

**Le Groupe-Conseil LaSalle Inc.**

9620, rue Saint-Patrick, LaSalle (Québec) Canada H8R 1R8

Téléphone : (514) 366-2970 / Télécopieur : (514) 366-2971

Courrier électronique : gcl@sympatico.ca

Site Internet : www.gcl.qc.ca

Rapport présenté à :

**MINISTÈRE DES TRANSPORTS
BUREAU DE LA MISE EN OEUVRE DU PARTENARIAT PUBLIC-PRIVÉ
CONTRAT 5100-02-QZ08**

**IMPACT DU FUTUR PONT DE L'AUTOROUTE 25
SUR LA RIVIÈRE DES PRAIRIES SUR LE RÉGIME
HYDRAULIQUE EN EAU LIBRE
ET EN PRÉSENCE DE GLACES**

R.1528

Janvier 2004

Préparé par :

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'J. Saucet', written over a horizontal line.

Jean-Philippe Saucet, ing.

031-103(807)

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

1.0	INTRODUCTION.....	1
1.1	Nature du mandat.....	1
1.2	Études antérieures et documents consultés.....	1
2.0	PRÉSENTATION DU SITE ET DU SYSTÈME HYDRIQUE	3
2.1	La rivière des Prairies.....	3
2.2	Régime des débits en hiver	4
2.3	Relations niveau-débit	5
3.0	CONDITIONS HIVERNALES	6
3.1	L'hiver à Montréal	6
3.2	Observations des glaces	6
3.3	L'étude de 1974	8
3.4	La gestion des glaces à la centrale d'Hydro-Québec	9
4.0	MODÉLISATION 1D DES ÉCOULEMENTS ET DES CONDITIONS DE GLACE	11
4.1	Dunes de frasil en hiver	11
4.2	Débâcle	13
5.0	MODÉLISATION 2D DES ÉCOULEMENTS.....	14
6.0	DÉGAGEMENT VERTICAL SOUS LE PONT	17
6.1	Cote d'impact des glaces sur les piles	17
7.0	CONCLUSIONS.....	19

ANNEXE A

FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 :	Débits et niveaux d'eau en crue de printemps
TABLEAU 2 :	Débits et niveaux d'eau en étiage
TABLEAU 3 :	Niveaux d'eaux et rehaussements calculés sous 1 000 m ³ /s

LISTE DES FIGURES

- FIGURE 1 : Débits journaliers pendant la saison froide (1950-1993)
- FIGURE 2 : Relation niveau-débit à l'aval de la centrale d'Hydro-Québec (1983-2003)
- FIGURE 3 : Relation niveau-débit à la station Saint-Vincent de Paul (1965-1993)
- FIGURE 4 : Relation niveau-débit à la station Duvernay est (1965-1993)
- FIGURE 5 : Évolution des niveaux au cours d'hiver. Débits moyens, températures moyennes, 2,5 millions de m³ de glace déversés
- FIGURE 6 : Évolution des niveaux au cours d'hiver. Débits moyens, températures 1/20 ans, 2,5 millions de m³ de glace déversés
- FIGURE 7 : Évolution des niveaux au cours d'hiver. Débits élevés, températures moyennes, pas de déversement de glace
- FIGURE 8 : Champ des vitesses en eau libre pour un débit de 1 000 m³/s
- FIGURE 9 : Localisation des zones de glace
- FIGURE 10 : Champ des vitesses en conditions de glace pour un débit de 1 000 m³/s
- FIGURE 11 : Champ des vitesses en conditions d'eau libre avec pont 1, pour un débit de 1 000 m³/s
- FIGURE 12 : Champ des vitesses en conditions de glace avec pont 1, pour un débit de 1 000 m³/s

LISTE DES FIGURES (suite)

- FIGURE 13 : Champ des vitesses en conditions de glace avec pont 1 et jetée de construction, pour un débit de 1 000 m³/s
- FIGURE 14 : Vitesses au voisinage du pont 1 pour un débit de 1 000 m³/s
- FIGURE 15 : Champ des vitesses en conditions d'eau libre avec pont 2, pour un débit de 1 000 m³/s
- FIGURE 16 : Champ des vitesses en conditions de glace avec pont 2, pour un débit de 1 000 m³/s
- FIGURE 17 : Champ des vitesses en conditions de glace avec pont 2 et jetée de construction, pour un débit de 1 000 m³/s
- FIGURE 18 : Vitesses au voisinage du pont 2 pour un débit de 1 000 m³/s
- FIGURE 19 : Champ des vitesses en conditions d'eau libre avec pont 3, pour un débit de 1 000 m³/s
- FIGURE 20 : Champ des vitesses en conditions de glace avec pont 3, pour un débit de 1 000 m³/s
- FIGURE 21 : Champ des vitesses en conditions de glace avec pont 3 et jetée de construction, pour un débit de 1 000 m³/s
- FIGURE 22 : Vitesses au voisinage du pont 3 pour un débit de 1 000 m³/s

1.0 INTRODUCTION

1.1 Nature du mandat

Le Ministère des Transports (Bureau de la mise en œuvre du partenariat public-privé) a confié au Groupe-Conseil LaSalle le mandat d'évaluer les impacts du futur pont de l'autoroute 25 sur le régime d'écoulement de la rivière des Prairies en eau libre puis en conditions hivernales. On s'intéresse en particulier aux vitesses d'écoulement dans l'axe du pont, et aux répercussions de l'amorce d'un pont de glace contre les piliers sur les niveaux d'eau plus en amont.

Cette étude s'inscrit dans la continuité d'une étude similaire réalisée par le laboratoire d'Hydraulique LaSalle en 1974 :

Rivière des Prairies : Influence du futur pont de l'autoroute 25 sur les régimes en eau libre et avec glace. Rapport LHL-632, par R. Hausser et R. Boivin, décembre 1974.

Ce rapport a fait l'objet d'une note complémentaire en 1975, s'appuyant sur des photographies aériennes réalisées en janvier 1975 à la demande du Ministère des Transports.

L'étude présentée ici a été réalisée par analyse des données de débit et de niveau d'eau disponibles, puis par modélisation numérique uni et bi-dimensionnelle des écoulements en eau libre puis en présence de glace.

1.2 Études antérieures et documents consultés

Outre l'étude de 1974 déjà citée, qui sera présentée au chapitre 5, les documents et données utilisés comprennent :

-
- les relevés bathymétriques réalisés en 1972 par le Ministère des Ressources Naturelles, qui nous ont été transmis gracieusement par le Centre d'Expertise Hydrique du Québec;
 - les débits journaliers et les niveaux d'eau mesurés au pied de la centrale rivière des Prairies entre 1983 et 2003, données transmises gracieusement par Hydro-Québec (Unité Prévision et ressources hydriques);
 - les données de niveaux et débits journaliers aux stations Saint-Vincent de Paul et Duvernay est, qui sont du domaine public;
 - les températures de l'air à Montréal, mesurées à Dorval par Environnement Canada, pour la période 1941-1982;
 - les caractéristiques des variantes de pont actuellement à l'étude, fournies par CIMA/BPR;
 - le rapport d'étude d'impact sur l'environnement réalisé en 2001 :

Prolongement de l'autoroute 25. Étude d'impact sur l'environnement déposée au ministre de l'Environnement. Rapport d'analyse des impacts. Par SNC-Lavalin et Dessau Soprin, juin 2001

2.0 PRÉSENTATION DU SITE ET DU SYSTÈME HYDRIQUE

2.1 La rivière des Prairies

La rivière des Prairies fait partie du réseau hydrographique de l'archipel de Montréal. Cet important cours d'eau s'écoule d'est en ouest. Il prend naissance à l'est du lac des Deux-Montagnes, dont il constitue l'exutoire principal. Il s'écoule entre les îles Jésus et de Montréal sur 36 km avant de rejoindre le fleuve Saint-Laurent.

Le cours d'eau présente de nombreux rapides : le rapide du Cheval Blanc à l'extrémité amont contrôle le débit entrant dans la rivière, qui n'est fonction que du niveau du lac des Deux-Montagnes. Plus en aval, la centrale rivière des Prairies, exploitée par Hydro-Québec, est située au droit de l'ancien Sault aux Récollets, à la hauteur de l'île de la Visitation. Du type au fil de l'eau, elle turbine ou déverse les eaux arrivant de l'amont, et n'a pas d'impact sur le régime des débits de la rivière.

La planche 1 présente la partie aval de la rivière des Prairies. Le pont projeté pour le franchissement de l'autoroute 25 est situé à 6 km en aval de la centrale rivière des Prairies. La rivière présente dans le secteur une grande largeur, près de 1 000 m, et un chenal principal d'écoulement occupant les 240 m en rive gauche, où les profondeurs atteignent 9,5 m⁽¹⁾. Ce chenal est bordé au sud par un plateau présentant des profondeurs de 4,5 m, qui fait place aux îles Rochon et Boutin. Le bras séparant ces îles de la rive sud présente des profondeurs typiques de 2 m. L'ensemble du secteur est caractérisé par un écoulement tranquille et uniforme, avec des vitesses inférieures à 0,40 m/s en hiver.

Les rapides du Moulin, parfois appelés rapides des Prairies, débutent à environ 4 000 m en aval du futur pont. Ce rapide présente une dénivelée de 2,4 m et conduit à une zone plus lente jusqu'à la jonction avec la rivière des Mille-Îles et le fleuve Saint-Laurent.

⁽¹⁾ : Profondeurs mesurées sous un débit de 1 000 m³/s et un niveau d'eau égal à 8,76 m.

2.2 Régime des débits

Le tableau 1 présente les statistiques des crues de printemps, qui surviennent généralement en avril. On présente également les niveaux d'eau dans l'axe du pont.

**TABLEAU 1 :
DÉBITS ET NIVEAUX D'EAU EN CRUE DE PRINTEMPS**

Période de retour	Débit (m ³ /s)	Niveau, m géodésique
100 ans	3 255	10,42
50 ans	3 115	10,34
20 ans	2 830	10,17
5 ans	2 450	9,94
2 ans	2 050	9,67

Les étiages les plus sévères surviennent en général en septembre, et sont présentés au tableau 2.

