour un substrat de granulométrie inférieur ou égal à D_{90} au niveau des transects étudiés.

Transect	Contrainte de cisaillement moyenne sur la section τ_0 (N/m ²)	D_{90} (mm)	Contrainte de cisaillement critique τ_c pour D_{90} (N/m ²)	Variation entre τ_0 et τ_c	Conditions de transport des grains D_{90}
1	142,3	234,9	188,2	75,6 %	Pas de mobilisation
3	136,3	169,9	136,1	100,1 %	Équilibre
5	248,4	277,9	222,7	111,6 %	Mobilisation
7	205,8	319,0	255,6	80,5 %	Pas de mobilisation
8	71,8	209,5	167,9	42,8 %	Pas de mobilisation
10	158,3	274,6	220,0	72,0 %	Pas de mobilisation
14	301,9	299,6	240,0	125,7 %	Mobilisation

Les résultats de l'analyse de la compétence du chenal pour la classe granulométrique D_{90} sont variables :

- Les transects 1, 7, 8 et 10 présentent des différences significatives entre les contraintes moyennes sur la section et les contraintes critiques, indiquant une faible probabilité de mobilisation du substrat grossier. Pour les transects 1, 7 et 10 dont le substrat de taille médiane était mobilisable (tableau 6-3), on peut s'attendre à observer un phénomène de pavage du lit de la rivière puisque les particules grossières ne sont pas transportables avec la géométrie de chenal actuelle. Le phénomène de pavage consiste à un grossissement du substrat dans un tronçon de rivière où les particules fines ont été « lessivées ». La figure 6-1 schématise le processus de pavage d'un chenal. Ce phénomène peut être néfaste pour les espèces de poissons qui nécessitent un substrat de taille moyenne pour la ponte.
- Le transect 3 présente une variation entre τ_0 et τ_c négligeable (inférieure à 5 %), ce qui indique que la portion grossière du substrat n'est théoriquement pas transportable lors du débit formateur. Ce transect présentait un potentiel de mobilisation pour le substrat de taille médiane (tableau 6-3), et est donc sujet au phénomène de pavage (figure 6-1).
- Les transects 5 et 14 présentent des variations positives de la contrainte moyenne par rapport à la contrainte critique, indiquant la probabilité de mobilisation du substrat grossier lors du débit formateur. Ces transects sont caractérisés par un chenal pentu et étroit, confiné entre deux berges artificialisées. Comme indiqué plus haut, si aucun apport de sédiments provenant de l'amont ou des berges n'est observé, on pourrait s'attendre à voir une incision du chenal se poursuivre dans ces tronçons de la rivière à Mars.

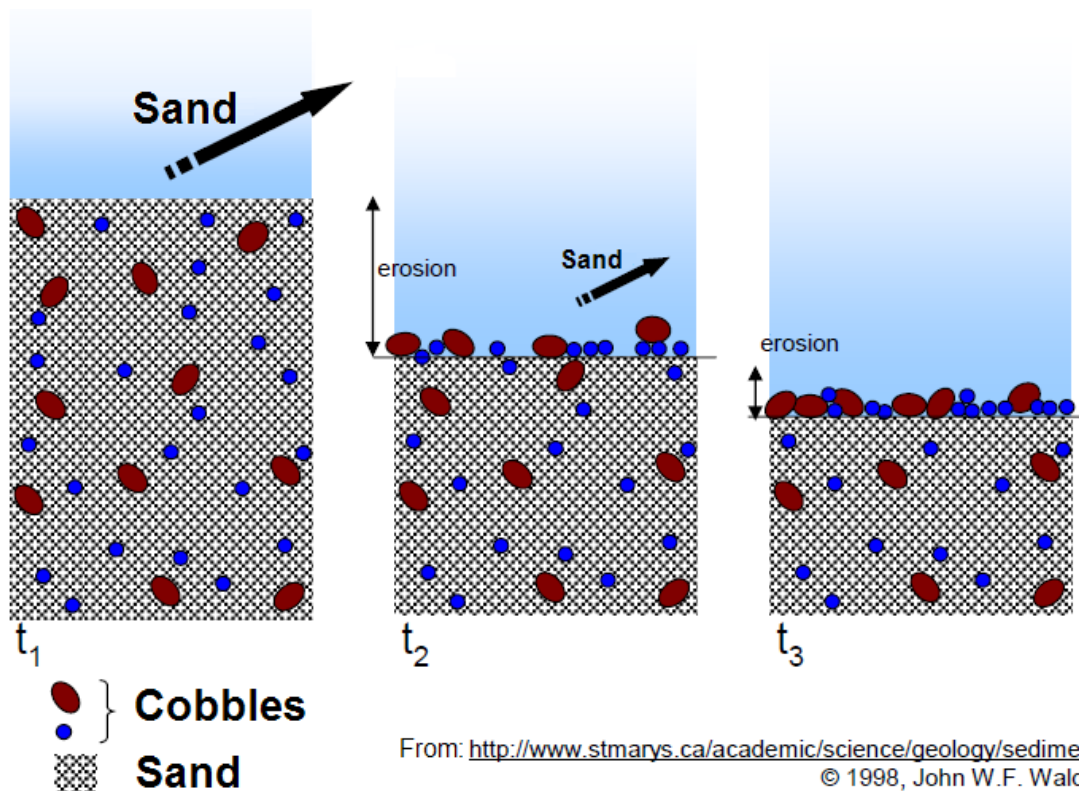


Figure 6-1 : Schéma conceptuel de la formation d'un pavage à la surface du lit d'un cours d'eau en dégradation.

7. Recommandations pour l'aménagement du cours d'eau et du bassin versant

Les observations faites au niveau des deux sites d'étude sur la rivière à Mars indiquent que le cours d'eau est en ajustement ou en transition vers un nouvel équilibre morphologique, et que le processus de dégradation (incision) est récurrent sur chaque tronçon. Ces ajustements au niveau de la géométrie du chenal ont eu des impacts sur l'approvisionnement en eau des étangs 7, 8 et 9 et sur l'accès à la passe migratoire ainsi que sur la franchissabilité de la chute pour les poissons entre les fosses 9 et 10.

Dans un premier temps, nous présentons les recommandations spécifiques permettant de trouver des solutions de réhabilitation et d'aménagement afin de remettre en service (ou de limiter le processus de dégradation) les fonctions écologiques des tronçons à l'étude. Dans un second volet, nous présentons des recommandations générales pour une gestion responsable et durable des cours d'eau dans un contexte à plus long terme.

7.1 Recommandations spécifiques

Pour chaque problématique, les solutions potentielles à court ou long terme sont proposées. Les solutions qui traitent les causes des problèmes ont été préférées aux solutions qui offrent seulement une gestion à court terme. 2 sites distincts font l'objet de recommandations spécifiques (figure 1-3) :

- Secteur des fosses 9 à 12, incluant la passe migratoire (PK-3.3) et le seuil entre les fosses 9 et 10 (PK-3.0);
- Secteur des étangs 7 à 9 au niveau de la prise d'eau (PK-7.3).

7.1.1 Fosses 9 à 12 (incluant la passe migratoire)

Cinq scénarios ont été proposés pour permettre de réaménager la passe migratoire afin de limiter le dépôt de sédiments au pied de la passe.

Contrairement aux autres scénarios, le scénario 1 consiste à effectuer une maintenance annuelle. Le scénario 2 propose une solution qui limiterait le processus d'incision du lit à proximité du site afin de reconnecter le banc latéral situé au pied de la passe. Les scénarios 3 et 4 proposent d'induire une dérivation du courant et des vitesses d'écoulement vers le banc d'accumulation afin que celui-ci soit « nettoyé » lors des fortes crues. Le scénario 5 propose la création d'une nouvelle passe migratoire de type chenal naturalisé.

7.1.1.1 Curetage annuel des sédiments accumulés

Le scénario 1 propose le minimum d'effort à fournir pour maintenir la pérennité de la passe migratoire. L'accumulation de sédiments au pied de la passe serait retirée lors d'un curetage annuel permettant de créer une fosse qui attirerait davantage les poissons au bas de la passe (figure 7-1). Ce scénario ne propose pas une solution à long terme, mais il permet de se concentrer sur une petite intervention localisée. De plus, l'excavation des sédiments en aval de la passe migratoire est réglementée par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) qui requiert que les sédiments soient déposés sur le banc exondé en rive droite (le banc de sédiments qui obstrue le chenal). Cette pratique est néfaste au démantèlement naturel du banc de sédiments par les crues, puisque celui-ci est de moins en moins submergé (déconnecté du système fluvial). Il serait préférable de déposer les sédiments extraits dans le chenal actif pour tenter d'enrayer le phénomène d'incision et de redonner les sédiments nécessaires au cours d'eau.



Figure 7-1 : Photographie de la zone d'accumulation de sédiments située en aval de la passe migratoire, nécessitant un curetage annuel

7.1.1.2 Renforcement du seuil en aval

Le scénario 2 examine la possibilité de restaurer et de renforcer le seuil déjà présent au niveau de la conduite de Énergir située en aval du banc d'accumulation. Le but de la création de ce seuil est de rehausser les niveaux d'eau jusqu'au pied de la passe migratoire et de reconnecter le banc latéral en rive droite (figure 7-2).

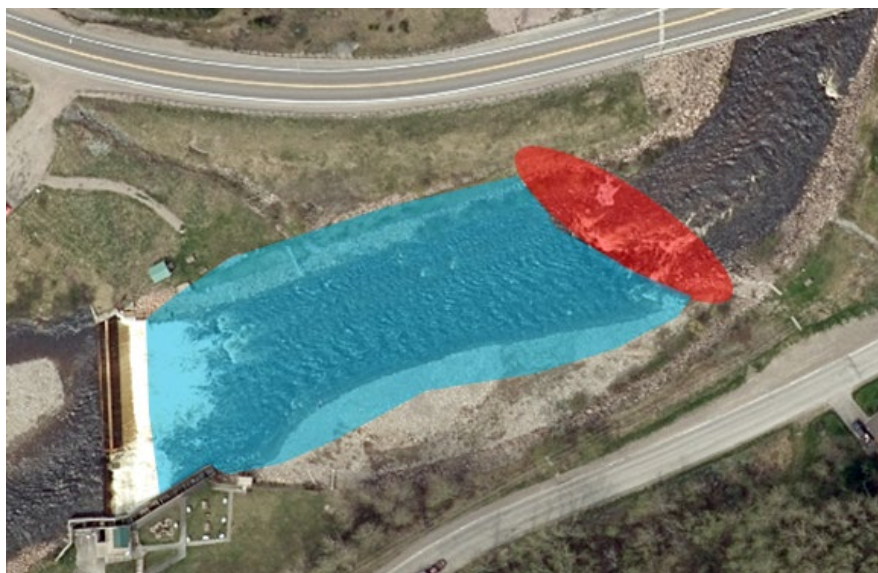


Figure 7-2 : Schéma du scénario 2 indiquant le potentiel lié au renforcement du seuil de Énergir en aval.

A priori, Il semble contradictoire de penser qu'un seuil en aval du banc d'accumulation puisse aider à limiter le dépôt de sédiments sur celui-ci, mais l'étude historique de la rivière a démontré que le seuil de Énergir jouait autrefois un rôle de stabilisateur sur le grade du cours d'eau. Depuis que ce seuil a été endommagé lors de la crue de 2010, un phénomène d'érosion (incision) régressive s'est alors installé au pied du barrage. Cette érosion régressive a eu pour effet de déconnecter le banc latéral en rive droite situé au pied de la passe migratoire. Les sédiments présents sur ce banc ne sont plus soumis aux forces

tractrices de la rivière et ne sont donc plus mobilisés lors des crues printanières. Il est alors évident qu'un rehaussement du lit dans ce tronçon permettrait de reconnecter le banc au cours d'eau, et permettrait potentiellement de mobiliser le substrat au pied de la passe.

7.1.1.3 Modification du barrage

Le scénario 3 consiste à aménager la crête du barrage Roméo-Tremblay en érigeant une butée en rive gauche qui permettrait de diriger le courant vers le banc d'accumulation plus en aval en rive droite (figure 7-3). De plus, une modification du barrage en rive droite serait envisageable afin de favoriser l'écoulement le long de la passe.



Figure 7-3 : Schéma de l'aménagement d'une butée sur le barrage Roméo-Tremblay permettant de dévier le courant vers le banc d'accumulation (scénario 3).

7.1.1.4 Réorienter l'écoulement en amont du barrage

Le scénario 4 utilise le même principe que le scénario 3 où l'on cherche à diriger le courant de la rive gauche vers la rive droite pour éroder le banc d'accumulation situé en aval de la passe migratoire. Ce scénario envisage de réorienter le chenal en amont du barrage pour que son approche soit alignée avec le banc d'accumulation (figure 7-4). Cette solution nécessite une intervention d'envergure dans le cours d'eau et une étude est nécessaire pour étudier les effets sur le transit sédimentaire et les réponses possibles au niveau des prises d'eau en amont du barrage (rive droite pour la passe et rive gauche pour la scierie).



Figure 7-4 : Schéma de la réorientation du chenal en amont du barrage Roméo-Tremblay pour favoriser l'écoulement vers le banc d'accumulation (scénario4).

7.1.1.5 Conception d'une nouvelle passe migratoire

Le scénario 5 envisage la conception d'une nouvelle passe migratoire de type chenal naturalisé (figure 7-5). Ce type d'aménagement a été réalisé avec succès à travers le monde. Toutefois, des travaux majeurs seraient nécessaires pour l'implanter sur la rivière à Mars.



Figure 7-5 : Exemple d'une passe migratoire naturalisée étant en continuité avec le cours d'eau et le transit sédimentaire (source : <https://www.beckmanmill.org/fish-ladder>).

7.1.1.6 Récapitulatif des scénarios proposés pour la réhabilitation de la passe migratoire

Les inconvénients et les avantages de chacun des cinq scénarios suggérés sont résumés dans le tableau 7-1.

Tableau 7-1 : Scénarios proposés pour le réaménagement de la passe migratoire

Scénario	Inconvénients	Bénéfices	Coûts
1 : Curetage annuel des sédiments accumulés	• Faible durée de vie	• Petite intervention	\$
2 : Renforcement seuil en aval	• Intervention en rivière	• Stabilisation de la conduite de gaz naturel (Énergir) • Stabilisation du substrat	\$\$
3 : Modification du barrage	• Intervention sur structure	-	\$\$
4 : Réorienter l'écoulement en amont du barrage	• Intervention dans le cours d'eau	• Contient l'érosion de la route • Ne faiblit pas le transit sédimentaire	\$\$\$
5 : Conception d'une nouvelle passe migratoire	• Travaux majeurs	• Attraction touristique	\$\$\$\$

7.1.1.7 Évolution du seuil naturel entre les fosses 9 et 10

Puisque la rivière à Mars est actuellement en ajustement dans le tronçon RAM-10 et sur la base des observations de terrain, il est difficile d'émettre des solutions quant à la réhabilitation du seuil naturel situé entre les fosses 9 et 10. Deux problématiques ont été relevées sur le terrain :

- Le niveau d'eau à la base du rapide (niveau de l'eau dans la fosse 9) est contrôlé par le seuil situé en aval au niveau de la fosse 8. D'après les résultats de l'étude sur la capacité de transport dans ce secteur (section 6.2), on peut s'attendre à une stabilisation de la dégradation et donc à un équilibre morpho-sédimentaire en aval du seuil. De plus, un fond argileux est visible à plusieurs reprises entre les fosses 7 à 9, indiquant que l'incision a atteint un niveau maximal dans le secteur (photo 7-1a). Il est toutefois possible de voir un lit composé d'argile continuer à s'inciser si aucune mesure de correction n'est mise en place dans le cas d'un déficit sédimentaire important. Dans un premier temps, nous recommandons de faire un suivi de l'évolution du chenal à court terme (< 5 ans) en procédant par comparaison des profils au niveau des transects 1 à 3 (figure 5-1). Si une incision est toujours active, nous suggérons d'injecter des sédiments fluviaux pour contrer la dégradation (ex. : les sédiments qui sont curétés chaque année au pied de la passe migratoire devraient minimalement se retrouver dans le cours d'eau plus à l'aval pour contrer le déficit. Ils pourraient alors être déplacés de la fosse 12 à la fosse 9). Additionnellement, un seuil en enrochement ainsi qu'une recharge de substrat pourraient contenir l'incision et maintenir un niveau d'eau plus élevé à la base du rapide.
- Le seuil entre les fosses 9 et 10 est actuellement en train de s'inciser en rive gauche le long de l'enrochement du côté de la scierie (photo 7-1b). En effet, le seuil qui est composé de roche-mère est incliné vers la rive gauche et en condition de déficit sédimentaire, le substrat qui était originellement présent au-dessus de la crête du seuil s'est incisé, favorisant l'écoulement en rive gauche. Le contrôle de l'érosion et de l'incision sur le seuil en rive gauche semblerait une solution pour contrer la création d'une chute infranchissable, puisqu'il limiterait l'accélération du courant dans une veine unique lors de l'étiage. Il est à noter que des blocs angulaires sont tombés sur le seuil à la suite de la déstabilisation de la berge en enrochement.

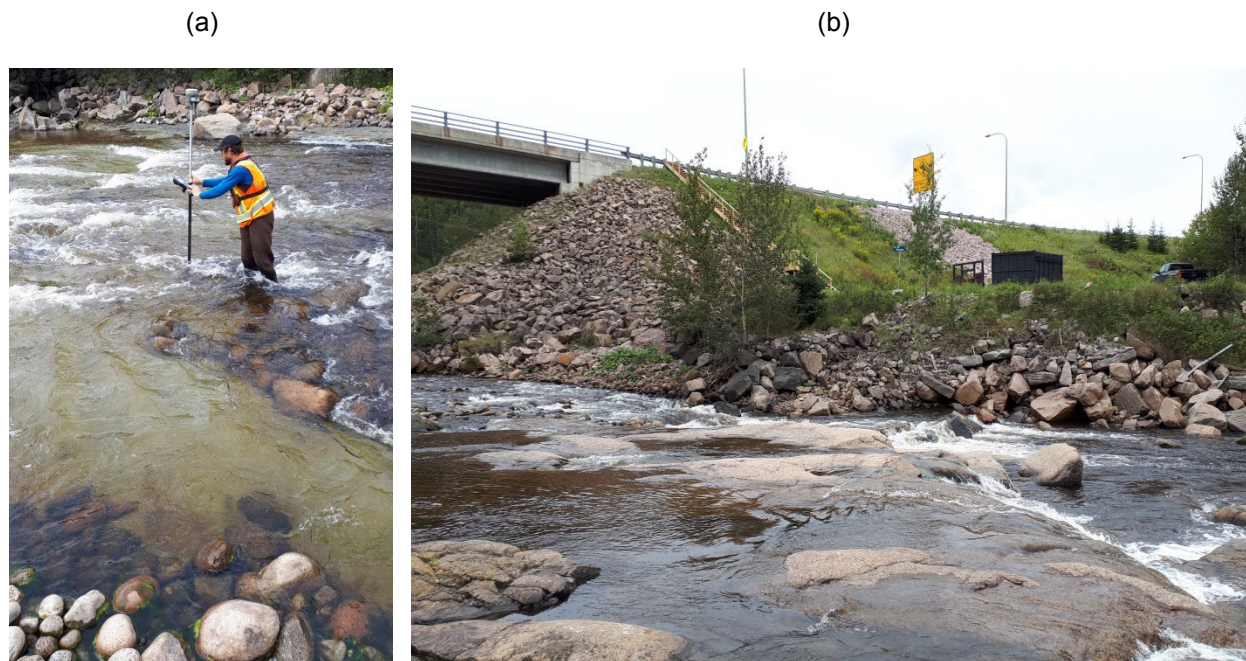


Photo 7-1 : Évidences au terrain des enjeux au niveau du seuil entre les fosses 9 et 10 (a) fond de rivière argileux indiquant un niveau de dégradation record; (b) incision du seuil en rive gauche et déstabilisation des enrochements.

7.1.2 Prise d'eau des étangs 7 à 9

Cinq scénarios ont été proposés pour permettre de réapprovisionner la prise d'eau de l'étang 7 et, par conséquent, de fournir un habitat pérenne pour la faune ichthyologique.

Les scénarios 1 et 2 proposent des ajustements au niveau du ponceau d'amenée de la prise d'eau. Le scénario 3 évalue la possibilité d'utiliser le pompage d'eau souterraine pour assurer un débit minimal. Les scénarios 4 et 5 examinent le potentiel de modifier le lit du cours d'eau pour favoriser l'apport hydrique vers la prise d'eau. Chacun des scénarios est discuté en détail dans la section suivante.

7.1.2.1 Scénario-1 : Abaissement du niveau de la prise d'eau

Le scénario 1 examine la possibilité de modifier les caractéristiques du ponceau d'amenée qui est actuellement en place. Ces modifications incluent un changement mineur de la pente du ponceau et un enfoncement de la conduite plus profond, pour atteindre un niveau d'entrée de la prise d'eau plus bas en élévation. Ce scénario nécessite des travaux d'excavation de la conduite déjà en place afin de l'installer entre 0,5 et 1 m en dessous de sa position actuelle. Il est recommandé de garder une pente légère au niveau de la conduite pour limiter le dépôt des sédiments qui pourraient l'obstruer avec le temps. Pour cela, un abaissement du niveau de l'étang 7 devra être réalisé simultanément. Pour une diminution de 0,5 m du niveau de l'étang, il serait recommandé d'abaisser le niveau de la prise d'eau de 0,7 m, faisant passer la pente de 0,004 m/m à 0,003 m/m. La figure 7-6 schématise la modification du ponceau.

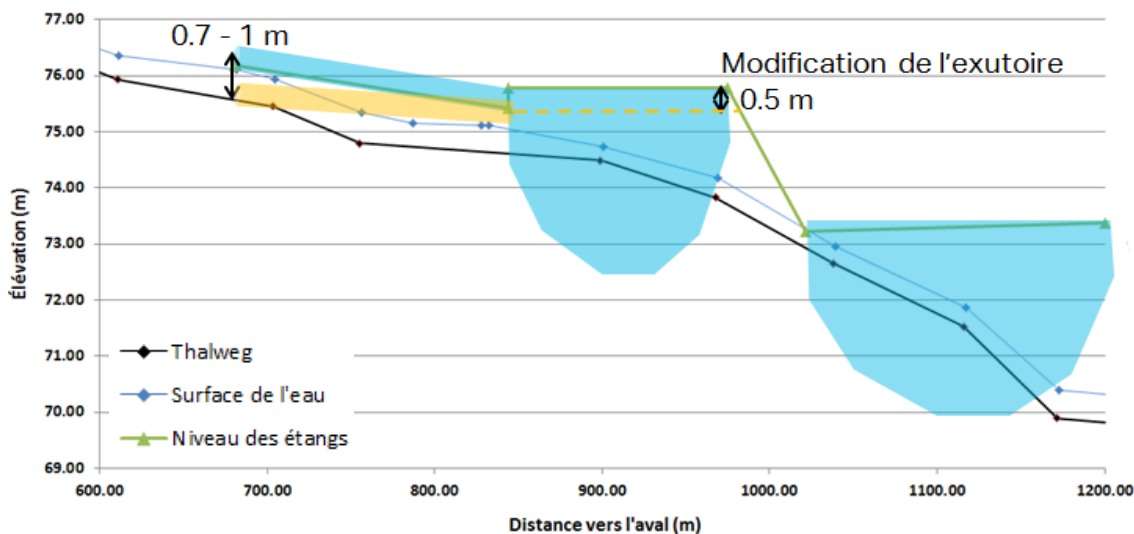


Figure 7-6 : Profil en long de la rivière à Mars au niveau des étangs 7 et 8, montrant les conditions actuelles de la prise d'eau (bleu) et le potentiel de restauration donné par le scénario 1 (orange)

7.1.2.2 Scénario 2 : Extension de la prise d'eau vers l'amont

Le scénario 2 envisage une extension de la conduite pour placer la prise d'eau au niveau d'un point de contrôle sur le grade (pente) du cours d'eau, où l'incision sera limitée par ce point « dur », le but étant de proposer une solution durable, peu importe les ajustements du lit de la rivière à moyen ou long terme. La conduite devra être allongée de 350 à 400 m, nécessitant des travaux d'excavation le long du chemin de terre en rive gauche (figure 7-7).

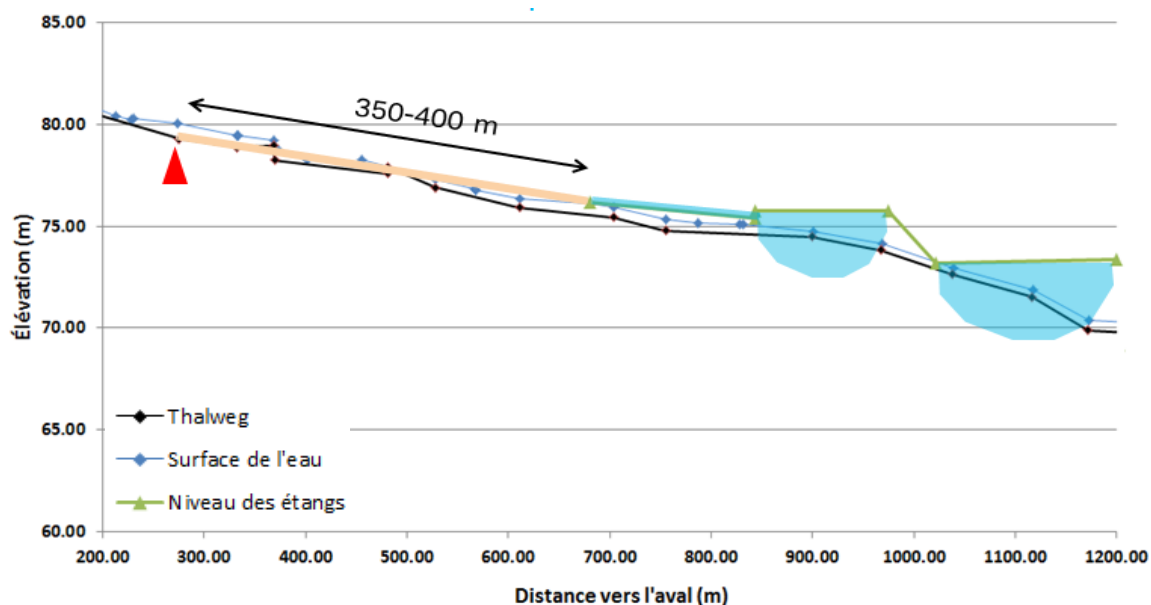


Figure 7-7 : Profil en long de la rivière à Mars au niveau des étangs 7 et 8, montrant la possibilité de rallonger la conduite de la prise d'eau (scénario 2). Le triangle rouge désigne la position d'un seuil en enrochement.

7.1.2.3 Scénario 3 : Pompage des eaux souterraines

Le scénario 3 propose d'utiliser l'eau des nappes phréatiques avoisinantes pour recharger les étangs lorsqu'ils ne seront plus alimentés par la rivière au cours de la période d'étiage. Les températures plus froides des eaux souterraines offrent également un avantage comparativement aux deux premiers scénarios lors des canicules estivales, car l'eau plus froide que dans la rivière pourrait servir de refuge pour les salmonidés. Les figures 7-8a et b présentent le potentiel des stations piézométriques autour des étangs. Toutefois, cette solution nécessiterait d'entretenir un système de pompage en permanence.

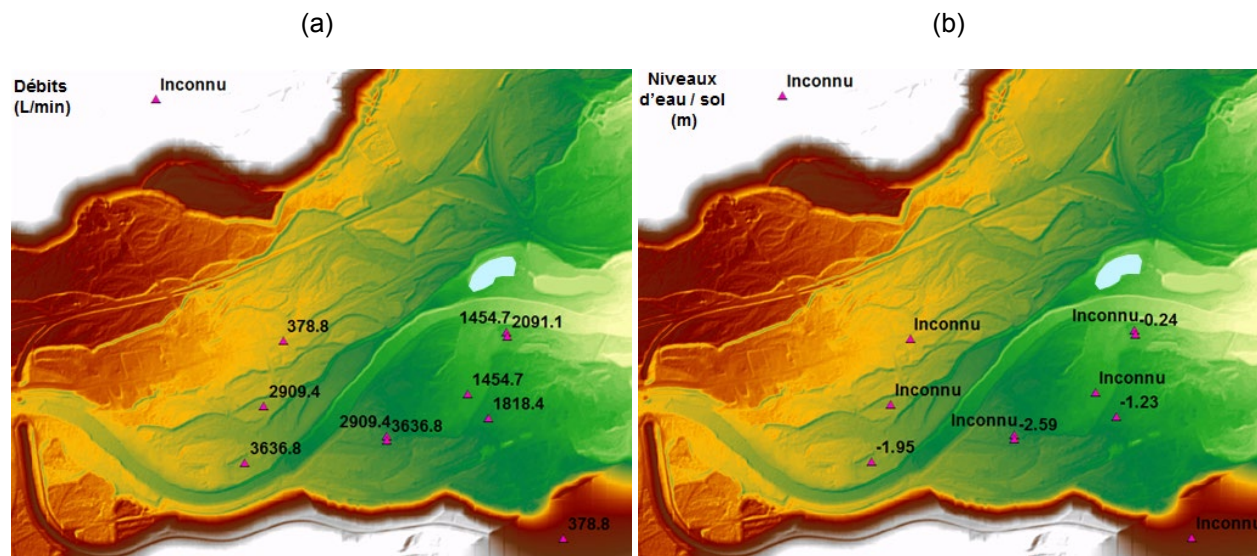


Figure 7-8 : Cartes des stations piézométriques indiquant (a) les débits et (b) les niveaux de nappes par rapport au sol

7.1.2.4 Scénario 4 : Construction d'un seuil pour surélever le niveau de l'eau à la prise d'eau

Le scénario 4 propose la construction d'un seuil en enrochement en aval de la prise d'eau afin de créer une courbe de remous qui permettrait d'alimenter la prise d'eau pour n'importe quelles conditions hydrologiques. Le seuil proposé serait composé de roches angulaires multimétriques non ancrées dans le chenal afin de garder une flexibilité sur l'ouvrage. Des pentes adoucies en amont et en aval permettraient de minimiser les impacts sur le transit sédimentaire et sur les processus naturels (figure 7-9). Finalement, la création d'une zone de recharge sédimentaire par l'importation et la mise en place d'un substrat mixte de roches arrondies entre 10 et 100 mm est proposée pour recréer des habitats de pontes pour les salmonidés.



Figure 7-9 : Exemple de seuil en enrochement proposé dans le scénario 4 (crédit photo : Miroslav Chum).

7.1.2.5 Scénario 5 : Renforcement des seuils existants et recharges sédimentaires le long du tronçon

Le scénario 5 est un scénario complémentaire au scénario 4, pour lequel un seuil en enrochement serait réalisé, et une recharge sédimentaire sur les seuils voisins serait envisagée pour limiter le changement de pente local au niveau de la prise d'eau et un affouillement associé. La figure 7-10 présente le concept de « bris de pente » d'une telle solution qui permettrait potentiellement de créer plus de 1 000 m² de frayères pour les salmonidés.

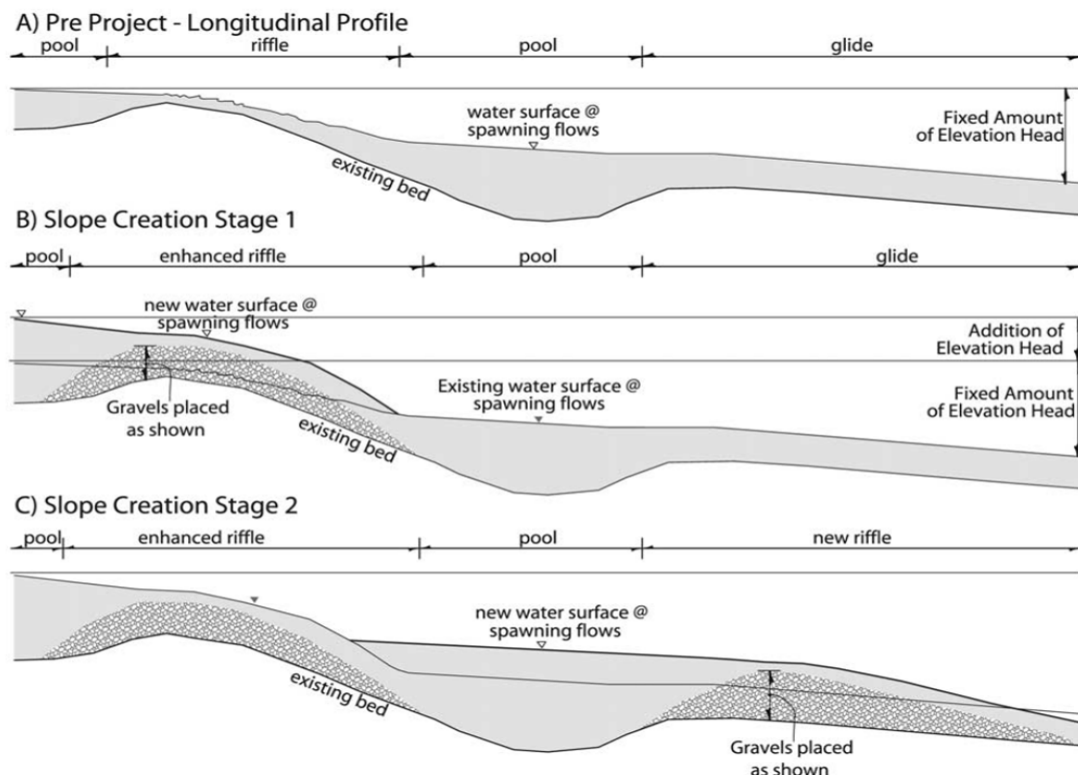


Figure 7-10 : Schéma de l'aménagement des seuils dans le tronçon à l'étude indiquant le bénéfice de la recharge multiple sur la modification de la pente locale (source : Elkins et al., 2007)

7.1.2.6 Récapitulatif des scénarios proposés pour le réapprovisionnement de la prise d'eau des étangs 7 à 9

Les inconvénients et les avantages de chacun des cinq scénarios suggérés sont résumés dans le tableau 7-2.

Tableau 7-2 : Scénarios proposés pour le réapprovisionnement de la prise d'eau des étangs 7 à 9

Scénario	Inconvénients	Bénéfices	Coûts
1 : Abaissement du niveau de la prise d'eau	• Perte de superficie de l'étang • Faible durée de vie	• Intervention localisée	\$\$\$
2 : Extension de la prise d'eau vers l'amont	• Travaux conséquents • Ne règle pas le problème d'érosion	• Durée de vie rallongée, mais pas permanent	\$\$\$\$
3 : Pompage des eaux souterraines	• Dépend de la capacité des nappes phréatiques environnantes • Maintien du système de pompage	• Eau pérenne • Température favorisant des habitats de refuge thermiques	\$
4 : Construction d'un seuil pour surélever le niveau de l'eau à la prise d'eau	• Intervention dans le cours d'eau • Durée de vie limitée	• Stabilisation des berges localement • Diminution des vitesses et dépôts d'alluvions	\$\$
5 : Renforcement des seuils existants + recharges sédimentaires	• Intervention dans le cours d'eau	• Stabilisation de l'ensemble du tronçon • Ajout considérable de frayères	\$\$\$

7.2 Recommandations pour la gestion du cours d'eau à long terme

La rivière à Mars est un cours d'eau qui subit actuellement des ajustements morpho-sédimentologiques nécessitant une vision à long terme pour restaurer et maintenir les habitats et les fonctions du cours d'eau. Pour atteindre ces objectifs, deux approches appropriées aux spécificités de la rivière à Mars ont été suggérées.