**TABLEAU 2 :
Débits et niveaux d'eau en étiage**

Période de retour	Débit (m ³ /s)	Niveau, m géodésique
2 ans	695	8,40
5 ans	620	8,30
20 ans	540	8,18

La figure 1 présente les débits totaux journaliers passant à la centrale Rivière des prairies, mesurés en hiver par Hydro-Québec entre 1950 et 1993. Les débits sont compris entre 1 500 et 500 m³/s pendant la majeure partie de l'hiver, et croissent au moment de la crue de printemps qui débute au début du mois de mars. On a calculé le débit moyen interannuel, qui décroît régulièrement de 1 076 m³/s le 1^{er} décembre à 852 m³/s le 18 février, pour augmenter par la suite, jusqu'à 1 436 m³/s le 31 mars.

L'hiver 1966-67 est quant à lui l'hiver présentant les plus forts débits pendant la période analysée, avec des valeurs supérieures à 1 250 m³/s pendant la majeure partie de la saison.

2.3 Relations niveau-débit

Les niveaux d'eau sont mesurés chaque jour au pied de la centrale d'Hydro-Québec et aux stations Saint-Vincent de Paul et Duvernay est. La station Saint-Vincent est située au pied des rapides Saint-Vincent à 3 000 m en amont du futur pont (3 500 m en aval de la centrale d'Hydro-Québec), la station Duvernay est au pied des rapides du Moulin à 2 500 m en aval du pont.

Les figures 2, 3 et 4 présentent la relation niveau-débit à chacune de ces stations. Le débit est celui que l'on mesure à la même date à la centrale rivière des Prairies. On a distingué la période hors glace, 1^{er} mai au 30 novembre, de la période hivernale, 1^{er} décembre au 30 avril. On est ainsi en mesure de mettre en évidence l'effet des glaces sur les niveaux d'eau.

On constate que la relation niveau-débit à chaque station est bien définie pendant la période hors glace, alors qu'elle est fortement influencée par la glace pendant la saison froide : les rehaussements dus aux glaces atteignent couramment 1,25 m à Duvernay est, 1,5 m à Saint-Vincent de Paul et 2 m au pied de la centrale.

Pendant la période hors-glace, les observations peuvent se synthétiser par une relation niveau-débit de la forme :

$$Q = a (y - y_0)^n$$

Les valeurs des paramètres a , y_0 et n sont présentées sur chacune des figures 2, 3 et 4.

3.0 CONDITIONS HIVERNALES

3.1 L'hiver à Montréal

L'analyse statistique des intensités des hivers à Montréal se base sur les données recueillies à Dorval par Environnement Canada. Les données analysées couvrent la période 1941-1982. Il apparaît que la rigueur de l'hiver, caractérisée par le nombre de degrés-jours de gel, suit une loi normale de moyenne 900°C-jours, d'écart-type 165°C-jours. L'hiver de récurrence 1/20 ans présente dans ces conditions 1 178°C-jours de gel, celui de récurrence 100 ans, 1 291°C-jours.

La date moyenne de prise des glaces dans l'archipel de Montréal est connue par des observations couvrant la période 1951-1983. La date moyenne est le 5 décembre, avec un écart-type de 6 jours.

Ces résultats sont basés sur des observations relativement anciennes. Des données plus récentes montrent une tendance à des hivers plus tardifs et un peu moins rigoureux : la rigueur moyenne entre 1971 et 2000 a été de 850°C-jours de gel et la date moyenne de prise des glaces (1961-1990) a été le 12 décembre.

Au printemps, les plans d'eau de la région de Montréal se libèrent en général de leurs glaces pendant la deuxième moitié de mars.

3.2 Observations des glaces

Le régime des glaces dans le secteur a été décrit lors de l'étude de 1974 complété par des photographies aériennes prises en janvier.

En début d'hiver, pendant le mois de décembre pour fixer les idées, de la glace de rive se forme autour des îles Rochon, Boutin et Gagné sur une largeur de 225 m environ

à partir de la rive sud. La glace de rive est beaucoup moins large en rive nord, et le chenal principal d'écoulement reste à surface libre.

D'importantes quantités de glace dérivent dans ce chenal principal. Elles sont constituées d'une partie de glace formée en amont de la centrale d'Hydro-Québec, et évacuées par l'évacuateur de crues, et pour une partie de glace formée localement, entre la centrale et l'axe du pont.

Les faibles vitesses d'écoulement dans le secteur du pont conduisent à des plaques ou blocs de glace de très grandes dimensions, jusqu'à 75 m, dérivant sur presque toute la surface libre.

Toute cette glace dévale les rapides du Moulin et s'accumule à son pied, pour former un important embâcle⁽²⁾ qui rehausse progressivement les niveaux d'eau dans les rapides puis au-delà plus en amont.

Plus tard en hiver, le chenal principal se ferme, sous l'effet conjugué des froids plus intenses, de la diminution du débit et du rehaussement des niveaux d'eau résultant de l'accumulation de glace au pied des rapides du Moulin. En 1976, cette fermeture a été observée fin janvier ou début février.

Le couvert de glace remonte alors rapidement vers l'amont, compte tenu des faibles vitesses d'écoulement.

La glace s'accumule également au pied puis dans les rapides Saint-Vincent de Paul, sans que l'on sache si le couvert de glace s'amorce spontanément entre l'axe du futur pont et Saint-Vincent de Paul, où s'il faut attendre que le bord frontal de l'accumulation ait remonté depuis le pied des rapides du Moulin puis devant les îles Gagnon, Rochon et Ton-

⁽²⁾ : Il s'agit plus précisément d'un barrage suspendu, ou dune de frasil. On réserve plutôt le terme embâcle aux accumulations de blocs formés après la fracturation des couverts de glace au printemps.

gas. Au cours de l'hiver 1969-70, un pont de glace s'est amorcé au cours des derniers jours de décembre et a permis la progression de l'accumulation de glace dans les rapides Saint-Vincent, conduisant à un niveau maximum de 11,0 m à la station de Saint-Vincent de Paul.

En tout état de cause, les figures 2 et 3 montrent que le niveau d'eau dans les rapides Saint-Vincent de Paul et au pied de la centrale sont régulièrement affectés par les glaces, avec des rehaussements atteignant fréquemment 1,5 à 2 m.

3.3 L'étude de 1974

L'étude de 1974 rend compte du mode de gestion des glaces en vigueur à l'époque, qui avait pour effet d'amener de très grandes quantités de glace dans le secteur du pont en décembre, puis des quantités beaucoup plus faibles une fois que les couverts de glace étaient formés en amont de la centrale..

En 1974, on considérait en effet, que les grandes quantités de glace arrivant de l'amont s'accumulaient au pied des rapides du Moulin au début d'hiver, en décembre, et que les apports de glaces avaient diminué en janvier et février lorsque le bord frontal du couvert avait atteint le secteur du pont, ce qui évitait des rehaussements des niveaux d'eau plus en amont vers Saint-Vincent de Paul, Montréal-Nord et la centrale d'Hydro-Québec.

L'appréhension était que le pont favorise la fermeture du couvert de glace dans son axe dès le début de l'hiver. Le même volume de glace arrivant en décembre s'accumulerait alors en amont du pont au lieu d'en aval des rapides du Moulin. La dune de frasil se formerait dans les rapides de Saint-Vincent de Paul, alors que les niveaux d'eau n'auraient pas encore été rehaussés par l'accumulation de glace dans les rapides du Moulin. La vitesse d'écoulement accrue et la plus grande disponibilité de la glace, conduiraient alors à des niveaux élevés, non pas à la station Saint-Vincent de Paul, mais à Montréal-Nord et au pied de la centrale.

Les observations au cours de l'hiver subséquent ont montré que le couvert de glace se formait vraisemblablement facilement dans le secteur du futur pont, même en l'absence de celui-ci (grandes étendues de couverts de glace de rive, faibles vitesses d'écoulement, densité et taille des glaces dérivant en surface), et le pont renforcerait cette tendance. Dans ces conditions, la recommandation d'adopter une grande portée (350', soit 107 m) pour franchir le chenal principal a été maintenue en 1975. On verra aux chapitres 4 et 7 de la présente étude que ces recommandations ne sont plus requises aujourd'hui, au vu de la meilleure connaissance du régime des glaces dans le secteur.

3.4 La gestion des glaces à la centrale d'Hydro-Québec

La centrale rivière des Prairies, mise en service en 1929, exige une gestion des glaces plus complexe que la plupart des centrales au fil de l'eau d'Hydro-Québec. Cette gestion s'est améliorée au fil des ans grâce à l'expérience acquise, et surtout par la mise en place d'estacades dans le bief amont à partir de 1975.

Avant 1975, il fallait évacuer des quantités considérables de glace en début d'hiver, pour éviter que la glace arrivant du lac des Deux-Montagnes s'accumule dans la retenue et rehausse dangereusement les niveaux d'eau dans le secteur du pont de Bordeaux⁽³⁾. Plus en aval, la gestion réalisée par le Ministère des Richesses naturelles visait à faire cheminer cette glace évacuée jusqu'en aval des rapides du Moulin. On cessait les déversements de glace lorsque le couvert était formé dans le secteur Ma Baie, ce qui éliminait les risques d'accumulation dans la retenue et les niveaux d'eau excessifs dans le secteur du pont de Bordeaux. L'étude de 1974 reflète les préoccupations associées à cette gestion.

L'installation en 1975 de deux estacades, l'une au bras sud de l'île Bizard, l'autre à 500 m en amont du pont Lachapelle (Cartierville) puis en 1995 à la baie Walker près du pont Papineau, a permis un meilleur contrôle des glaces. Les glaces arrivant du lac

⁽³⁾ : Il s'agit du pont ferroviaire qui enjambe la rivière à la hauteur de l'île Perry.

des Deux-Montagnes sont en effet interceptées dès le début de l'hiver, et il n'est plus nécessaire de les déverser par l'évacuateur de crues.

Par ailleurs, les problèmes rencontrés fréquemment au printemps ont été éliminés grâce à un brise-glace exploité par Hydro-Québec qui maintient tout l'hiver un chenal à surface libre depuis le pont de Bordeau jusqu'à l'évacuateur de crues, pour permettre le passage libre des glaces lors de la débâcle.