7.2.1 Limitation des interventions dans l'espace de liberté

L'espace de liberté est un outil efficace pour définir des zones à risque d'inondation et d'érosion fluviale potentielles à long terme. Si des interventions sont évitées dans ces zones, le cours d'eau peut occuper le territoire qui lui est nécessaire pour son fonctionnement naturel (il faut bien noter qu'un chenal stable ne veut pas dire qu'il soit statique, car les processus d'érosion et de sédimentation font partie de ce fonctionnement naturel).

La gestion de l'espace de liberté nécessite de limiter la construction d'infrastructures et de bâtiments dans la zone à risque d'inondation et d'érosion pour protéger l'intégrité du cours d'eau et ainsi éviter des dommages et des coûts d'entretien futurs. Il est donc préférable de laisser un corridor fluvial calqué sur l'espace de liberté. Toutefois, si ce n'est pas possible pour la rivière à Mars, une bande riveraine peut être définie, où des efforts de restauration active avec l'utilisation du génie végétal pourraient contribuer à la stabilisation des berges à long terme. Si l'espace de liberté recouvre des terres agricoles, une option consiste à reconnaître que ces dernières seront éventuellement touchées par l'érosion (occasionnant des pertes de récoltes) et qu'il serait préférable d'y modifier les pratiques agricoles, plutôt que de protéger des berges pour empêcher des processus naturels.

Il faut aussi noter que l'espace de liberté n'est pas le seul aspect qui doit être pris en compte dans un « corridor fluvial ». Les autres considérations typiques incluent les besoins écologiques.

7.2.2 Limitation / réduction de la stabilisation des berges par enrochement statique

La présente étude montre de façon préliminaire que la rivière à Mars est en déficit sédimentaire. À des fins de vision à long terme, il serait intéressant de considérer le démantèlement de certaines digues d'enrochement pour laisser libre cours à la rivière, là où l'interaction avec les infrastructures et les services le permettrait. Le but du démantèlement de certaines digues du cours d'eau est de permettre à la rivière de s'approvisionner en sédiments sur les berges, pour réduire le déficit sédimentaire et ralentir l'incision, ainsi que de créer une variabilité spatiale avec un étalement latéral. Dans cette optique, la rivière à Mars pourrait devenir un projet pilote pour la réhabilitation des rivières au Saguenay.

Références

Ashworth, P. J., R. I. Ferguson, P. E. Ashmore, C. Paola, D. M. Powell, and K. L. Prestegard (1992), Measurements in a braided river chute and lobe: 2. Sorting of bed load during entrainment, transport and deposition, *Water Resour. Res.*, 28, 1887 – 1896.

Biron, P.M., Buffin-Bélanger, T., Larocque, M., Choné G., Cloutier C.A., Ouellet, M.A., Demers, S., Olsen, T., Desjarlais, C., Eyquem, J. (2014) Freedom Space for Rivers: A Sustainable Management Approach to Enhance River Resilience. *Environmental Management*, 54-5: pp. 1056-1073.

Buffin-Bélanger, T., Biron, P. M., Larocque, M., Demers, S., Olsen, T., Choné, G., Ouellet, M.-A., Cloutier, C.-A., Desjarlais, C. & Eyquem, J. (2015). Freedom space for rivers: An economically viable river management concept in a changing climate. *Geomorphology*, 251, 137-148.

Credit Valley Conservation, (2010) Geomorphological Hazards – Confined and Unconfined Watercourses, Fluvial Geomorphic Guidelines.

Elkins, E. M., G. B. Pasternack, and J. E. Merz (2007), Use of slope creation for rehabilitating incised, regulated, gravel bed rivers, *Water Resour. Res.*, 43.

Lasalle, P. et Tremblay, G. (1978). Dépôts meubles-Saguenay-Lac-Saint-Jean. (Rapport géologique 191), Québec: Direction générale de la recherche géologique.

Ministère des Transports. (1994) Manuel de conception des ponts. Service de l'hydraulique, Québec, Publications officielles.

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (2018) Description des provinces naturelles

URL : http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/biodiversite/aires_protegees/provinces/partie4a.htm

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (2015) Identification et délimitation des milieux humides du Québec méridional.

URL : <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/rives/delimitation.pdf>

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. (2010) Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables, C. Q-2, R. 35, Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables.

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. (2011) Guide de gestion des eaux pluviales: Stratégie d'aménagement, principes de conception et pratiques de gestion optimales pour les réseaux de drainage en milieu urbain, Chapitre 9 – Contrôle d'érosion.

URL : <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/pluviales/guide.htm>

Ministry of the Environment. (2003) Stormwater Management Planning and Design Manual, Ontario Ministry of Environment, March 2003.

URL: http://www.ene.gov.on.ca/environment/en/resources/STD01_076363.html

Ontario Ministry of Municipal Affairs and Housing, (2005) Provincial Policy Statement, Queen's Printer for Ontario.

URL: <http://www.mah.gov.on.ca/Page215.aspx>

Ontario Ministry of Natural Resources, (2001) Understanding Natural Hazards, Queen's Printer for Ontario.

URL: http://www.mnr.gov.on.ca/en/Business/Water/Publication/MNR_E002317P.html

Pêches et Océans Canada. 2016. Lignes directrices pour les traversées de cours d'eau au Québec. 73 pages + annexes.

URL: http://www.foretprivee.ca/wp-content/uploads/2016/05/Lignes_dir_traversees_QC_2016-MPO.pdf

Petit, F. (1994), Dimensionless critical shear stress evaluations from flume experiments using different gravel beds, *Earth Surf. Processes Landforms*, 19, 565 – 576.

Toronto Region Conservation Authority. (2004) Belt Width Delineation Procedures. Submitted by Parish Geomorphic Ltd.

URL :

<http://www.sustainabletechnologies.ca/Portals/Rainbow/Documents/Belt%20Width%20Delineation%20Procedures.pdf>

Ville de Saguenay, (2011) Schéma d'aménagement et de développement.

URL : <https://ville.saguenay.ca/services-aux-citoyens/urbanisme/schema-damenagement>

Wolman, M. G. (1954), A method of sampling coarse river-bed material, *Eos Trans. AGU*, 35(6), 951–956.

Annexe A :

Méthode d'évaluation géomorphologique rapide

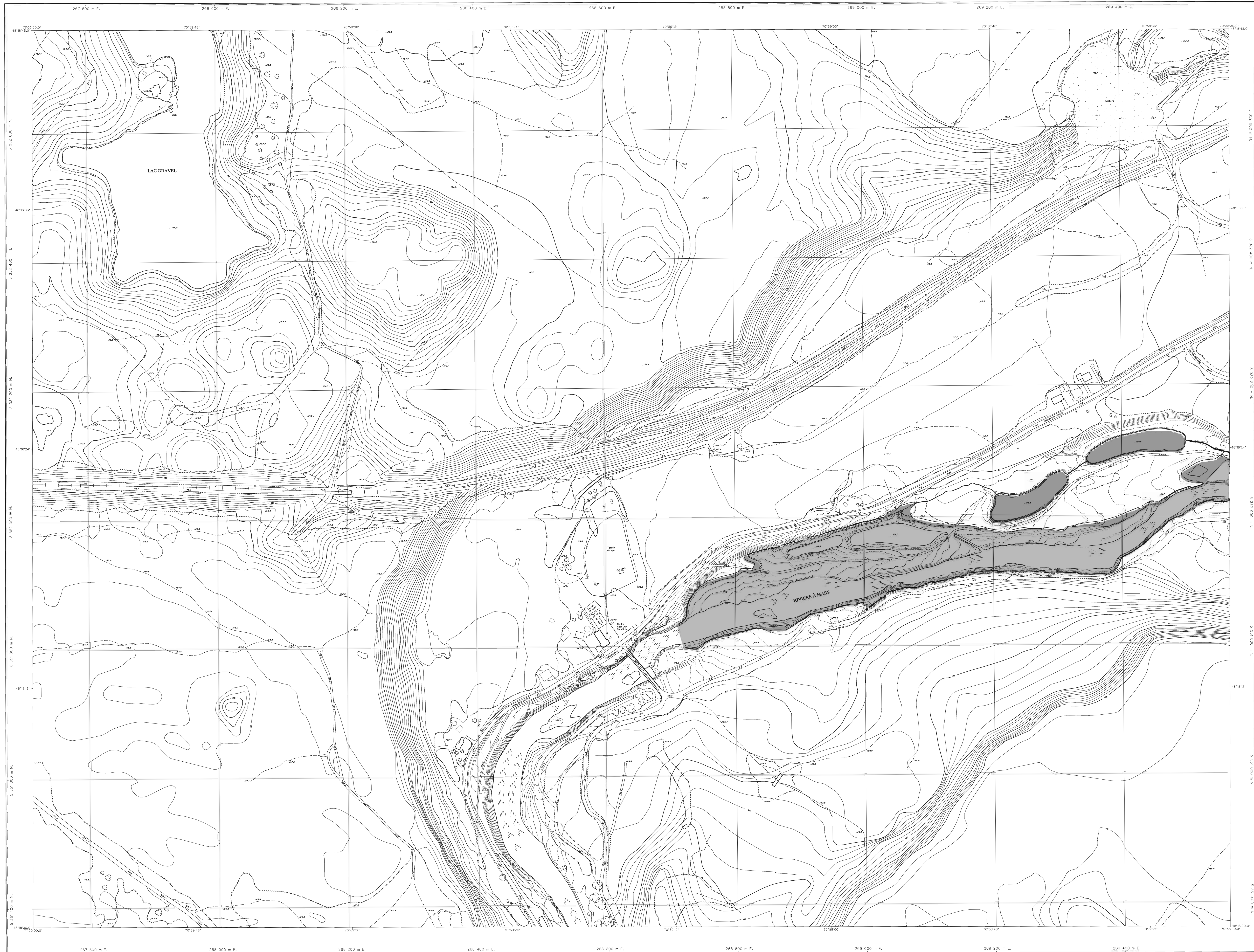
Tableau 9.9

Résumé des indices pour l'évaluation géomorphologique rapide (adapté de MEO, 2003).

Forme/Processus	Indicateur géomorphologique		Présent		Facteur
	No (2)	Description (3)	Non (4)	Oui (5)	Valeur (6)
Évidence d'alluvionnement (ID)	1	Aire de dépôt (bar)			
	2	Matériaux grossiers dans zones rapides			
	3	Dépôt de silt dans zones tranquilles			
	4	Aire de dépôt au milieu			
	5	Accumulation sur les aires de dépôt dans les courbes			
	6	Mauvaise ségrégation longitudinale des matériaux du lit			
	7	Dépôts dans la zone extérieure			
		Somme des indices			
Évidence d'érosion (IE)	1	Fondations de pont exposées			
	2	Conduites exposées			
	3	Émissaire pluvial surélevé			
	4	Gabion/béton minés			
	5	Trou d'érosion en aval des ponceaux/émissaires			
	6	Face coupée pour les aires de dépôt			
	7	Coupe verticale			
	8	Couche de protection avec base dégagée			
	9	Canal dégradé jusqu'au roc			
		Somme des indices			
Évidence d'élargissement (IEL)	1	Arbres, arbustes, clôtures tombés			
	2	Présence de débris organiques de grandes dimensions			
	3	Racines d'arbres exposées			
	4	Érosion au bas du talus dans les méandres			
	5	Érosion au bas de talus sur les 2 côtés dans les zones rapides			
	6	Gabion/murs contournés par l'écoulement			
	7	Longueur de l'érosion au bas de talus > 50 % dans le tronçon			
	8	Longueur exposée d'une conduite ou d'un câble antérieurement enfouis			
	9	Lignes de fracture en haut du talus			
	10	Fondations de bâtiment exposées			
		Somme des indices			
Évidence d'ajustement de la forme en plan (IP)	1	Formation de coupe(s)			
	2	Canal simple à canaux multiples			
	3	Évolution de la forme zone tranquille (bassin) vers zone rapide à un lit abaissé			
	4	Canaux de coupe			
	5	Formation d'îles			
	6	Alignement du thalweg déphasé avec la forme des méandres			
	7	La forme des aires de dépôt mal définie			
		Somme des indices			
Indice de stabilité (IS) = (ID + IE + IEL + IP) / m					

Annexe B :

**Cartographie des zones inondables dans la partie aval de la
rivière à Mars (aval du barrage des murailles)**



	Road, not grade, no paved Street, paved, unopposed
	Road in construction, no road under construction, ally
	Point, poncila, base, passage Bridge, culvert, overpass
	Vow fence Railway
	Vow fence in construction, down Railway under construction, down
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	

		Édifices : non résidentiel, du culte non résidentiel building, church or synagogue
		Edifices (sans forme) building (no style)
		bâtiment symbolisé, cellule de culte symbolized building, corner cell
		en construction ou en ruine, coupé/ou under construction or ruins, finished
		Serre Greenhouse
		Placide, hydroplané Swimming pool, water tank
		Cata sèche, hydroplané Dry cat, no plane tank
		Pylône de ligne à haute tension High voltage transmission line tower
		Tour d'émission Radio or television tower
		Lampadaire, poteau Streetlight, pole
		Pilier, poteau à deux flèches Pillar, post with two arrows

Figure 1 is a schematic representation of the experimental setup. It shows a top-down view of a rectangular arena. In the center is a small square platform. A dashed line with an arrow indicates a path starting from the platform and moving towards the right wall. A scale bar at the bottom indicates 100 cm.

Evidence d'occupation: clôture, mur
Occupation signs: fence, wall
Autres
Others

Courbe maîtresse, courbe intermédiaire
Inferior contour, intermediate contour
Courbe approximative, courbe de
Approximate contour, depression contour
Point coté, élévation des plans d'eau
Spot height, water surface elevation

Zone de la crue de 20 ans
Area of the 20 year flood
Zone de la crue centennale
Area of the 100 year flood

pression

Mètre 0 50 100
 Pied 0 200

Projection Mercator Transverse Modifiée, fuseau 7
 Surface de référence: ellipsoïde CRS80
 Réseau géodésique: réseau unifié

Courbes à équidistance de 0,5 mètre et 2 mètres
 Origine des altitudes: niveau moyen de la mer

Photographie aérienne: 1:6000, 1996

**LA BAIE
LIÈRE À MARS**

1:75 000 SCALE

0 150 200 250 300 Metres
000 600 800 1000 Feet

Modified Transverse Mercator Projection, zone 18N
Reference surface: ellipsoid GRS80
Geodesic network: unified network
Contour intervals at 0.5 metre and 2 metres
Altitude datum: mean sea level
Aerial photography: 1:80000, 1998

AVIS À L'UTILISATEUR DE CETTE CARTE

CETTE CARTE N'EST ÉMISE QU'À TITRE D'INFORMATION. LES ZONES INONDABLES QUI Y SONT DÉLIMITÉES CORRESPONDENT À DES PROBABILITÉS THÉORIQUES D'OCCURRENCE D'INONDATION QUI SE PRODUISENT EN EAU LIBRE.

LE FAIT D'ÊTRE À L'INTÉRIEUR DE LA ZONE INONDABLE N'INDIQUE PAS UNE CERTITUDE D'ÊTRE INONDÉ MAIS PLUTÔT UNE PROBABILITÉ ANNUELLE DE L'ÊTRE, DE MÊME QUE LE FAIT D'ÊTRE SITUÉ À L'EXTÉRIEUR DE LA ZONE INONDABLE N'EST PAS UNE CERTITUDE DE NE JAMAIS ÊTRE INONDÉ MAIS PLUTÔT UNE PROBABILITÉ BEAUCOUP PLUS FAIBLE DE L'ÊTRE.

NOTICE TO MAP USER

THIS MAP IS PRODUCED FOR INFORMATION ONLY. THE FLOOD RISK AREAS SHOWN CORRESPOND TO THEORETICAL PROBABILITIES OF FLOOD OCCURRENCES UNDER OPEN WATER CONDITIONS.

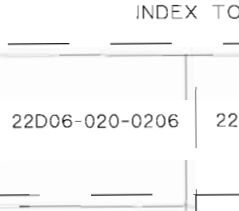
IF YOUR PROPERTY IS SHOWN ON A FLOOD RISK AREA, THERE IS NO CERTAINTY THAT IT WILL BE FLOODED IN ANY ONE YEAR, BUT RATHER AN ANNUAL PROBABILITY OF IT BEING SO. SIMILARLY IF IT IS SHOWN OUTSIDE A FLOOD RISK AREA, THERE IS NO CERTAINTY OF IT NEVER BEING FLOODED BUT RATHER A MUCH LOWER PROBABILITY OF IT BEING SO.

LES ZONES INONDABLES DÉLIMITÉES SUR CETTE
CARTE ONT ÉTÉ DÉSIGNÉES PAR LE MINISTRE
DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC ET PAR LE
MINISTRE D'ENVIRONNEMENT CANADA,
LE 30 MARS 2001.

THE FLOOD RISK AREAS DEPICTED ON THIS MAP
HAVE BEEN DESIGNATED BY THE MINISTRE DE
L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC AND THE MINISTER
OF ENVIRONMENT CANADA ON MARCH 30, 2001.

TABLEAU D'ASSEMBLAGE
INDEX TO ADJOINING SHEETS

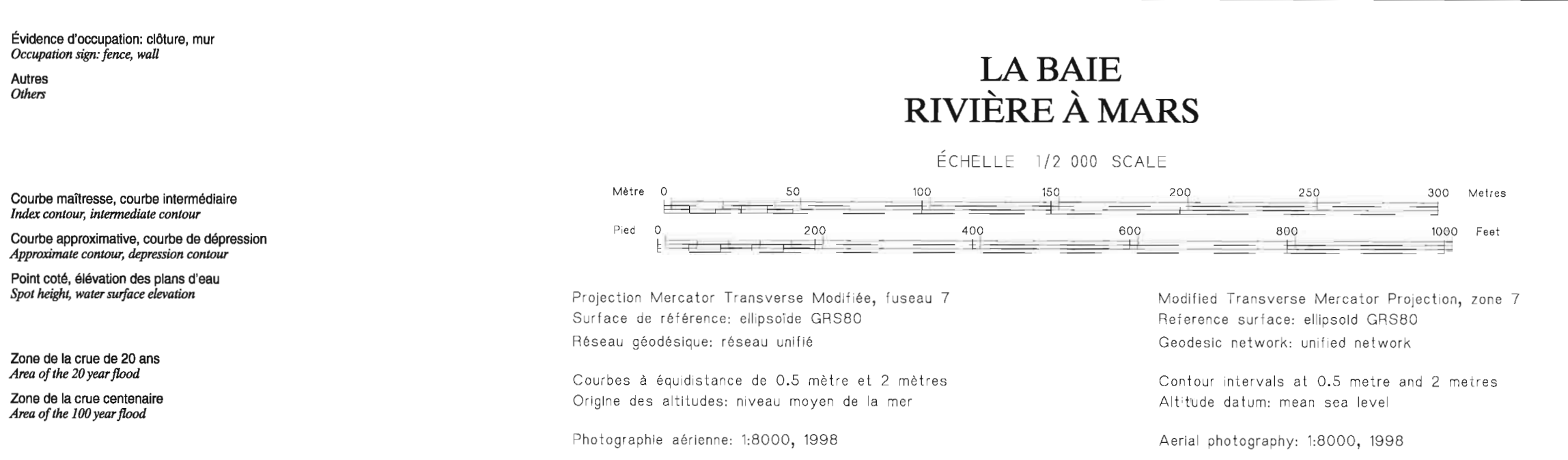
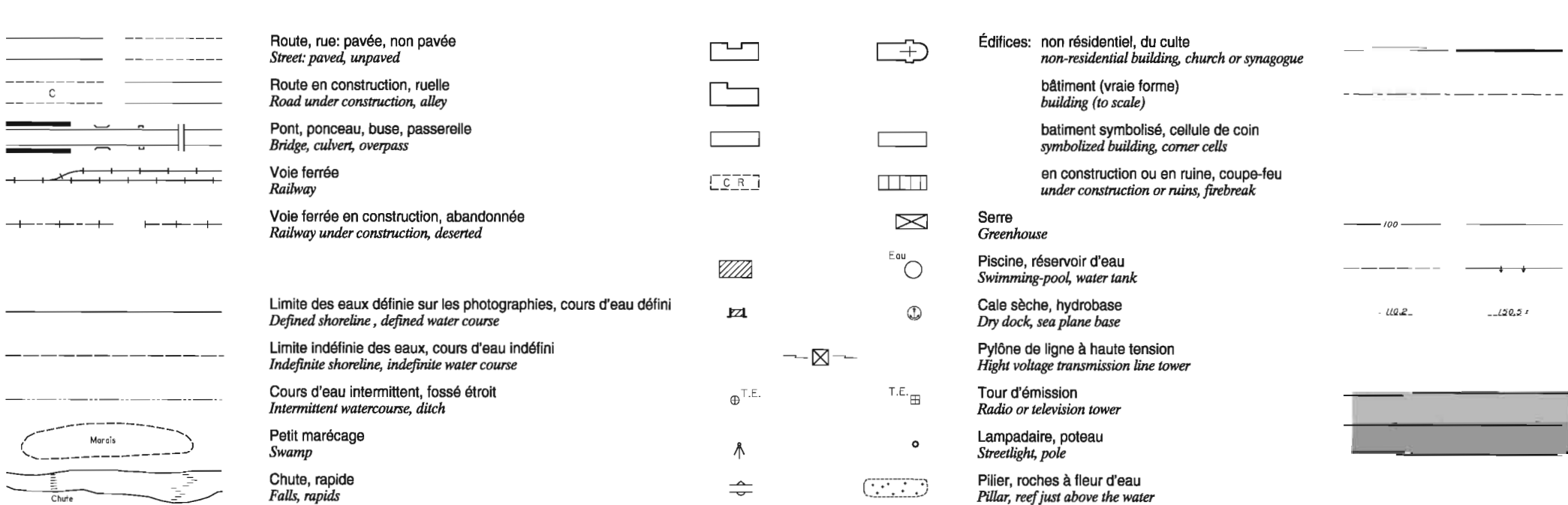
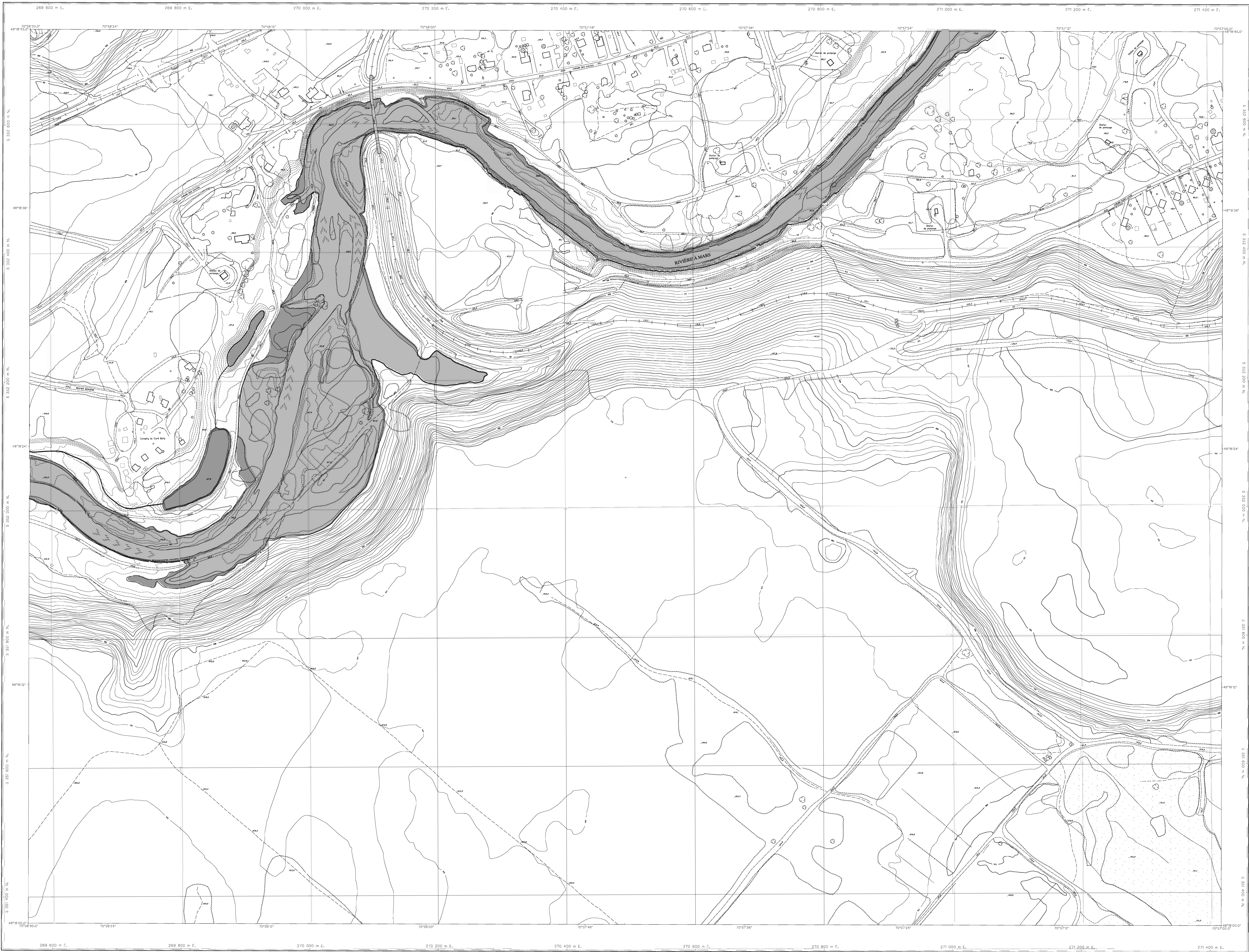
22D06-020-0206	22D07-020-0601	22D07-020-0603
22D06-020-0320	22D07-020-0501	22D07-020-0502
22D06-020-0420	22D07-020-0401	22 D 02 -020-040



LA BAIE
RIVIÈRE À MARS
22D07-020-0501

David Anderson
DAVID ANDERSON
CANADA

ANDRÉ BOISCLAIR
QUÉBEC



AVIS À L'UTILISATEUR DE CETTE CARTE

CETTE CARTE N'EST QU'À TITRE D'INFORMATION. LES ZONES INONDABLES QUI Y SONT DÉLIMITÉES CORRESPONDENT À DES PROBABILITÉS THÉORIQUES D'OCCURRENCE D'INONDATION QUI SE PRODUISSENT EN EAU LIBRE.

LE FAIT D'ÊTRE À L'INTÉRIEUR DE LA ZONE INONDABLE N'INDIQUE PAS UNE CERTITUDE D'ÊTRE INONDÉ MAIS PLUTÔT UNE PROBABILITÉ ANNUELLE DE L'ÊTRE, DE MÊME QUE LE FAIT D'ÊTRE EN DEHORS DE LA ZONE INONDABLE N'EST PAS UNE CERTITUDE DE NE JAMAIS ÊTRE INONDÉ MAIS PLUTÔT UNE PROBABILITÉ BEAUCOUP PLUS FAIBLE DE L'ÊTRE.

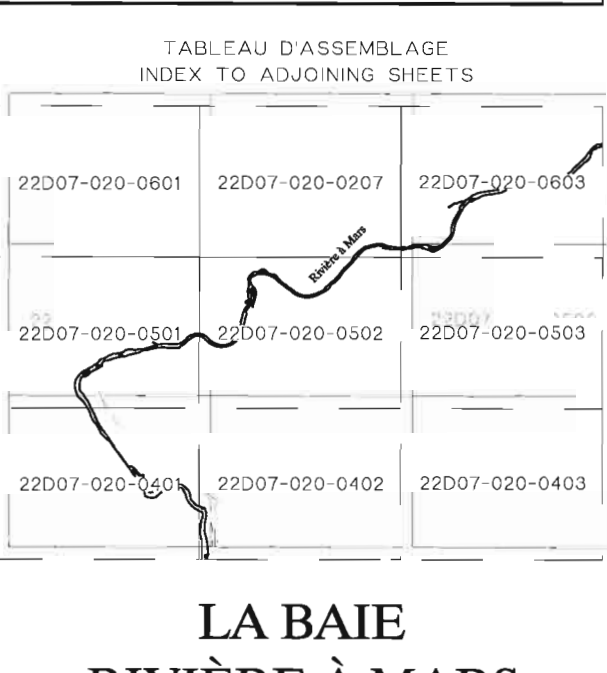
NOTICE TO MAP USER

THIS MAP IS PRODUCED FOR INFORMATION ONLY. THE FLOOD RISK AREAS SHOWN CORRESPOND TO THEORETICAL PROBABILITIES OF FLOOD OCCURRENCES UNDER OPEN WATER CONDITIONS.

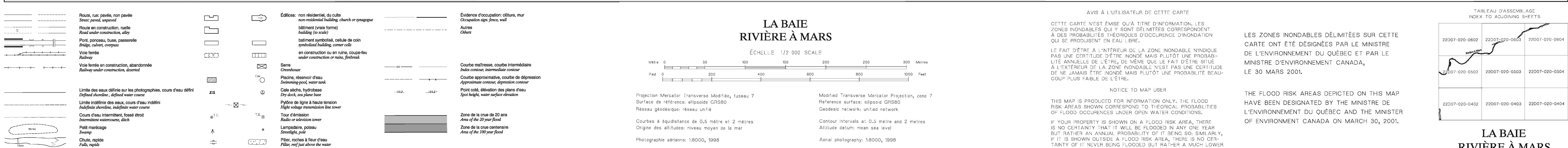
IF YOUR PROPERTY IS SHOWN ON A FLOOD RISK AREA, THERE IS NO CERTAINTY THAT IT WILL BE FLOODED IN ANY ONE YEAR BUT RATHER AN ANNUAL PROBABILITY OF IT BEING SO. SIMILARLY, IF IT IS SHOWN OUTSIDE A FLOOD RISK AREA, THERE IS NO CERTAINTY OF IT NEVER BEING FLOODED BUT RATHER A MUCH LOWER PROBABILITY OF IT BEING SO.

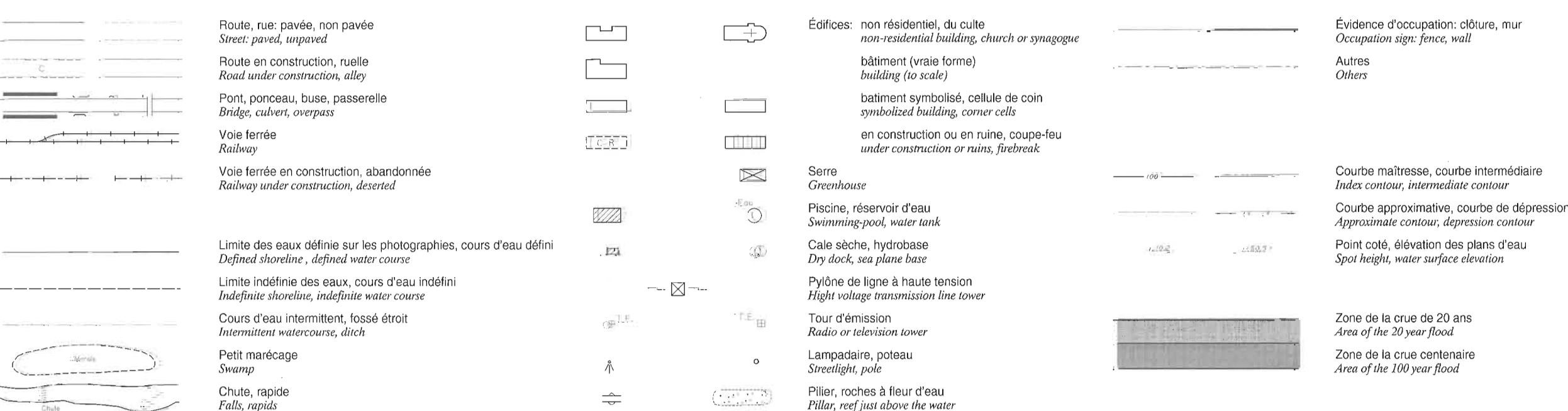
LES ZONES INONDABLES DÉLIMITÉES SUR CETTE CARTE ONT ÉTÉ DÉSIGNÉES PAR LE MINISTRE DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC ET PAR LE MINISTRE D'ENVIRONNEMENT CANADA, LE 30 MARS 2001.

THE FLOOD RISK AREAS DEPICTED ON THIS MAP HAVE BEEN DESIGNATED BY THE MINISTRE DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC AND THE MINISTER OF ENVIRONMENT CANADA ON MARCH 30, 2001.