Dans ces conditions, les quantités de glace arrivant dans le secteur du futur pont sont moins importantes qu'à l'époque de l'étude de 1974, et plus régulières tout le long de l'hiver. La question de la remontée hâtive du couvert, provoquée par l'appui sur les piliers du pont, se pose avec moins d'acuité. Les simulations numériques présentées au chapitre suivant permettent d'évaluer les effets d'une fermeture du champ de glace contre les piliers du pont dès les premiers jours de l'hiver, dans le cadre de la gestion des glaces en vigueur aujourd'hui. On verra que la formation d'un pont de glace contre les piles n'a plus de conséquences nuisibles sur les niveaux d'eau.

4.0 MODÉLISATION 1D DES ÉCOULEMENTS ET DES CONDITIONS DE GLACE

4.1 Dunes de frasil en hiver

L'impact du pont sur les niveaux d'eau en présence de glace a été étudié par modélisation numérique de la génération et de l'accumulation de glace. Le modèle FRASIL, développé par le Groupe-Conseil LaSalle, simule les écoulements en présence de glace sur une base journalière tout au long de l'hiver. À chaque pas de temps, les niveaux d'eau et les vitesses d'écoulement sont calculés par un modèle hydrodynamique unidimensionnel, en tenant compte de l'obstruction et du frottement accru causés par les glaces fixes (glace de rive, barrages suspendus). On évalue ensuite la déperdition de chaleur au contact de l'air froid, et les volumes de frasil qui sont générés et dérivent avec le courant. Ce frasil se dépose sous les champs de glace là où les vitesses d'écoulement sont trop faibles pour le transporter vers l'aval.

Les données nécessaires à la simulation comprennent la séquence des débits et des niveaux d'eau à la limite aval du modèle (à la jonction avec la rivière des Mille-Îles), pour chaque jour de l'hiver, et la séquence des températures de l'air au cours de l'hiver. On spécifie également les quantités de glace déversées chaque jour à la centrale d'Hydro-Québec, qui s'ajoutent aux quantités de glace générées dans la rivière en aval de la centrale.

La présence du pont est prise en compte en forçant le modèle à considérer que la glace à la dérive s'arrête contre ce dernier dès les premiers jours de l'hiver. Le bord frontal du couvert remonte alors rapidement vers l'amont, et la glace arrivant de l'amont s'accumule préférentiellement en amont du pont au lieu de descendre jusqu'au pied du rapide du Moulin. En l'absence du pont, on impose au modèle de maintenir le chenal principal ouvert, ce qui permet à toute la glace arrivant de l'amont de former une dune de frasil au pied du rapide du Moulin. Le chenal se referme plus tard en hiver, lorsque la dune de frasil a suffisamment rehaussé les niveaux d'eau et diminué les vitesses dans le chenal principal.

La figure 5 présente l'évolution des niveaux d'eau aux stations limnimétriques de Duvernay, Saint-Vincent de Paul et au pied de la centrale d'Hydro-Québec, pour des conditions moyennes : débits moyens présentés à la figure 1, et températures de l'air mesurées pendant l'hiver 1954-55, hiver présentant 900°C-jours de gel, bien représentatif d'une rigueur moyenne.

Au cours de ce calcul, les quantités de glace déversées chaque jour à la centrale sont proportionnelles à la température de l'air, pour un total de 2,5 millions de m³ pour l'ensemble de l'hiver. Cette dernière valeur résulte d'une évaluation de la glace générée pendant tout l'hiver dans les éclaircies qui subsistent en amont de la centrale, que ce soit naturellement ou par l'action du brise-glace qui maintient un chenal ouvert dans la retenue.

On constate que la formation d'un pont de glace contre le pont a pour effet de rabaisser fortement les niveaux aux rapides du Moulin pendant tout l'hiver, et dans une moindre mesure à Saint-Vincent de Paul et à l'aval de la centrale en début d'hiver. Les niveaux à ces deux stations deviennent par contre plus élevés qu'en l'absence du pont dans la deuxième moitié de l'hiver, puis à Saint-Vincent de Paul, lorsque l'abaissement en aval des rapides du Moulin est plus que compensé par l'accumulation de glace qui se développe dans le secteur de Saint-Vincent de Paul.

Les rehaussements à Saint-Vincent de Paul et au pied de la centrale au cours de la deuxième moitié de l'hiver sont toutefois très faibles, quelques centimètres seulement, et les niveaux n'atteignent jamais des valeurs préoccupantes pour les riverains. En moyenne du 1^{er} décembre au 1^{er} avril, le niveau au pied de la centrale est ainsi 5 cm plus élevé si un pont de glace se forme contre le futur pont.

Ce rehaussement moyen au pied de la centrale passe à 10 cm au cours d'un hiver très froid, de récurrence 1/20 ans (figure 6), alors qu'il devient pratiquement nul lorsque les quantités de glace sont faibles (hiver de rigueur moyenne, pas de glace déversée de l'amont) et que le débit est très élevé pendant tout l'hiver (débits observés pendant l'hiver 1966-67 présentés à la figure 1).

4.2 Débâcle

Au printemps, les conditions de débâcle sont moins sévères qu'autrefois, du fait de la mise en place par Hydro-Québec des estacades de l'île Bizard et de Cartieville, qui contribuent à retenir la glace et à la laisser fondre sur place, ce qui limite d'autant les quantités de glace qui franchissent l'aménagement et sont entraînées vers le site du pont. Celui-ci sera par ailleurs libre de glace à cette époque, par l'action de l'hydroglisseur de la Garde Côtière qui intervient chaque printemps de manière préventive, en remontant jusqu'au pont Pie IX.

5.0 MODÉLISATION 2D DES ÉCOULEMENTS

Les figures 8 à 23 présentent les résultats de la modélisation bi-dimensionnelle des conditions d'écoulement.

La bathymétrie utilisée est celle fournie par les relevés de 1972, interpolée sur un maillage rectangulaire de 10 par 25 m. Les calculs sont conduits pour le débit moyen d'hiver de 1 000 m³/s, en eau libre puis en présence de glace de rive, en conditions actuelles puis en présence de chacune des trois variantes de pont proposées par CIMA-BPR (voir annexe A). On considère également, pour chacune des trois variantes de pont, l'effet d'une jetée utilisée pendant la construction et s'avancant depuis la rive droite.

Ces simulations permettent de préciser les vitesses d'écoulement à l'approche du pont, ainsi que le rehaussement des niveaux d'eau au passage du pont.

La figure 8 présente les conditions actuelles sous 1 000 m³/s en l'absence de glace. La figure 9 présente l'emprise du champ de glace de rive qui a été imposé au modèle, sur la base des observations disponibles. L'épaisseur est fixée à une valeur uniforme de 0,60 m qui correspond à l'épaisseur moyenne en fin d'hiver dans la région de Montréal. On observe sur la figure 10 que cette glace de rive concentre les vitesses dans le chenal principal, où les vitesses augmentent légèrement.

On présente ensuite, pour chacune des trois variantes de pont, le champ des vitesses en eau libre, puis avec glace de rive, puis avec glace de rive et jetée en rive sud. Cette dernière situation est a priori la plus défavorable en terme d'obstruction à l'écoulement. C'est ainsi la variante 3 (présentant le plus grand nombre de piliers) en fin de construction (avec glace de rive et jetée) qui conduit aux plus grandes vitesses et aux plus forts rehaussements des niveaux d'eau.

Ces rehaussements restent cependant très faibles, parce que le pont est construit dans une zone relativement lente, et parce que la jetée est placée à l'amont des îles, dans un secteur qui participe peu à l'écoulement. Le tableau 3 présente les niveaux d'eau et les rehaussements calculés.

TABLEAU 3 : Niveaux d'eau et rehaussements calculés sous 1 000 m³/s

Condition	Niveau d'eau (m)		Différence (m)
	À 150 en aval du pont	À 150 m en amont du pont	
Eau libre	8,764	8,777	0,013
Avec glace de rive	8,816	8,828	0,012
Pont 1 - eau libre	8,765	8,777	0,012
Pont 1 - avec glace de rive	8,816	8,829	0,013
Pont 1 - avec glace de rive et jetée	8,822	8,835	0,013
Pont 2 - eau libre	8,765	8,777	0,012
Pont 2 - avec glace de rive	8,816	8,828	0,012
Pont 2 - avec glace de rive et jetée	8,822	8,837	0,015
Pont 3 - eau libre	8,765	8,777	0,012
Pont 3 - avec glace de rive	8,816	8,830	0,014
Pont 3 - avec glace de rive et jetée	8,822	8,837	0,015

Dans le cas le plus défavorable (pont no 3 avec glace de rive et jetée en place), la différence entre les niveaux d'eau que l'on mesure à 150 m en amont et en aval du pont n'est que de 15 mm, contre 12 mm en l'absence de pont. Le rehaussement provoqué par le pont est donc tout à fait négligeable, même dans la configuration la plus défavorable. Ce résultat reste vrai sous plus gros débit, puisque le calcul montre que les niveaux d'eau sont rehaussés de moins de 30 mm en crue 1/100 ans (3 255 m³/s) (pont no 3 en eau libre avec jetée de construction). Les vitesses d'écoulement dans l'axe du pont atteignent alors 0,8 m/s.

L'ensemble de ces résultats montre que le pont n'a pas d'influence significative sur les cotes d'inondation et la largeur de la plaine d'inondation dans le secteur où il est construit.

On observe finalement que le pont est assez loin en aval des pylônes de la ligne à haute tension d'Hydro-Québec pour qu'il n'y ait pas d'interférence, en ce sens que les vitesses à l'approche des piliers du pont ne sont pas affectées par la présence des pylônes.

Les figures 14, 18 et 22 présentent finalement les vitesses à l'approche immédiate du pont, bien représentatives des vitesses d'impact des glaces sur les piliers. Ici encore le cas le plus défavorable est la variante 3 avec glace de rive et jetée de construction en place. Cette configuration conduit à une augmentation des vitesses d'écoulement dans l'axe du pont qui est très faible, la vitesse maximale sous 1 000 m³/s avec glace en rive passant de 0,46 à 0,47 m/s. Les alluvions présentes sur le fond sont capables de résister à des vitesses nettement supérieures lors des crues, et on ne prévoit pas d'impact significatif sur le régime sédimentaire au voisinage du pont. Les précautions usuelles devront toutefois être adoptées pour éviter les affouillements au voisinage immédiat des piliers.