LA BAIE RIVIÈRE À MARS 22D07-020-0502



[illegible]

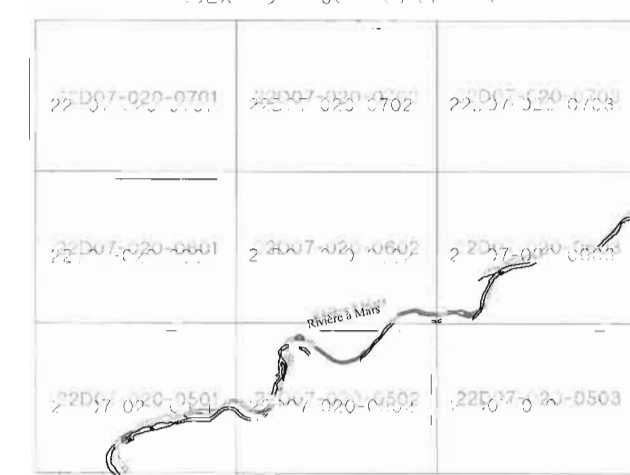
NOTICE TO WWP USER

53. FOR INFORMATION ONLY, THE FLOOD (CONTINGENCY) TO THEORETICAL PROBABILITIES OF A FLOOD UNDER OPEN WATER CONDITIONS.

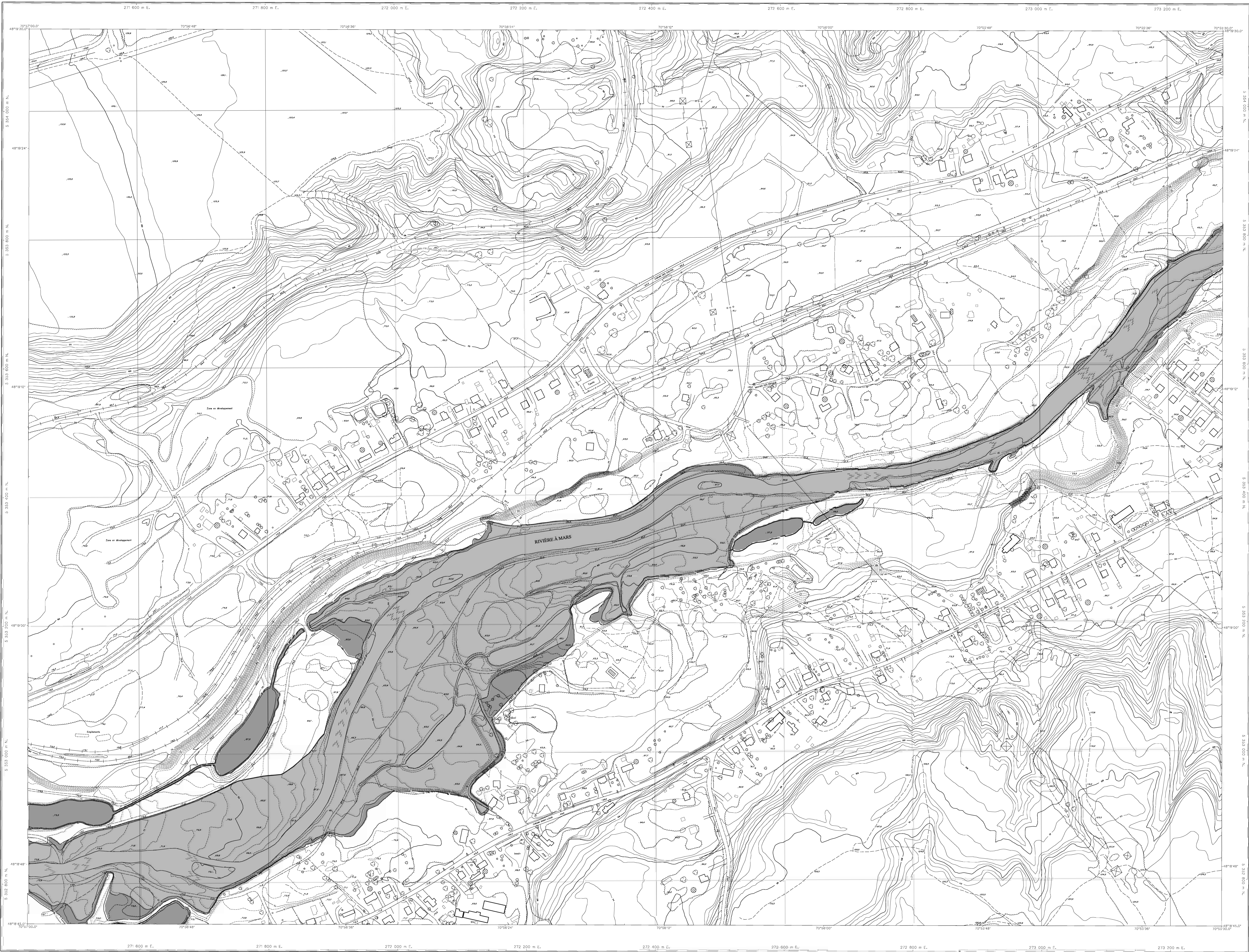
54. SHOWING A FLOOD RISK AREA, THERE IS A 1% CHANCE OF A FLOOD IN ANY ONE YEAR. THE PROBABILITY OF IT BEING OF A GREATER RISK OF A FLOOD RISK AREA, THERE IS NO CHANCE OF A FLOOD BUT RATHER A MUCH LOWER RISK OF A FLOOD.

LES ZONES INONDABLES DÉLIMITÉES SUR CETTE
CARTE ONT ÉTÉ DÉSIGNÉES PAR LE MINISTRE
DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC ET PAR LE
MINISTRE D'ENVIRONNEMENT CANADA,
LE 30 MARS 2001.

THE FLOOD RISK AREAS DEPICTED ON THIS MAP
HAVE BEEN DESIGNATED BY THE MINISTRE DE
L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC AND THE MINISTRE
OF ENVIRONMENT CANADA ON MARCH 30, 2001.



LA BAIE
RIVIÈRE À MARS
22D07-020-0602



LA BAIE RIVIÈRE À MARS

ÉCHELLE 1/2 000 SCALE

Projection Mercator Transverse Nodifiée, lisseau 7
Surface de référence: ellipsoïde GR80
Réseau géodésique: réseau unifié

Courbes à équidistance de 0,5 mètre et 2 mètres
Altitude datum: mean sea level

Photographie aérienne: 18000, 1998

LA BAIE RIVIÈRE À MARS

22D07-020-0603

AVIS À L'UTILISATEUR DE CETTE CARTE

CETTE CARTE N'EST ENNEC QU'À TITRE D'INFORMATION. LES ZONES INONDABLES QUI Y SONT DÉLIMITÉES CORRESPONDENT À DES PROBABILITÉS THÉORIQUES D'OCCURRENCE D'INONDATION QUI SE PRODUISSENT EN EAU LIBRE.

LE FAIT D'ÊTRE À L'INTÉRIEUR DE LA ZONE INONDABLE N'INDIQUE PAS UNE CERTITUDE D'ÊTRE INONDÉ MAIS PLUTÔT UNE PROBABILITÉ ANNUELLE DE L'ÊTRE, DE MÊME QUE LE FAIT D'ÊTRE SITUÉ À L'EXTÉRIEUR DE LA ZONE INONDABLE N'EST PAS UNE CERTITUDE DE NE JAMAIS ÊTRE INONDÉ MAIS PLUTÔT UNE PROBABILITÉ BEAUCOUP PLUS FAIBLE DE L'ÊTRE.

NOTICE TO MAP USER

THIS MAP IS PRODUCED FOR INFORMATION ONLY. THE FLOOD RISK AREAS SHOWN CORRESPOND TO THEORETICAL PROBABILITIES OF FLOOD OCCURRENCES UNDER OPEN WATER CONDITIONS.

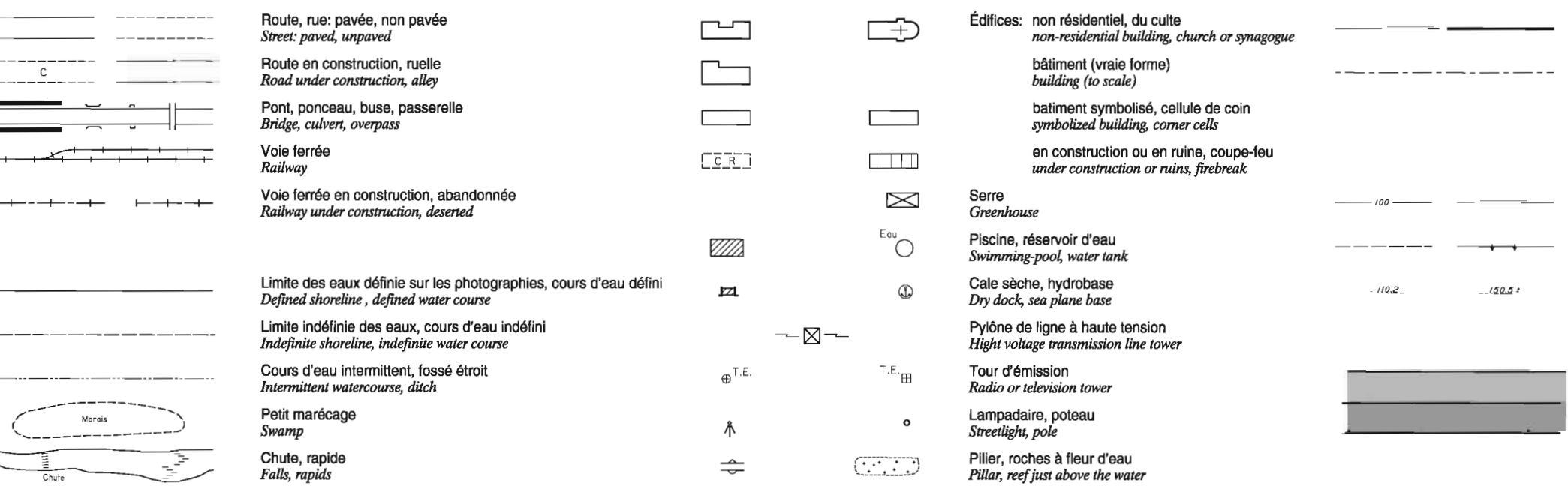
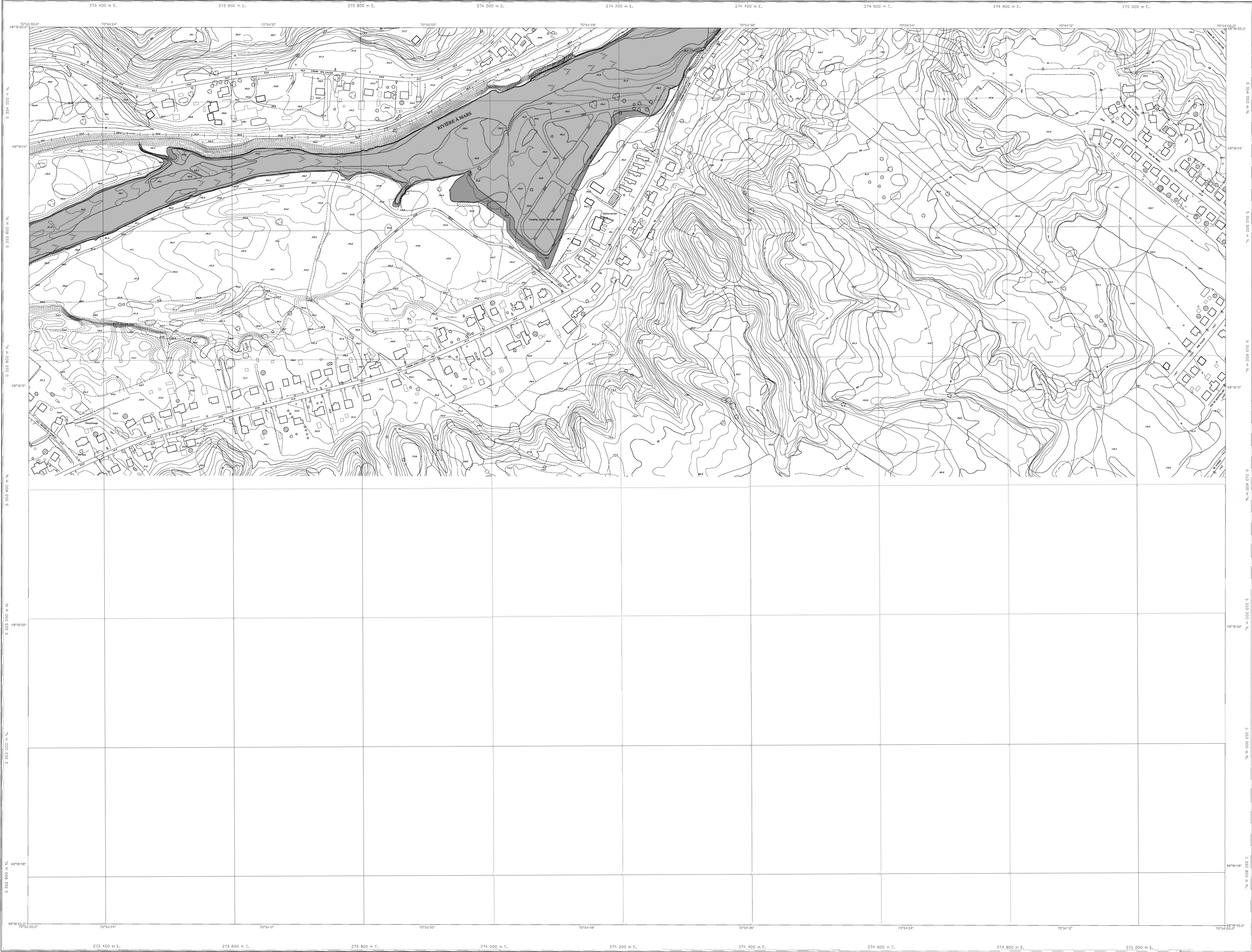
IF YOUR PROPERTY IS SHOWN ON A FLOOD RISK AREA, THERE IS NO CERTAINTY THAT IT WILL BE FLOODED IN ANY ONE YEAR BUT RATHER AN ANNUAL PROBABILITY OF IT BEING SO. SIMILARLY IF IT IS SHOWN OUTSIDE A FLOOD RISK AREA, THERE IS NO CERTAINTY OF IT NEVER BEING FLOODED BUT RATHER A MUCH LOWER PROBABILITY OF IT BEING SO.

TABLEAU D'ASSEMBLAGE INDEX TO ADJOINING SHEETS

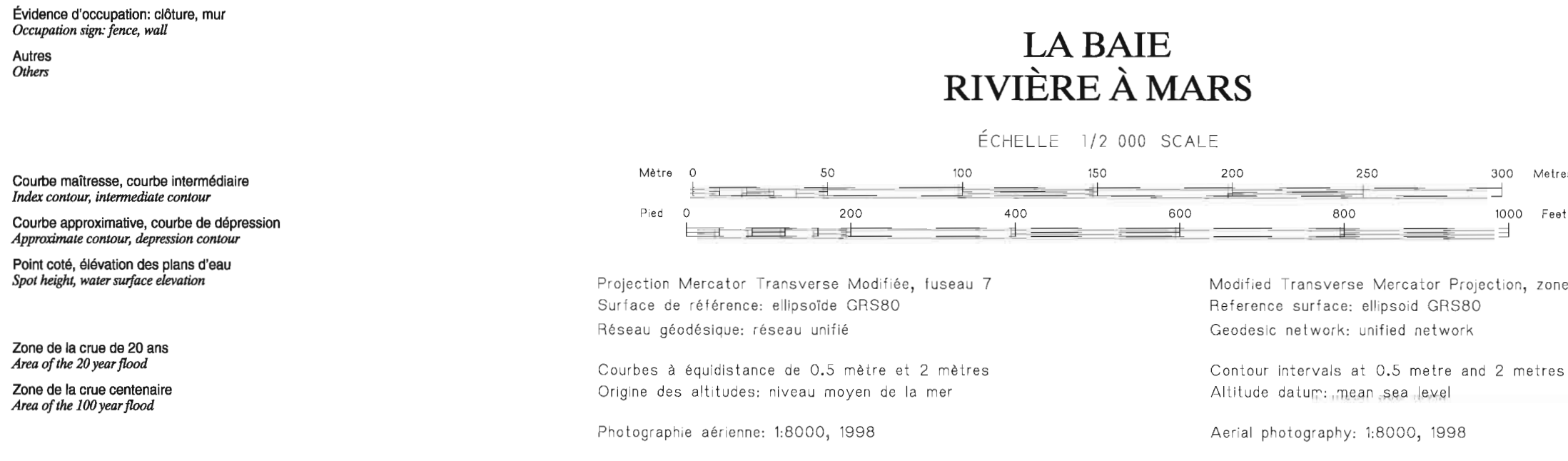
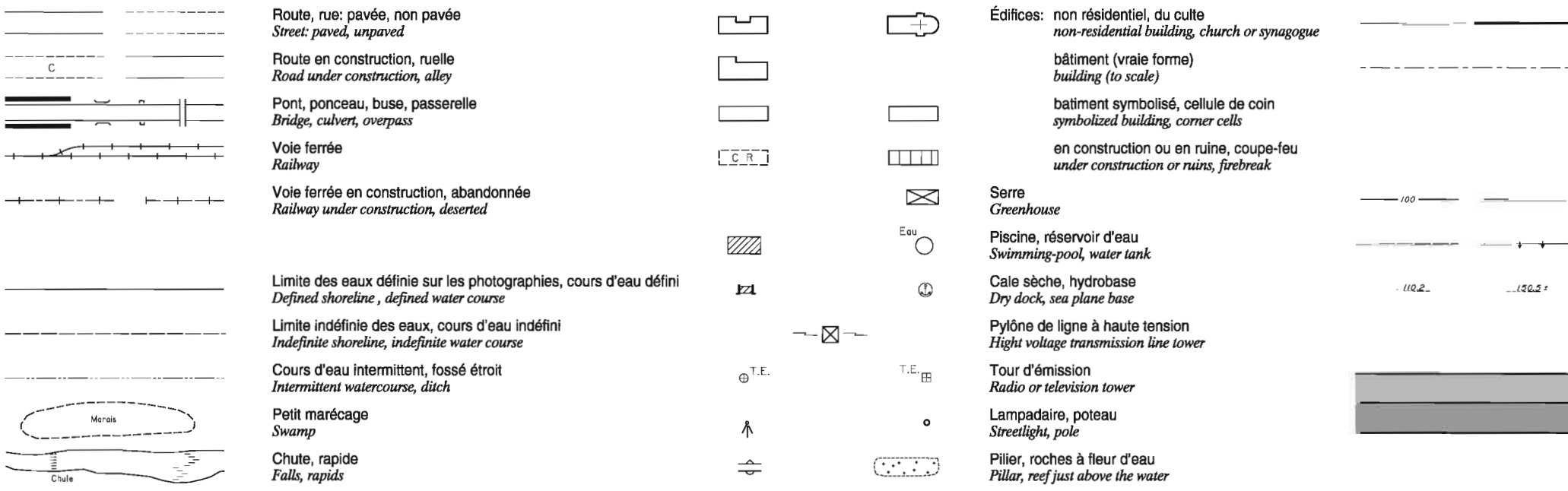
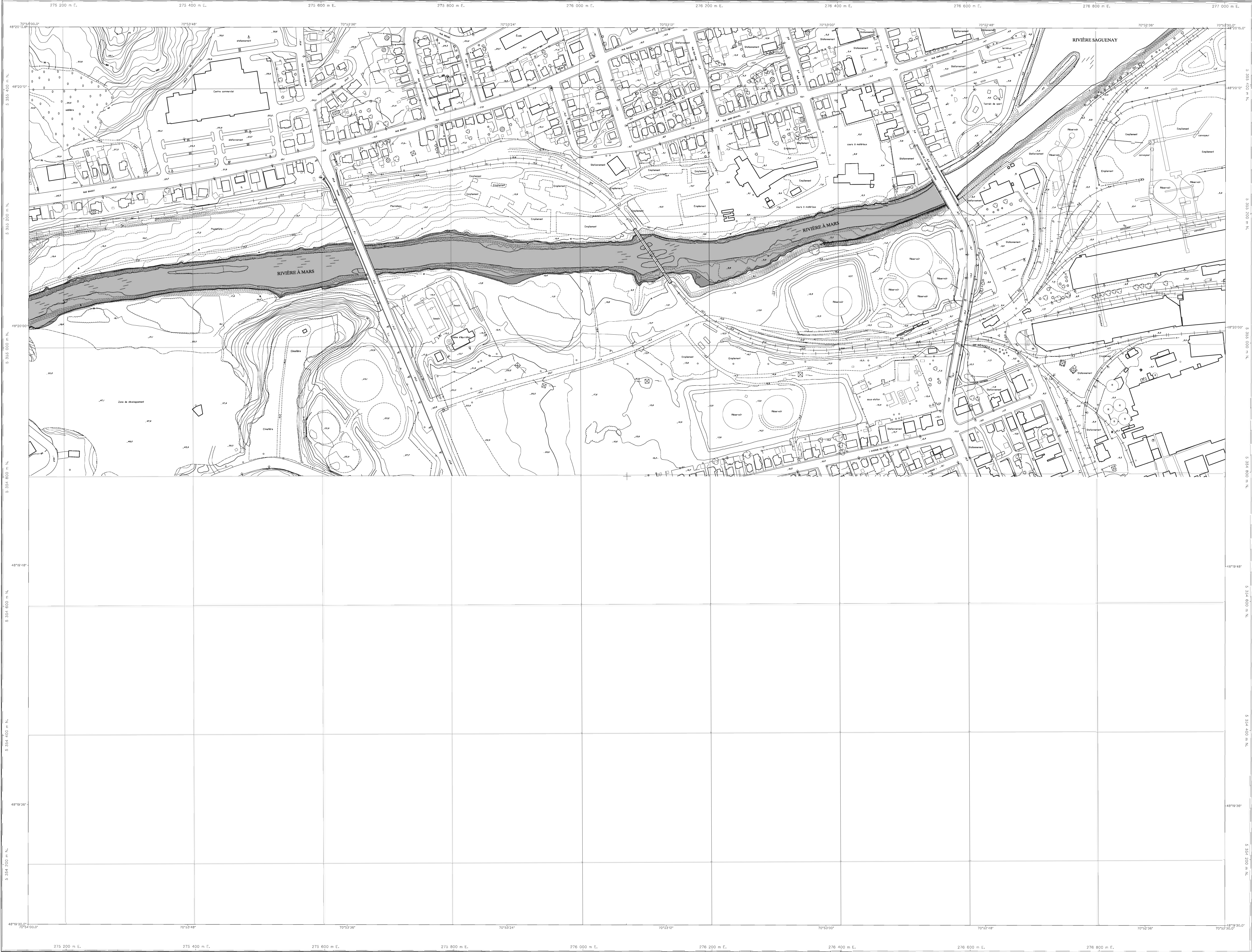
22D07-020-0702 22D07-020-0703 22D07-020-0704