6.0 DÉGAGEMENT VERTICAL SOUS LE PONT

Le dégagement vertical requis sous le pont a fait l'objet d'une recommandation de la Garde Côtière (Bureau de Québec). On doit assurer, dans le chenal principal de navigation, le passage des hydravions de la base voisine, en rive droite, lorsque ceux-ci flottent sur le plan d'eau, et le tirant d'air requis pour un hydravion de type Otter est de 9,75 m au-dessus du niveau moyen des hautes eaux. Les hydroglisseurs utilisés par la Garde Côtière pour dégager les glaces ont un tirant d'air inférieur à cette valeur et pourront passer sous le pont si on respecte ce dégagement de 9,75 m.

Le chenal de navigation est défini par la Garde Côtière « dans la portion Nord-Ouest de la rivière soit entre le pylône hydroélectrique du centre de la rivière à celui situé près de l'île de Laval ».

Ce niveau des hautes eaux moyennes dans l'axe du pont est situé, selon l'évaluation de la Garde Côtière, à 9,50 m au-dessus du niveau moyen des mers. Dans ces conditions, le tablier du pont doit être à au moins $9,50 + 9,75 \text{ m} = 19,25 \text{ m}$ au-dessus du niveau moyen des mers⁽⁴⁾. Ceci représente la cote minimale du dessous du tablier au franchissement du chenal de navigation.

On mentionne par ailleurs que le zéro des cartes marines, dans l'axe du pont, est situé 8,2 m au-dessus du niveau moyen des mers.

6.1 Cote d'impact des glaces sur les piles

Le niveau auquel les glaces à la dérive frappent les piliers du pont intervient dans le calcul des efforts et des moments agissants sur ces derniers, et on doit considérer le niveau maximum possible.

⁽⁴⁾ : Les niveaux rapportés au niveau moyen des mers sont les « niveaux géodésiques ».

Le tableau 1 ci-dessus fournit les niveaux dans l'hypothèse où le chenal principal est ouvert et les niveaux pas encore rehaussés par l'accumulation de glace dans les rapides du Moulin. Ce niveau ne correspond pas au cas le plus défavorable : les figures 3 et 4 présentent le régime des débits et des niveaux d'eau d'hiver sur la rivière des Prairies. Le débit moyen en hiver est un peu inférieur à $1\,000\text{ m}^3/\text{s}$, et dépasse $1\,250\text{ m}^3/\text{s}$ certains hivers (1953-54 par exemple). On observe que les niveaux d'eau sont rehaussés par les glaces, principalement en début et milieu d'hiver, sous des débits de 500 à $1\,500\text{ m}^3/\text{s}$. Les forts débits associés aux crues de printemps ($2\,000\text{ m}^3/\text{s}$ et plus) ne présentent pratiquement pas de rehaussement par les glaces.

Ces observations permettent de fixer le niveau d'impact des glaces sur les piliers du pont (situé entre les stations de Duvernay et Saint-Vincent): que ce soit les plaques de glace dérivant en janvier ou février, ou les gros glaçons de débâcle en avril, le niveau d'eau maximum est de $+11,0\text{ m}$ géodésique. Le plus haut niveau auquel s'exerce la poussée des glaces au moment de l'impact est légèrement plus bas, compte tenu de l'épaisseur des glaçons.

7.0 CONCLUSIONS

L'examen du mode de génération et d'accumulation de glace sur la rivière des Prairies entre la centrale d'Hydro-Québec et le fleuve Saint-Laurent a permis de préciser l'impact de la construction du pont de l'autoroute 25 sur les niveaux d'eau en eau libre et en présence de glace.

En eau libre de glace, la modélisation numérique 2D des écoulements montre que l'obstruction créée par le pont a toujours un effet négligeable sur les niveaux d'eau, même dans le cas le plus défavorable du pont no 3 en présence de la jetée de construction.

Pendant la saison froide, on a supposé que la présence des piliers favoriserait la formation hâtive d'un champ de glace plus en amont, parce que les glaces qui dérivent lentement en début d'hiver dans le chenal principal d'écoulement s'arrêteraient contre les piliers. Aujourd'hui, en l'absence de pont, il faut attendre que la glace à la dérive se soit suffisamment accumulée dans les rapides du Moulin pour qu'une telle fermeture ait lieu.

Cette formation hâtive du couvert de glace a un effet bénéfique en début d'hiver, en limitant les volumes de glace s'accumulant dans les rapides du Moulin, ce qui abaisse les niveaux d'eau de plusieurs dizaines de centimètres partout en amont. Mais cet effet est plus que compensé pendant la deuxième moitié de l'hiver, par l'accumulation dans le secteur de Saint-Vincent de Paul de la glace qui ne peut plus cheminer vers l'aval. Au total, les niveaux d'eau ne sont jamais préoccupants pour les riverains du fait de la présence du pont⁽⁵⁾, et le rehaussement au pied de la centrale d'Hydro-Québec, en moyenne pendant tout l'hiver, est évalué à 5 cm, valeur à la limite de la précision des calculs et très inférieure aux variations naturelles des niveaux, en réponse aux fluctuations de débit et de températures de l'air.

⁽⁵⁾ : Plus précisément, des combinaisons exceptionnelles de débit et de température de l'air peuvent conduire à des niveaux d'eau très hauts, mais ces conditions ne sont pas aggravées par la présence du pont.

Il apparaît ainsi que la formation d'un pont de glace contre les piliers du futur pont n'a pas de conséquences défavorables et il n'est donc pas nécessaire, à ce titre, de prévoir une très grande portée pour franchir le chenal de navigation. La présence des pylônes de la ligne d'Hydro-Québec immédiatement en amont de l'axe du pont n'a pas d'effet défavorable sur le régime des glaces ou sur la formation d'un pont de glace contre les piliers du pont.

Les impacts d'une formation hâtive des champs de glace en amont du pont sont ainsi moins importants que ceux que l'on prévoyait en 1974, et ceci résulte à la fois d'une meilleure connaissance du site, grâce à plusieurs décennies de mesures des niveaux d'eau en hiver, et par des conditions hivernales moins sévères depuis qu'Hydro-Québec gère différemment la glace, notamment par l'installation d'estacades en amont de la centrale.

La modélisation numérique a également permis de préciser les vitesses d'écoulement dans le secteur, et les rehaussements des niveaux au passage du pont.



ANNEXE A

Lettre de CIMA-BPR présentant les variantes de pont

Configuration des piles du pont sur la rivière des Prairies N/D 327T436 – 60ES

13 novembre 2003

Introduction

Cette note technique présente les informations sur l'infrastructure du pont projeté sur la rivière des Prairies qui sont nécessaires pour réaliser l'étude sur la poussée et le comportement des glaces après la construction du pont. Elle décrit aussi la nature et l'envergure des obstacles temporaires créés par les méthodes les plus susceptibles d'être utilisés pour la construction du pont.

Configurations envisagées

Les solutions envisagées de pont comportent une approche du côté sud (Montréal) de la rivière et un pont principal pour franchir la fosse du côté nord (Laval). La longueur totale du pont est 1 096 mètres (face nord de la culée sud à 5+004 et face sud de la culée nord à 6+100). Trois variantes de configuration sont envisagées aux fins de l'étude sur le comportement des glaces :

1. Travées d'approche sud espacées à 88 mètres et pont à haubans de portée 120m - 240m - 120m (concept I de l'annexe VII)
2. Travées d'approche sud espacées à 72 mètres et pont en encorbellement de portées 100m - 120m - 120m - 85m (concept V de l'annexe VII)
3. Pont à travées espacées uniformément à 60 mètres sur toute sa longueur (concept IV de l'annexe VII)

Le pont comporte deux superstructures jumelées adjacentes, sauf pour ce qui est de la section haubanée de la première variante qui n'est qu'une superstructure. La largeur du pont, qui supporte quatre voies de circulation, varie entre 30 et 33 mètres selon les variantes.

Espacement des piles

En condition de hautes eaux, les rives sud et nord sont respectivement aux chaînages 4+975 et 6+030 environ.

Variante 1		Variante 2		Variante 3	
Pile n°	Chaînage	Pile n°	Chaînage	Pile n°	Chaînage
Culée sud	5+004 *	Culée sud	5+004 *	Culée sud	5+004 *
1	5+092 **	1	5+076	1	5+064
2	5+180	2	5+148	2	5+124
3	5+268	3	5+220	3	5+184
4	5+356	4	5+292	4	5+244
5	5+444	5	5+364	5	5+304
6	5+532	6	5+436	6	5+364
7	5+620	7	5+508	7	5+424
8	5+740	8	5+580	8	5+484
9	5+980	9	5+652	9	5+544

Variante 1		Variante 2		Variante 3	
Pile n°	Chaînage	Pile n°	Chaînage	Pile n°	Chaînage
Culée nord	6+100	10	5+752	10	5+604
		11	5+872	11	5+664
		12	5+992	12	5+724
		Culée nord	6+100	13	5+784
				14	5+844
				15	5+904
				16	5+964
				17	6+024 *
				Culée nord	6+100

Note : * Semelle submergée en conditions de hautes eaux seulement

** Piles de l'approche en italiques, piles du pont principal en gras

Géométrie des piles en rivière

La géométrie préliminaire des piles est illustrée sur les croquis 1 /7 à 7/7 émis le 10 novembre 2003.

De façon générale, les piliers en béton reposent sur le socle rocheux dans le lit de la rivière des Prairies. Les piliers, pour les travées dites d'approche (ou côté de l'Île de Montréal), ont une largeur de 4 mètres (côté prise dans l'axe longitudinal du pont) et auront une configuration avec un nez arrondi (à valider lors de la conception, par d'autres).

Pour ce qui est des piles/caissons supportant les mâts d'un éventuel pont haubané, il y a deux options possibles : soit un tablier à nappe d'haubane simple (caisson de 15 mètres de diamètre) ou soit un concept avec deux mâts (caissons de 10 mètres de diamètre chacun, voir croquis).

Dans le cas du concept de pont à voussoir construit par la méthode d'encorbellement, les piles auront préférablement une configuration avec géométrie variable avec une largeur de 4 mètres au sommet et 7 mètres à la base.

Obstacles pendant la période de construction

La construction du pont étant prévue se prolonger sur trois saisons de travail, il est donc possible que des ouvrages temporaires doivent être conservés en rivière pendant la période d'hiver et être soumis à l'action des glaces. Les obstacles ainsi créés seront les suivants :

➤ Jetée d'accès aux piliers de l'approche sud

Le tirant d'eau étant inférieur à un mètre en amont des îles Boutin, Rochon et Lapierre, il est probable que les fondations des piliers et les poutres de la superstructure soient construites à partir d'une jetée temporaire en enrochement, parallèle au pont construite à partir de la rive sud jusqu'à environ la cote -2 mètres montrée sur la *Carte pour petites embarcations* du service hydrographique du Canada. Cette jetée est construite à un niveau supérieur au niveau de hautes eaux pour éviter d'être submergée.

Elle s'étendrait donc de la rive sud (4+975 environ) jusqu'au chaînage 5+425 environ.

➤ Construction des batardeaux des piliers de l'approche sud

La construction des semelles et des massifs supportant les piliers du pont seront sans doute faite à l'intérieur de batardeaux de palplanches dont les parois extérieures seront à environ

deux mètres des parois des semelles de fondation. Il est peu probable que l'entrepreneur construise les batardeaux pour qu'ils résistent aux glaces; il planifiera sans doute l'ensemble des travaux d'un pilier donné à l'intérieur d'une saison de travail. Si la présence d'un batardeau pouvait créer des risques, il faudrait imposer à l'entrepreneur les modalités pour éliminer ces risques.

En résumé, la pire condition d'obstruction de la rivière serait lorsque toutes les piles seraient construites et que la jetée temporaire serait encore en place. Les études de glaces et hydraulique devraient se prononcer sur cette situation et déterminer quelle est l'obstruction maximale acceptable.



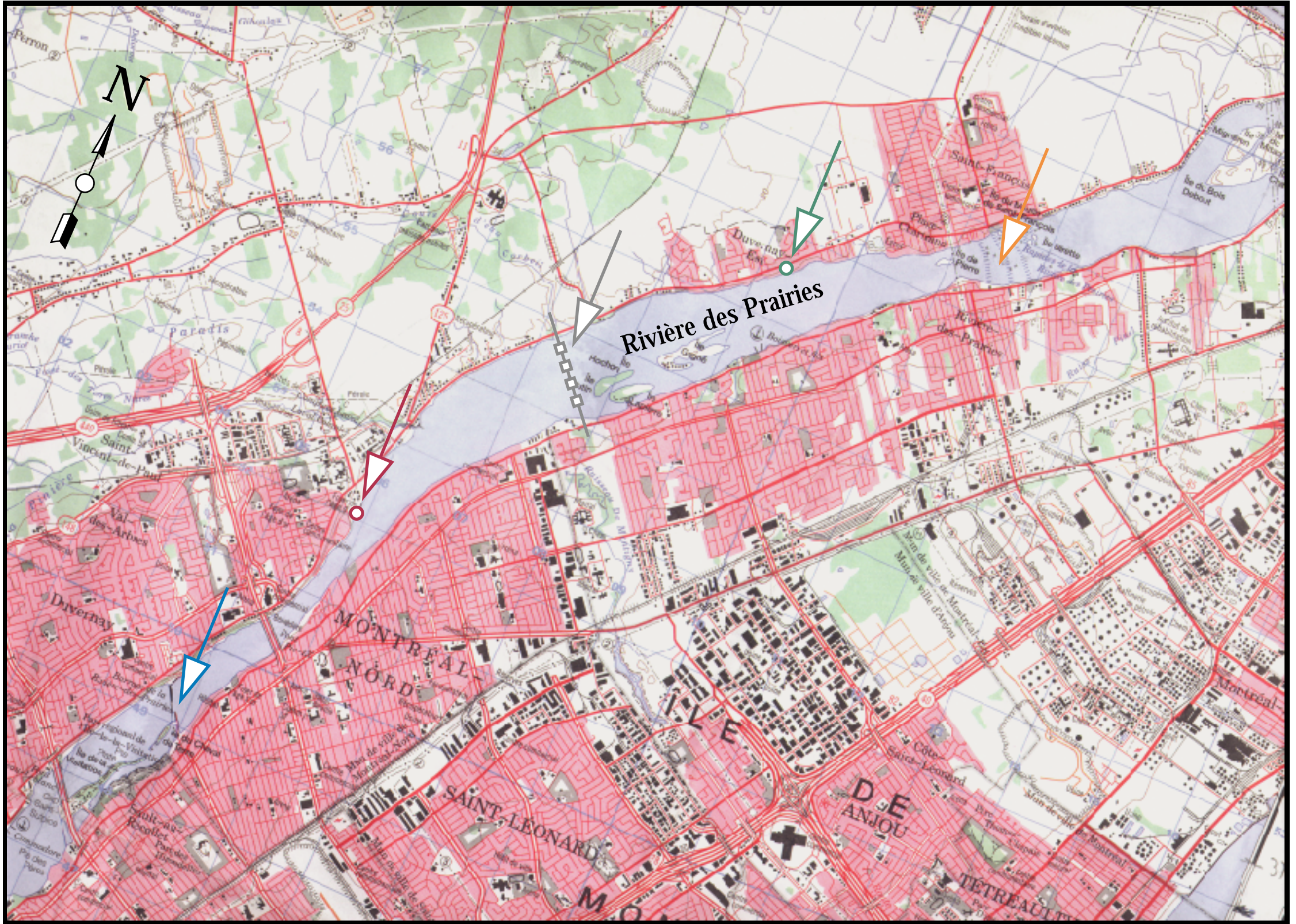
Centrale d'Hydro-Québec	
-------------------------	--

Station St-Vincent de Paul	
----------------------------	--

Pont projeté	
--------------	--

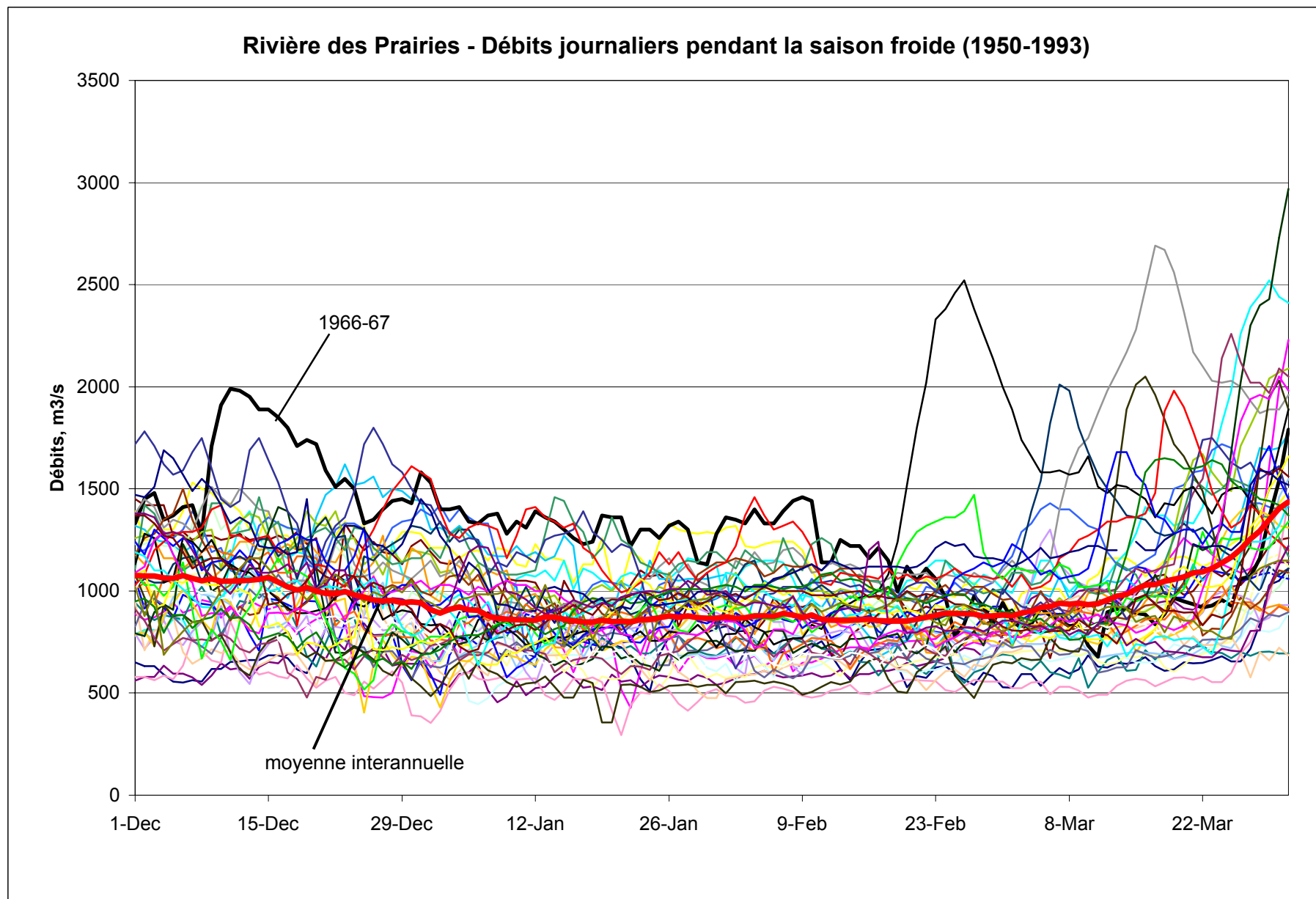
Station Duvernay est	
----------------------	--