22D07-020-0605 22D07-020-0606 22D07-020-0607

22D07-020-0608 22D07-020-0609 22D07-020-0610







AVIS À L'UTILISATEUR DE CETTE CARTE

CETTE CARTE N'EST EMISE QU'À TITRE D'INFORMATION. LES ZONES INONDABLES QUI Y SONT DÉLIMITÉES CORRESPONDENT À DES PROBABILITÉS THÉORIQUES D'OCCURRENCE D'INONDATION QUI SE PRODUISSENT EN EAU LIBRE.

LE FAIT D'ÊTRE À L'INTÉRIEUR DE LA ZONE INONDABLE N'INDIQUE PAS UNE CERTITUDE D'ÊTRE INONDÉ MAIS PLUTÔT UNE PROBABILITÉ ANNUELLE DE L'ÊTRE, DE MÊME QUE LE FAIT D'ÊTRE SITUÉ À L'EXTÉRIEUR DE LA ZONE INONDABLE NEST PAS UNE CERTITUDE DE NE JAMAIS ÊTRE INONDÉ MAIS PLUTÔT UNE PROBABILITÉ BEAUCOUP PLUS FAIBLE DE L'ÊTRE.

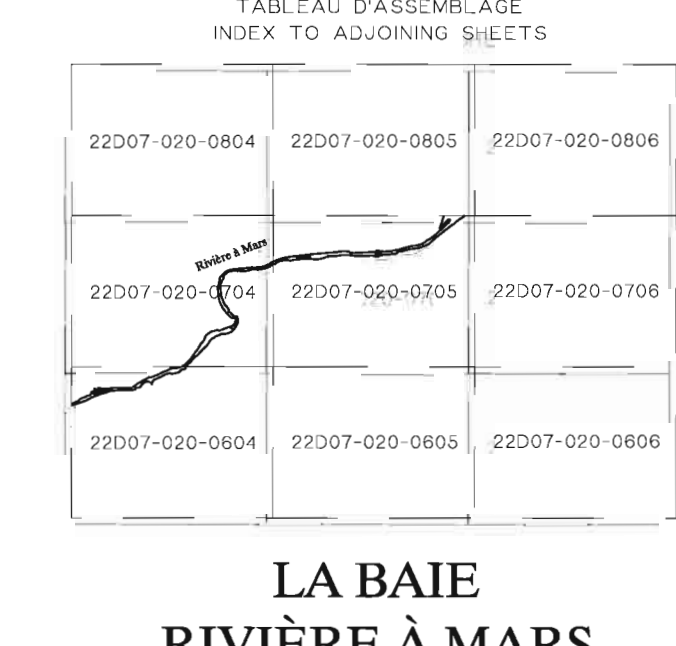
NOTICE TO MAP USER

THIS MAP IS PRODUCED FOR INFORMATION ONLY. THE FLOOD RISK AREAS SHOWN CORRESPOND TO THEORETICAL PROBABILITIES OF FLOOD OCCURRENCES UNDER OPEN WATER CONDITIONS.

IF YOUR PROPERTY IS SHOWN ON A FLOOD RISK AREA, THERE IS NO CERTAINTY THAT IT WILL BE FLOODED IN ANY ONE YEAR, BUT RATHER AN ANNUAL PROBABILITY OF IT BEING SO. SIMILARLY, IF IT IS SHOWN OUTSIDE A FLOOD RISK AREA, THERE IS NO CERTAINTY OF IT NEVER BEING FLOODED BUT RATHER A MUCH LOWER PROBABILITY OF IT BEING SO.

LES ZONES INONDABLES DÉLIMITÉES SUR CETTE CARTE ONT ÉTÉ DESIGNÉES PAR LE MINISTRE DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC ET PAR LE MINISTRE D'ENVIRONNEMENT CANADA, LE 30 MARS 2001.

THE FLOOD RISK AREAS DEPICTED ON THIS MAP HAVE BEEN DESIGNATED BY THE MINISTRE DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC AND THE MINISTER OF ENVIRONMENT CANADA ON MARCH 30, 2001.

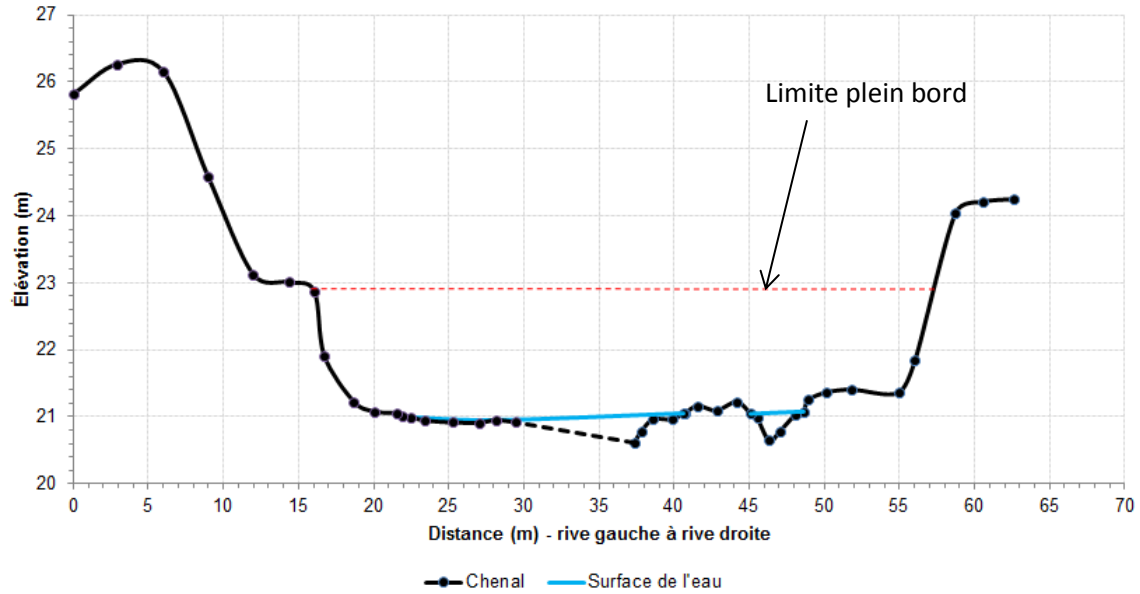


LA BAIE
RIVIÈRE À MARS
22D07-020-0705

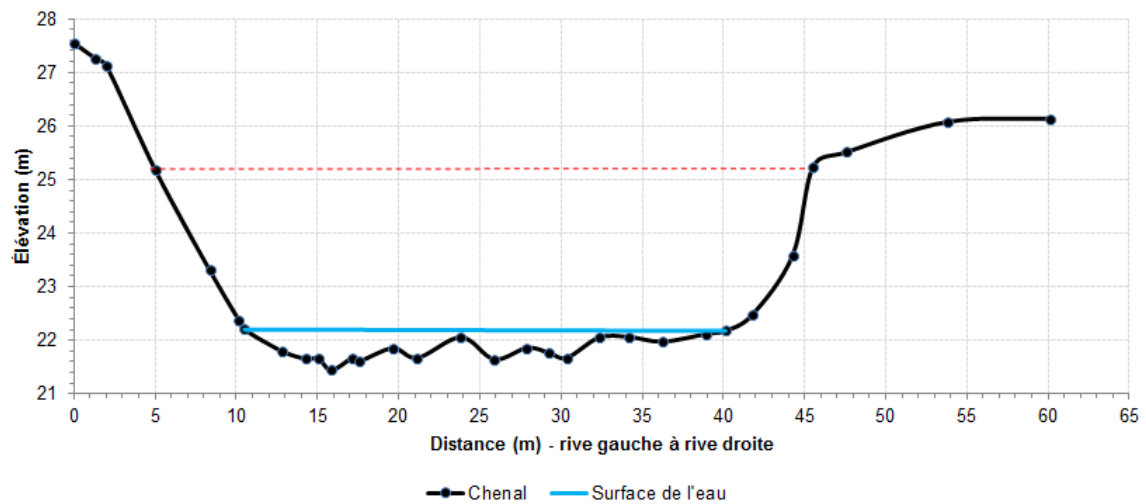
Annexe C :

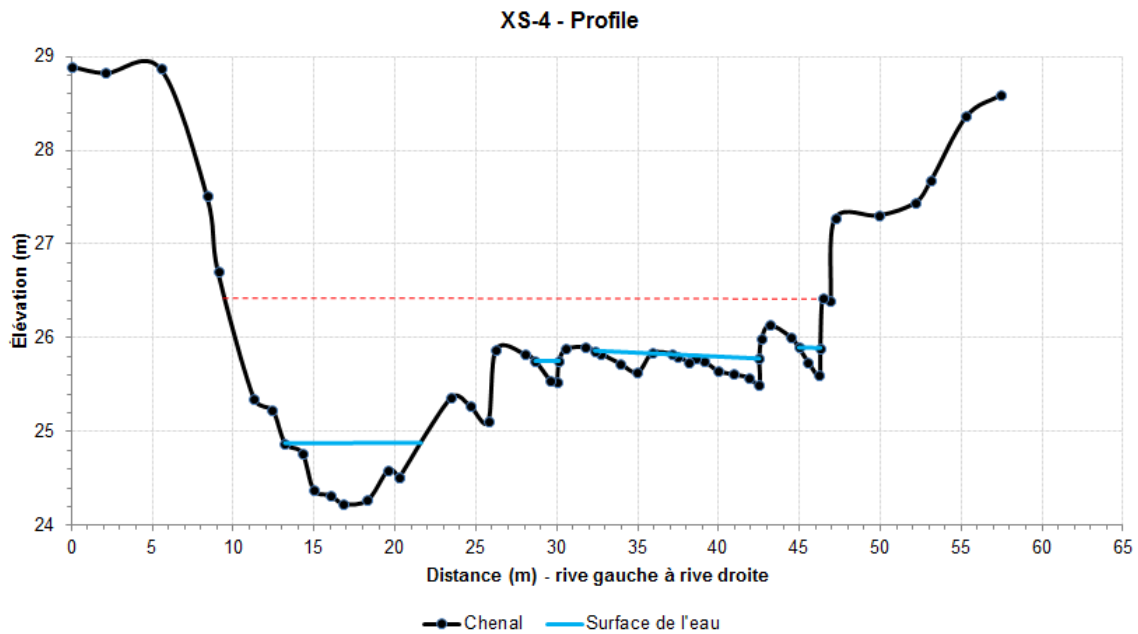
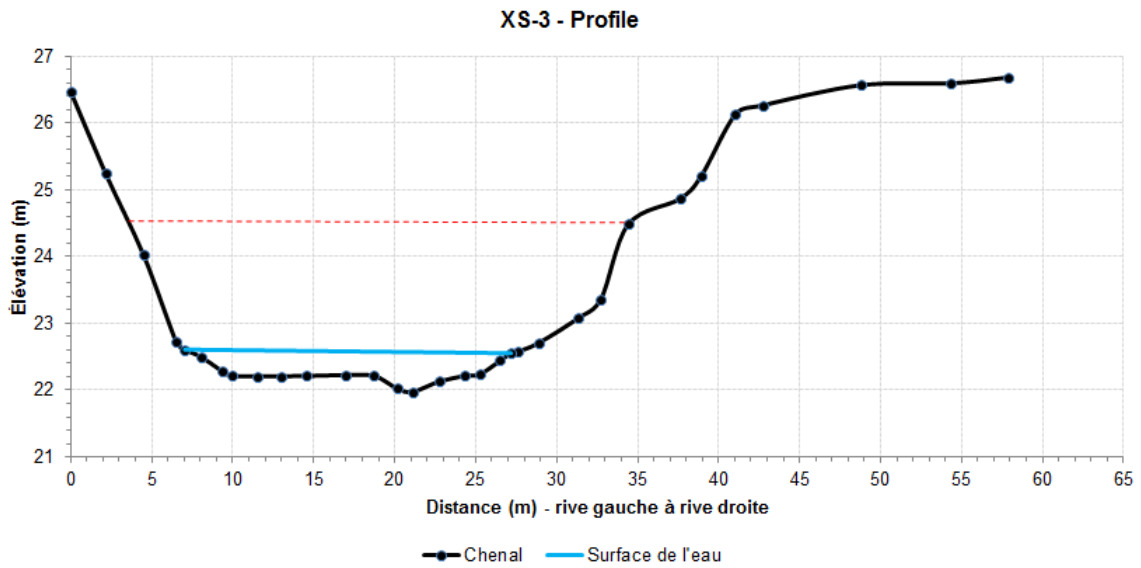
Représentation graphique des sections transversales effectuées sur le terrain

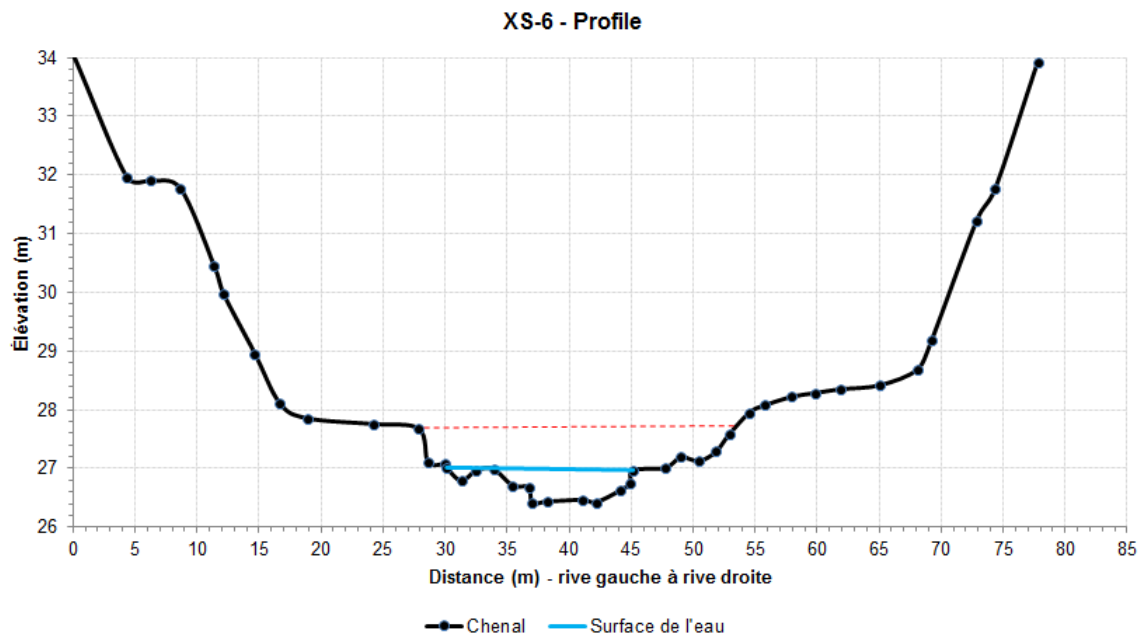
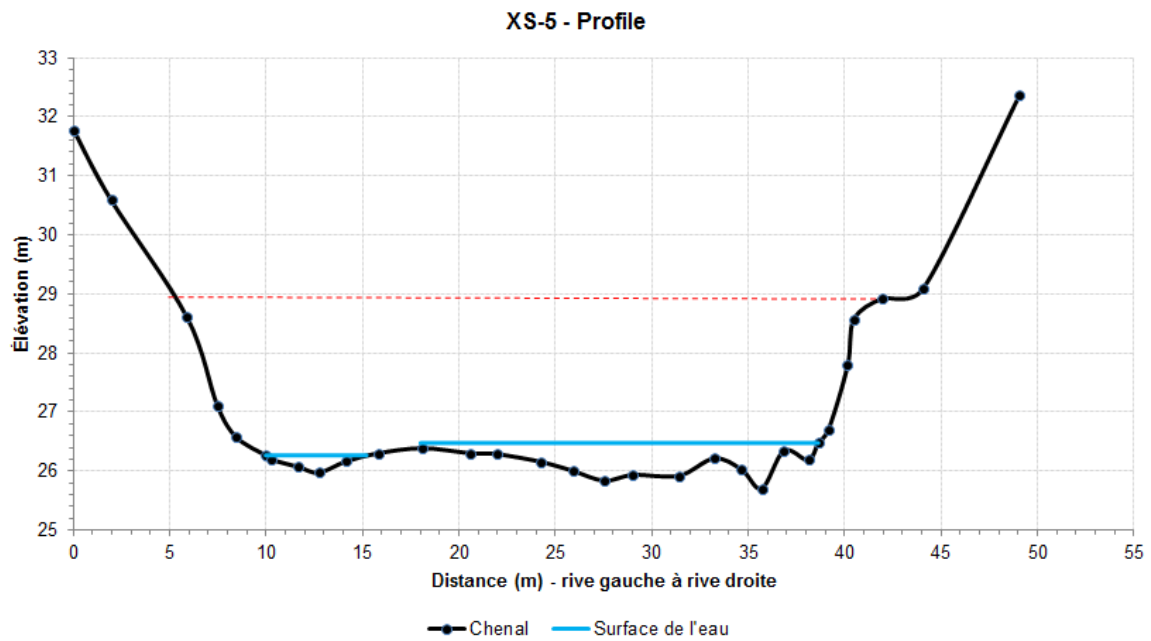
XS-1 - Profile

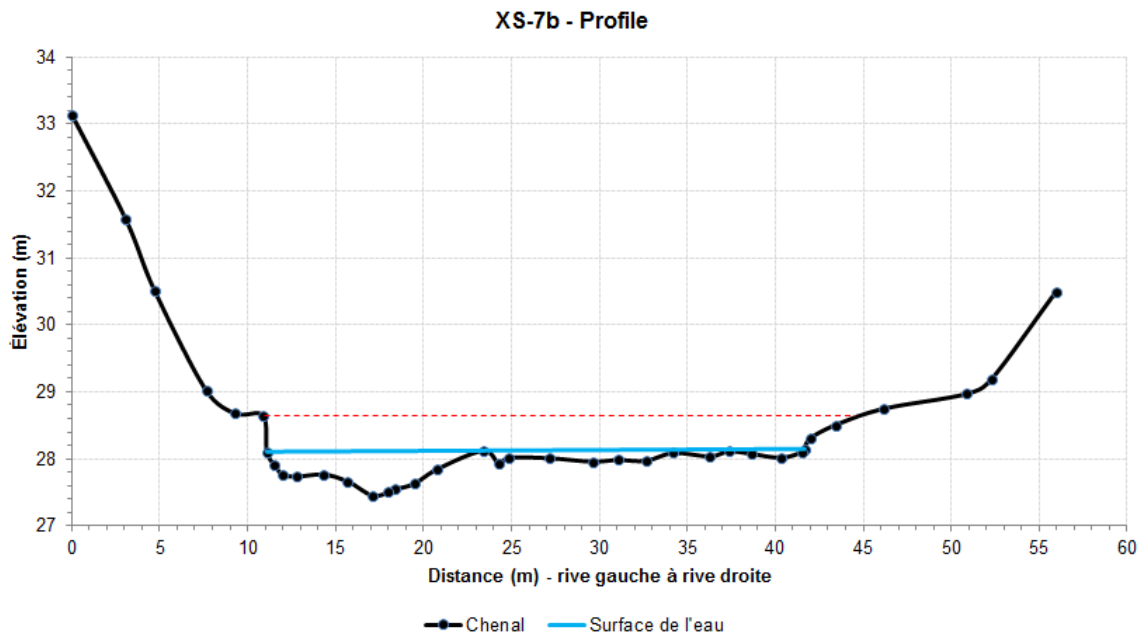
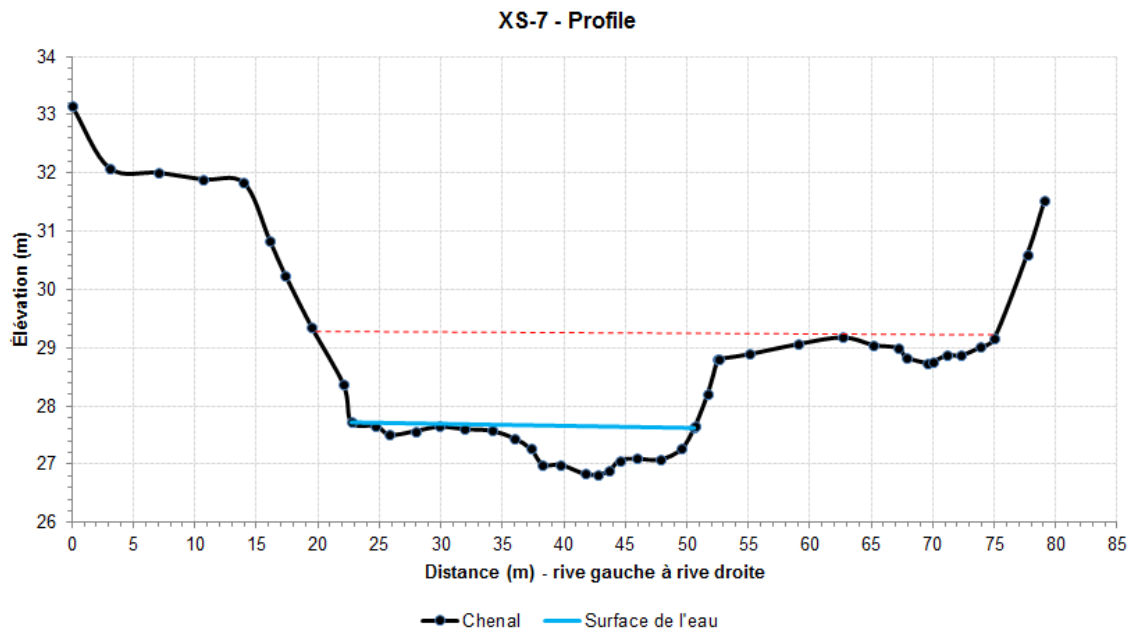


XS-2 - Profile

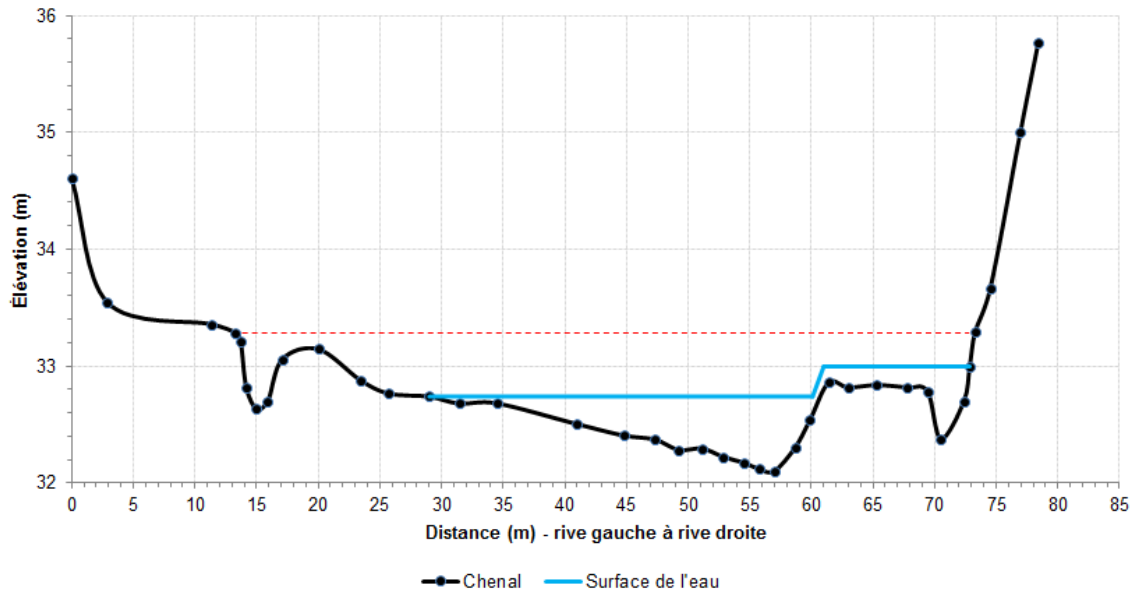




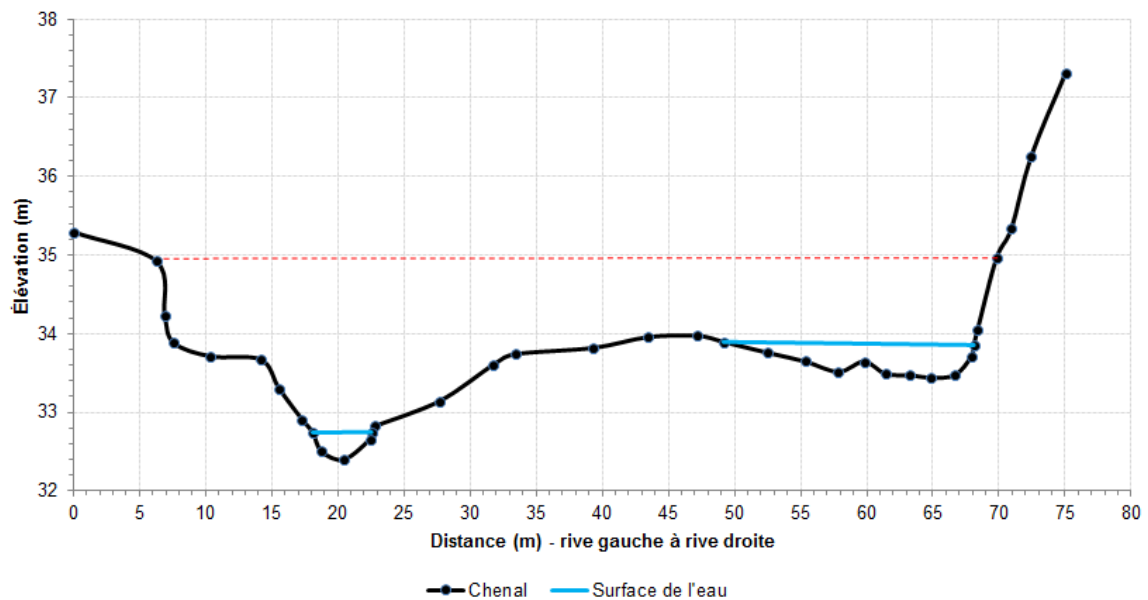


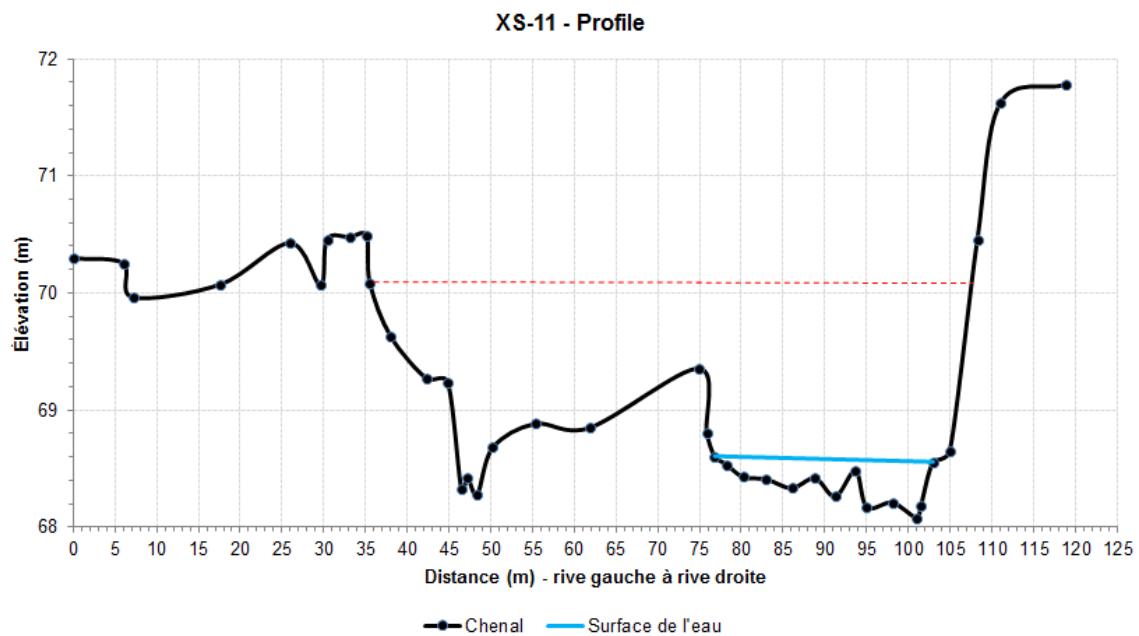
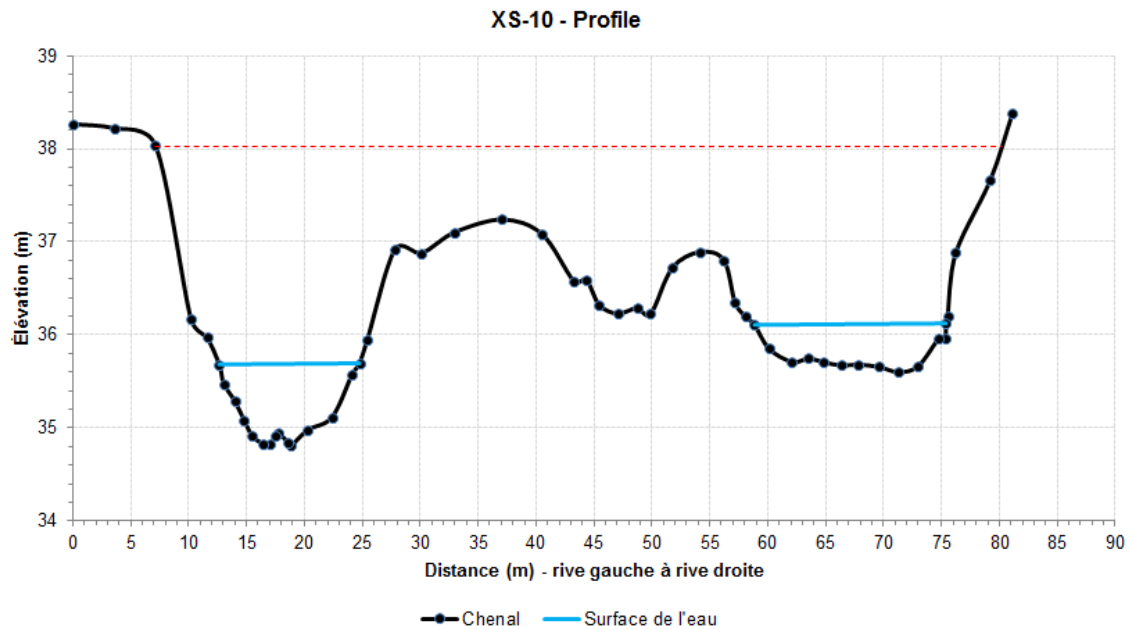