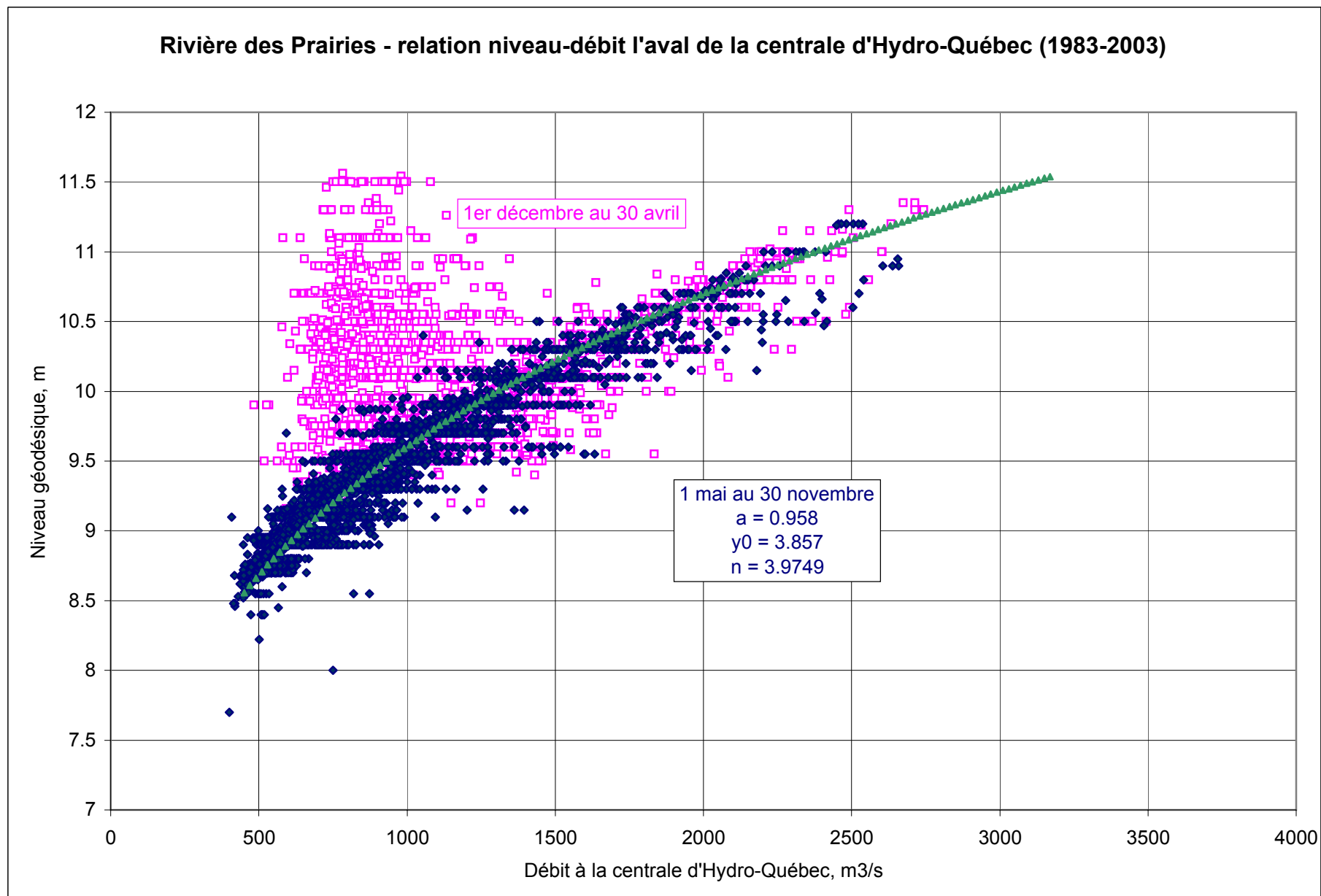
Rapides du Moulin	
-------------------	--