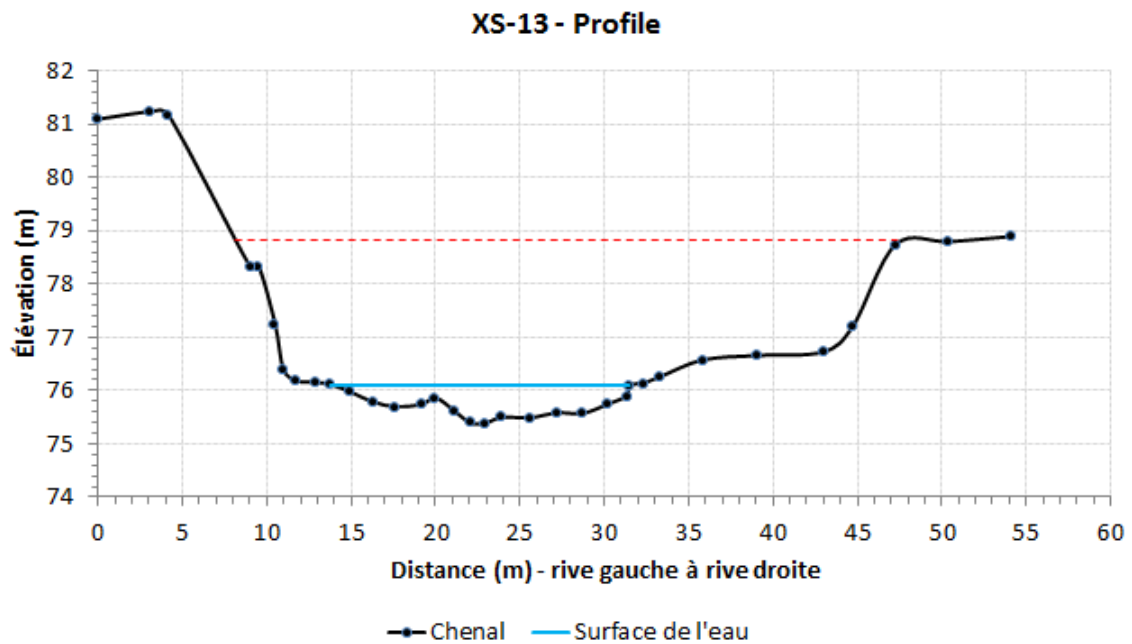
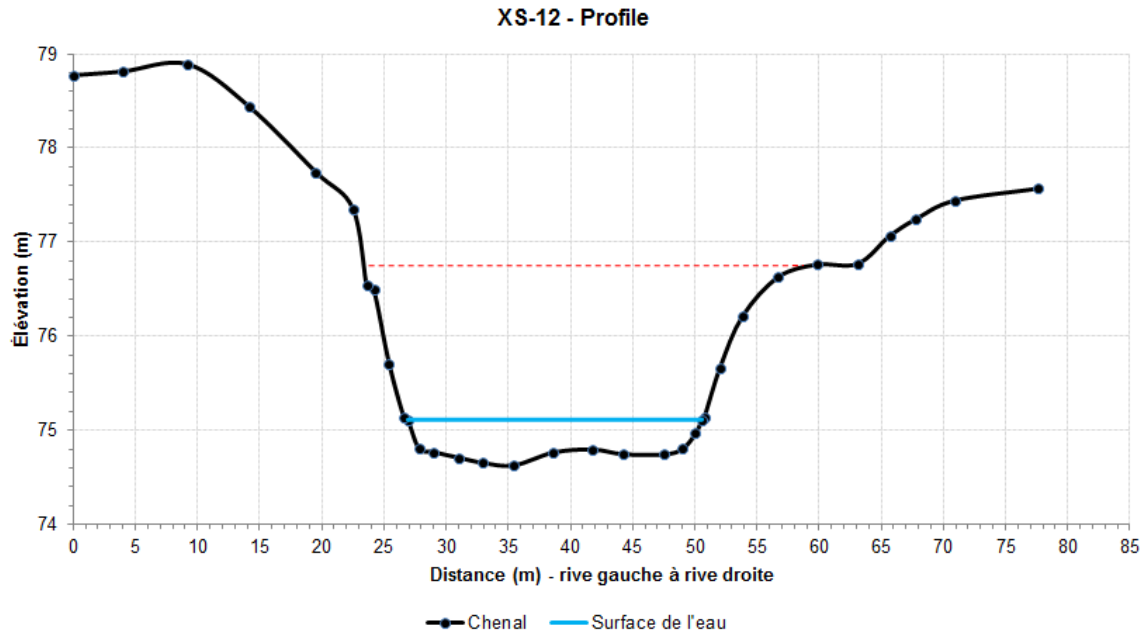
XS-8 - Profile



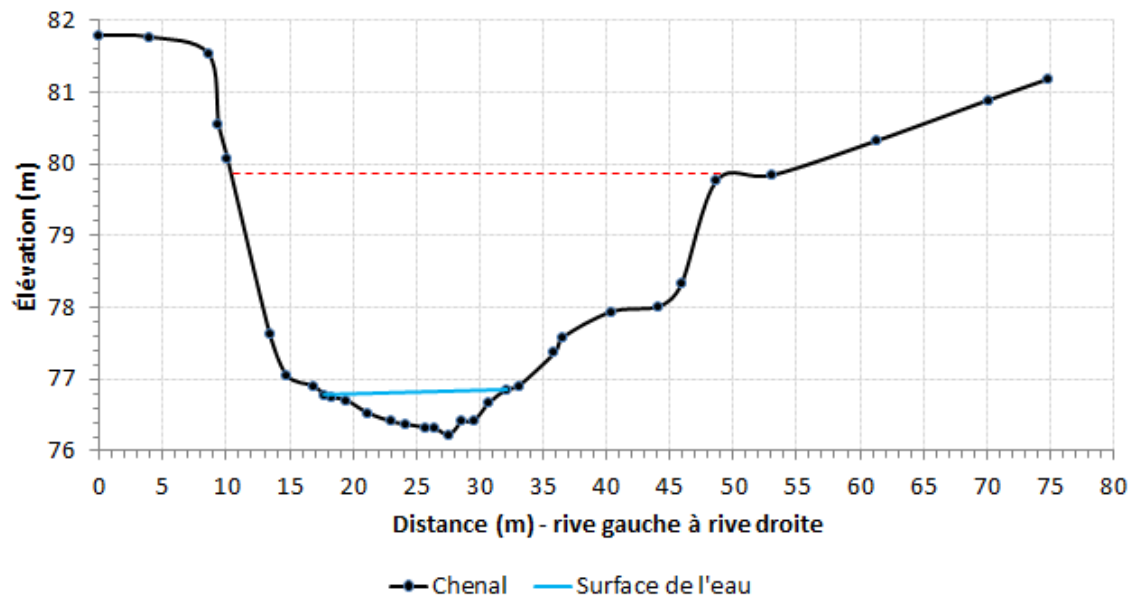
XS-9 - Profile



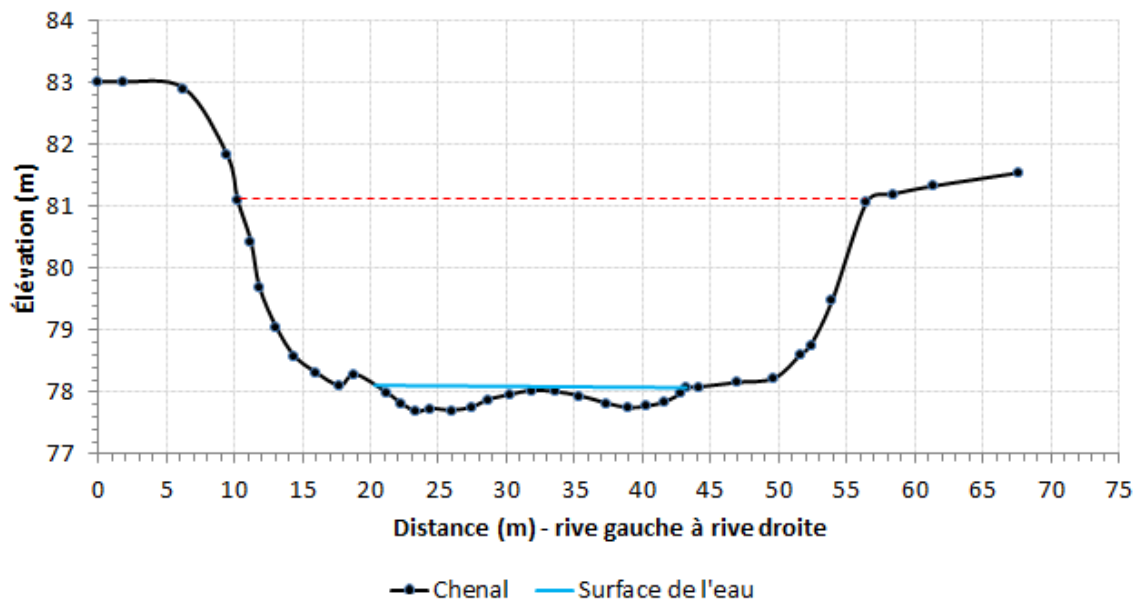


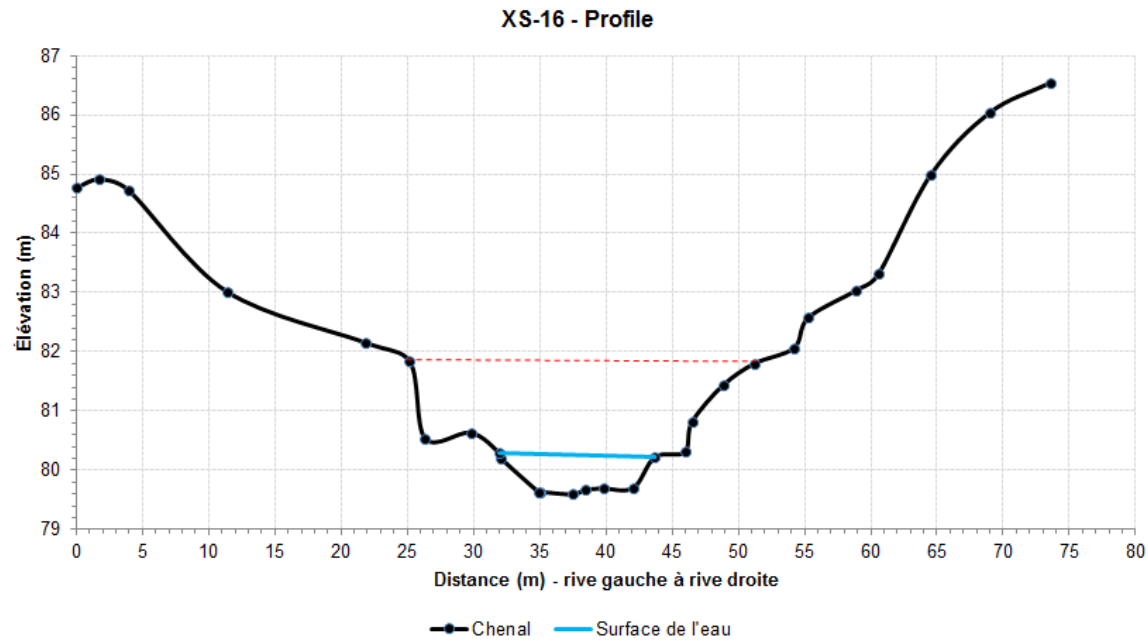


XS-14 - Profile



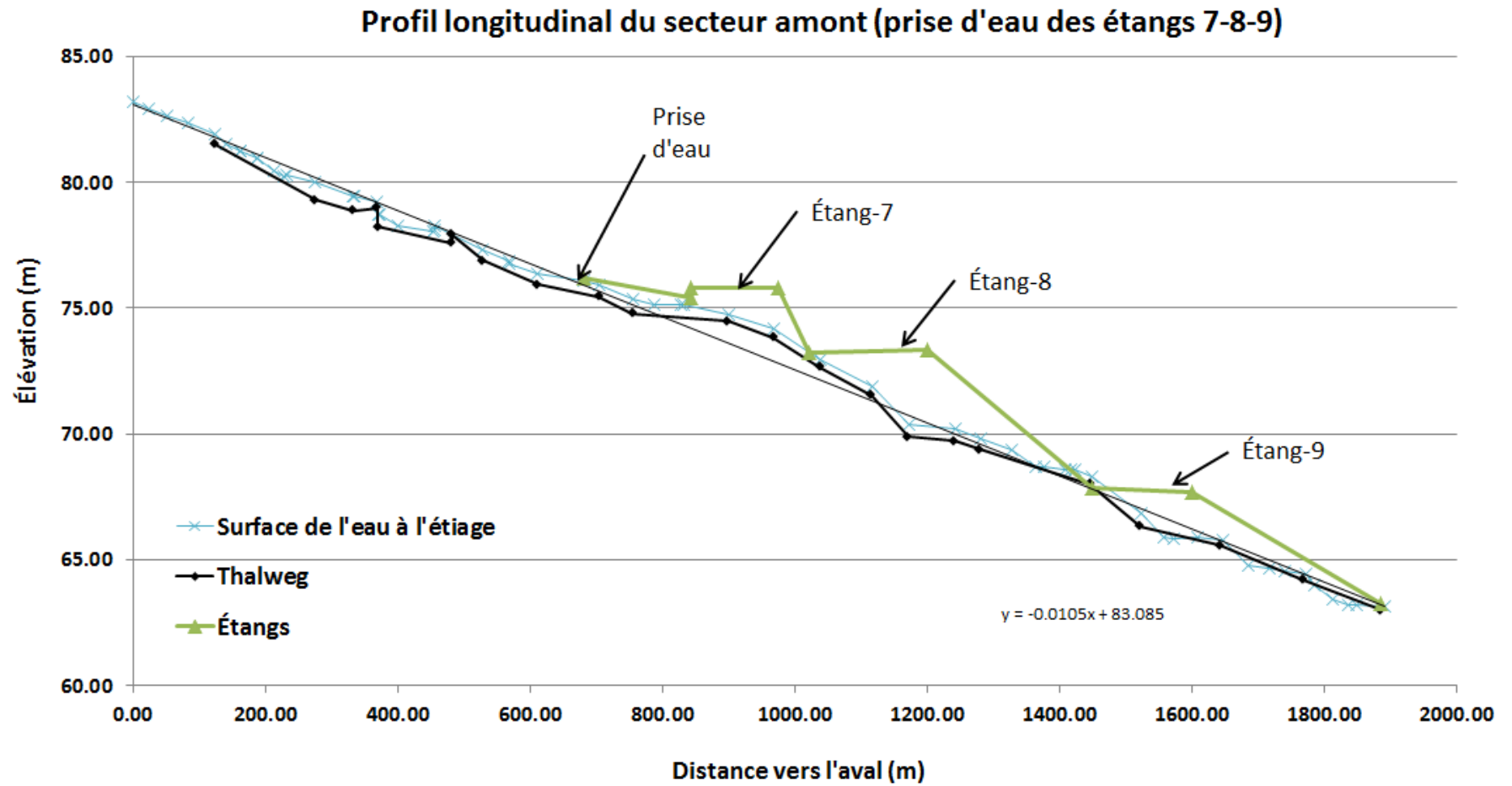
XS-15 - Profile

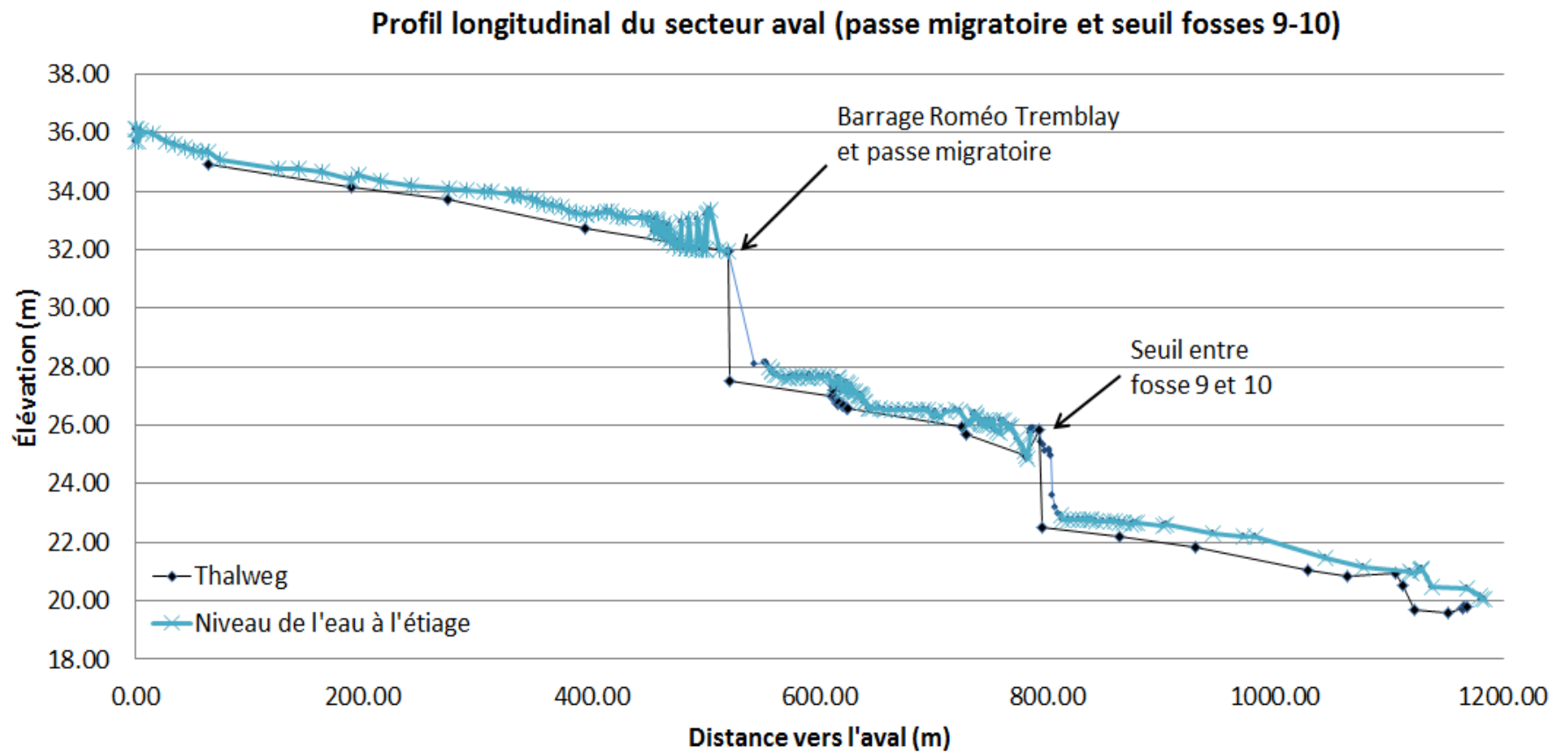




Annexe D :

**Représentation graphique des profils en longs effectués sur
le terrain**





Annexe E :

Graphiques des répartitions granulométriques dans le lit de la rivière à Mars