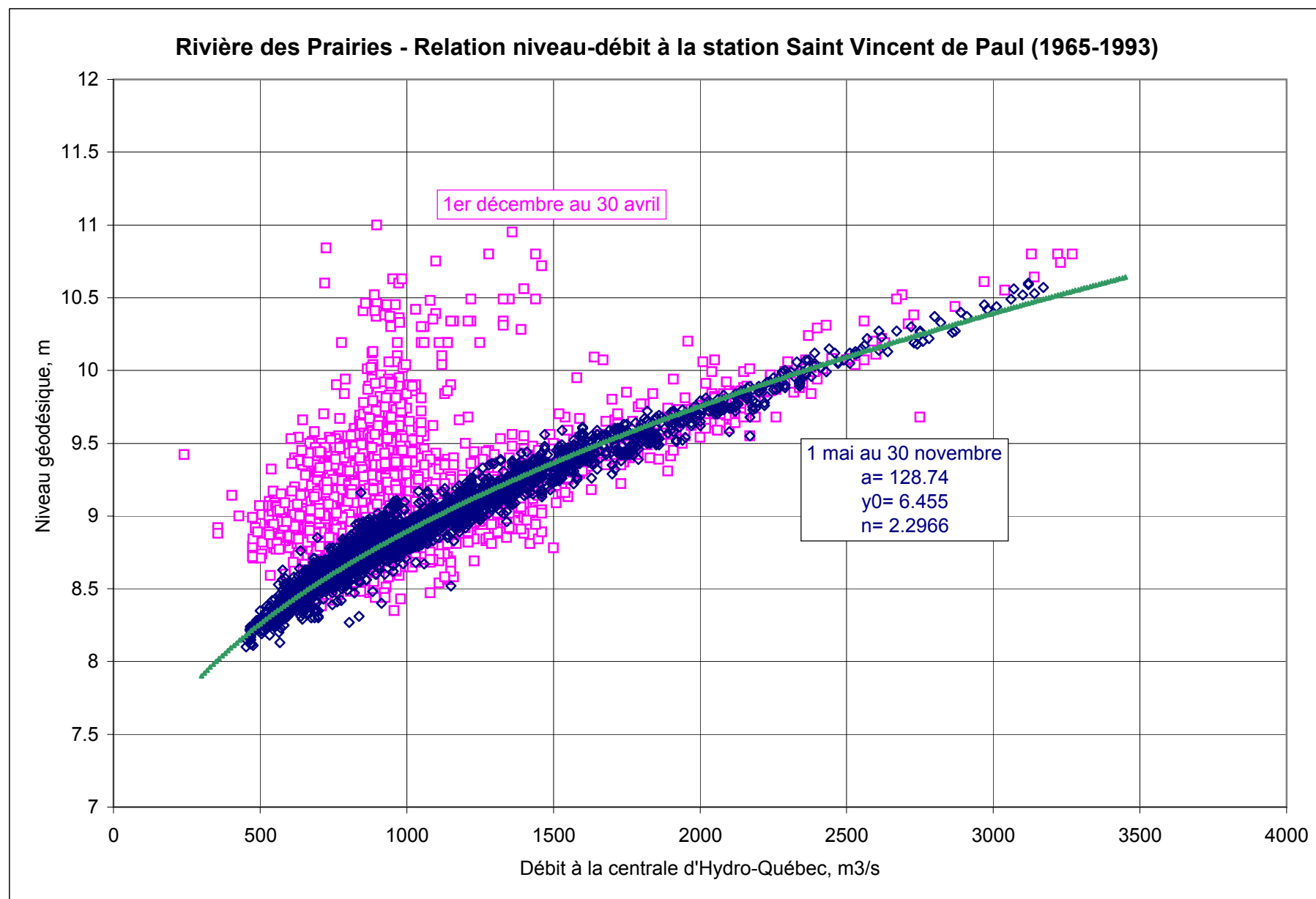


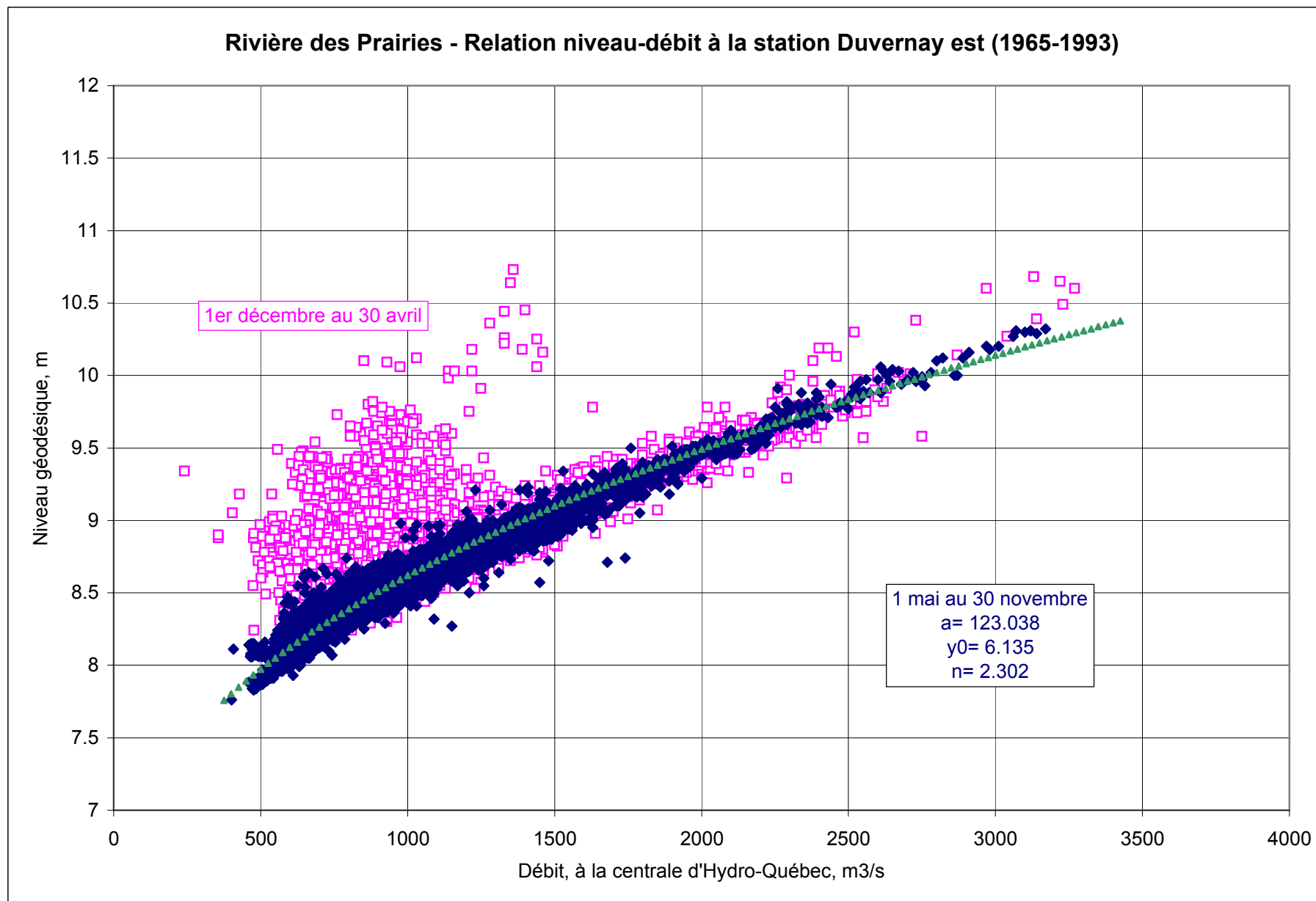
PLAN DE SITUATION

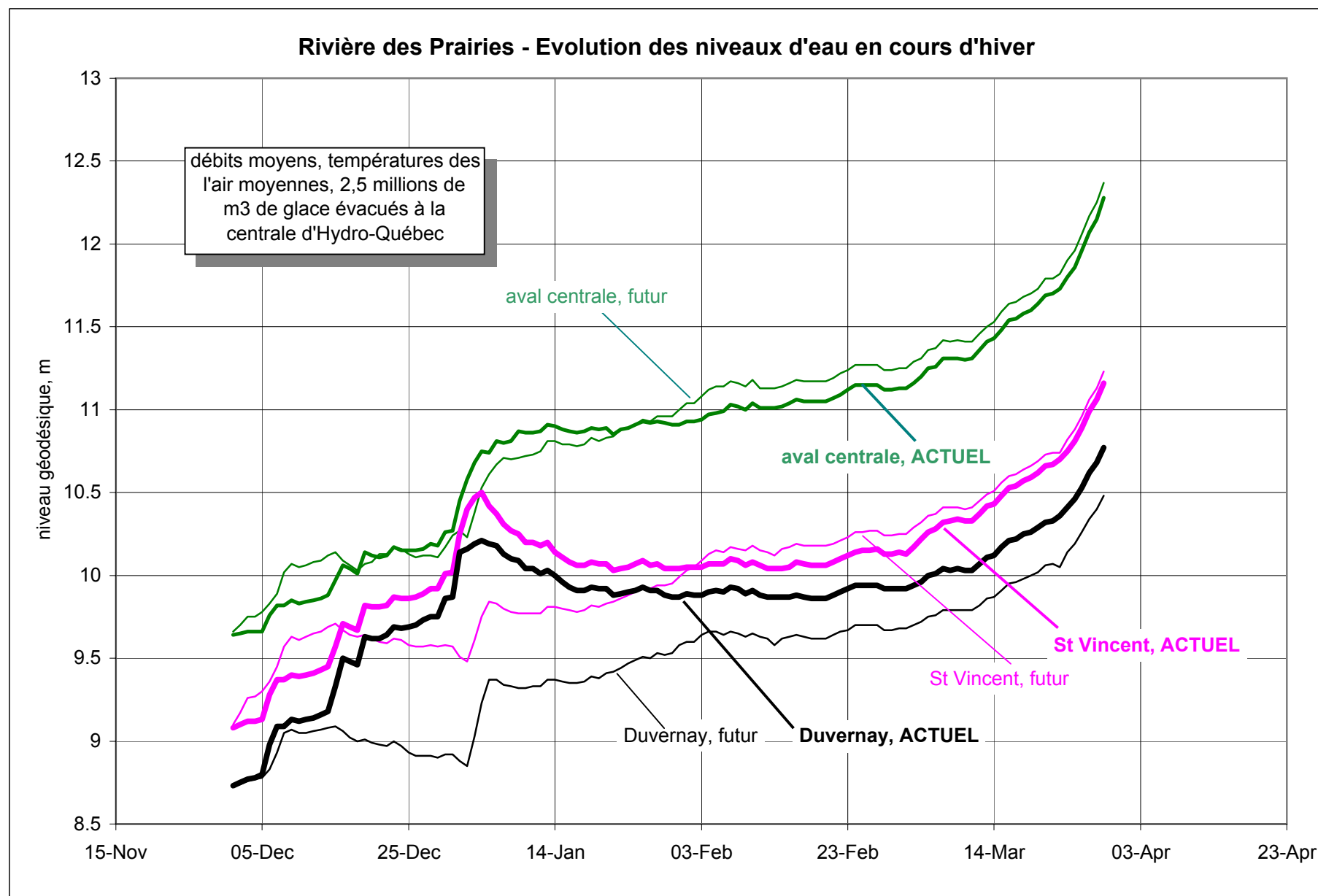


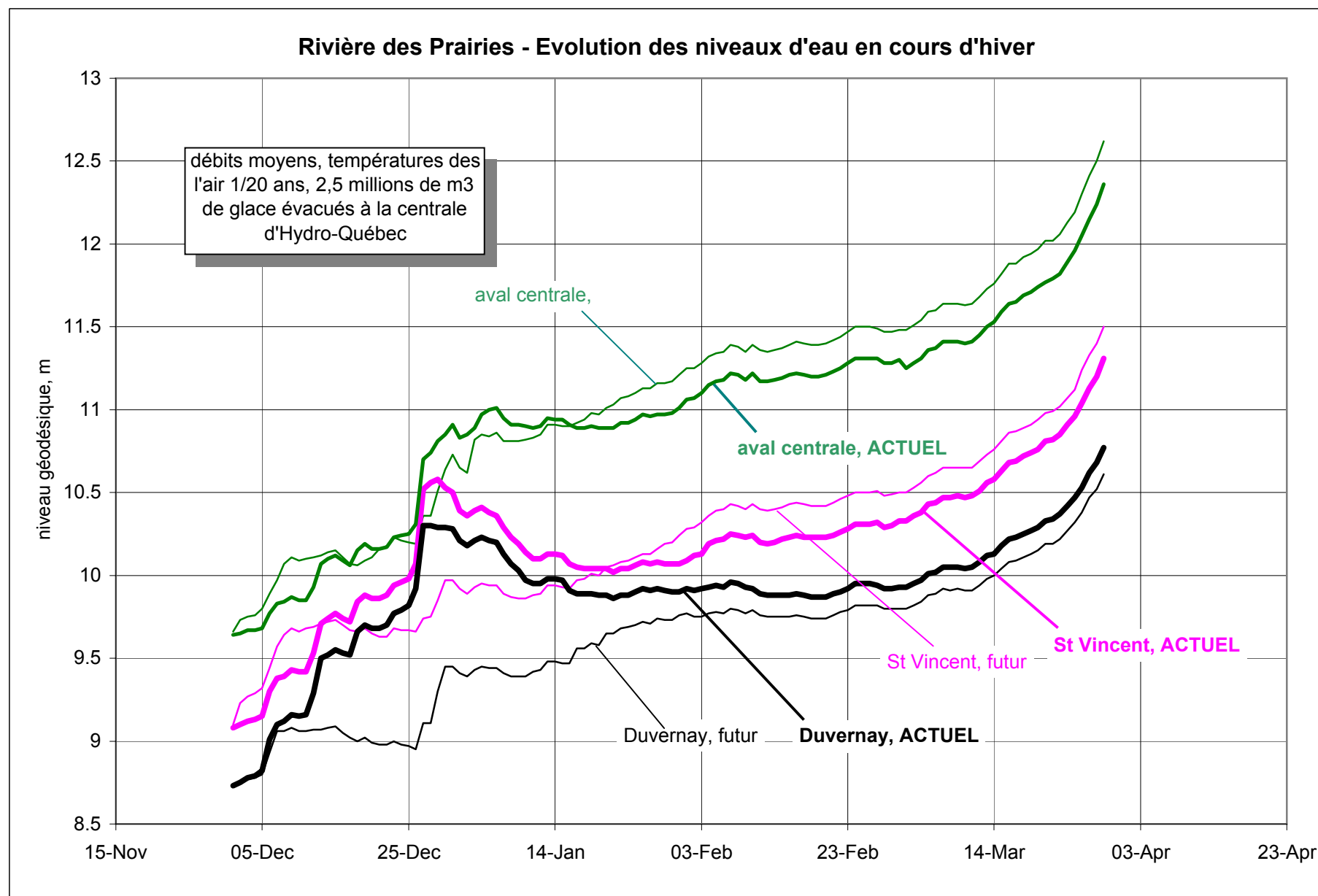


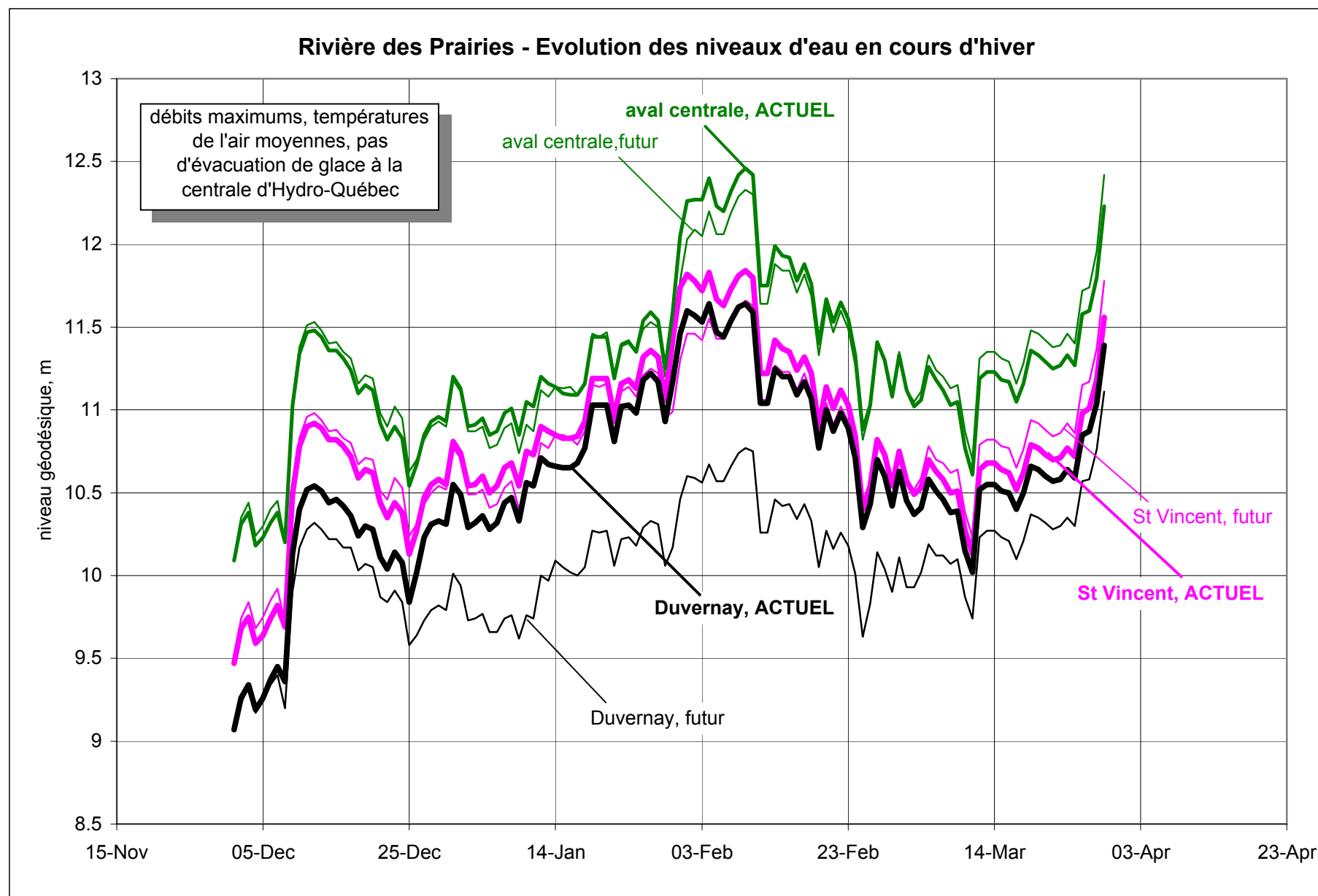


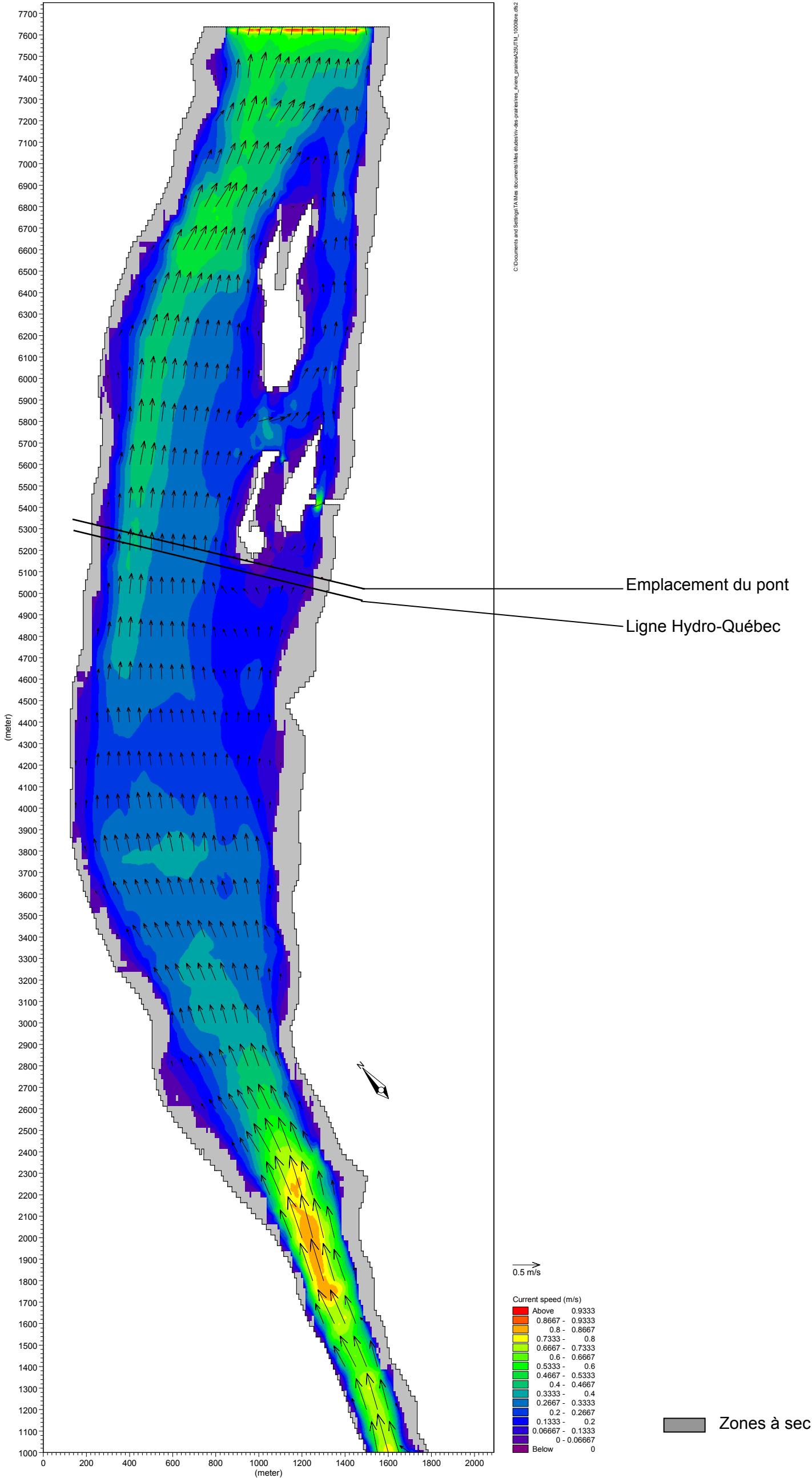












Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :
Prolongement de l'autoroute 25 – pont sur la rivière des Prairies
NUMERO DU CONTRAT : 5100-02-QZ08

DESCRIPTION :
Champ des vitesses en eau libre pour un débit de 1000m³/s.

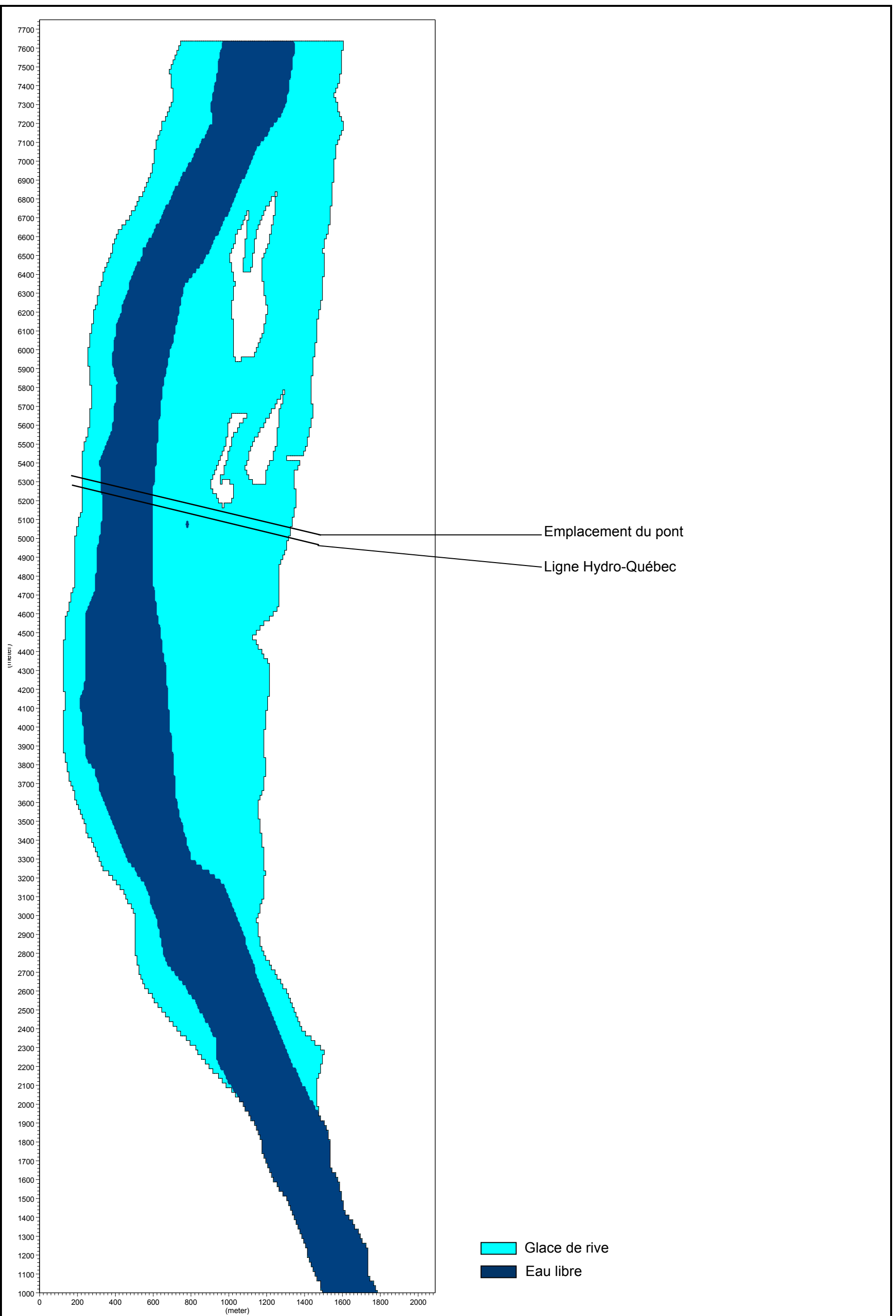
CLIENT :
Gouvernement du Québec
Ministère des Transports
BMOPPP


DATE :
Janvier 2004

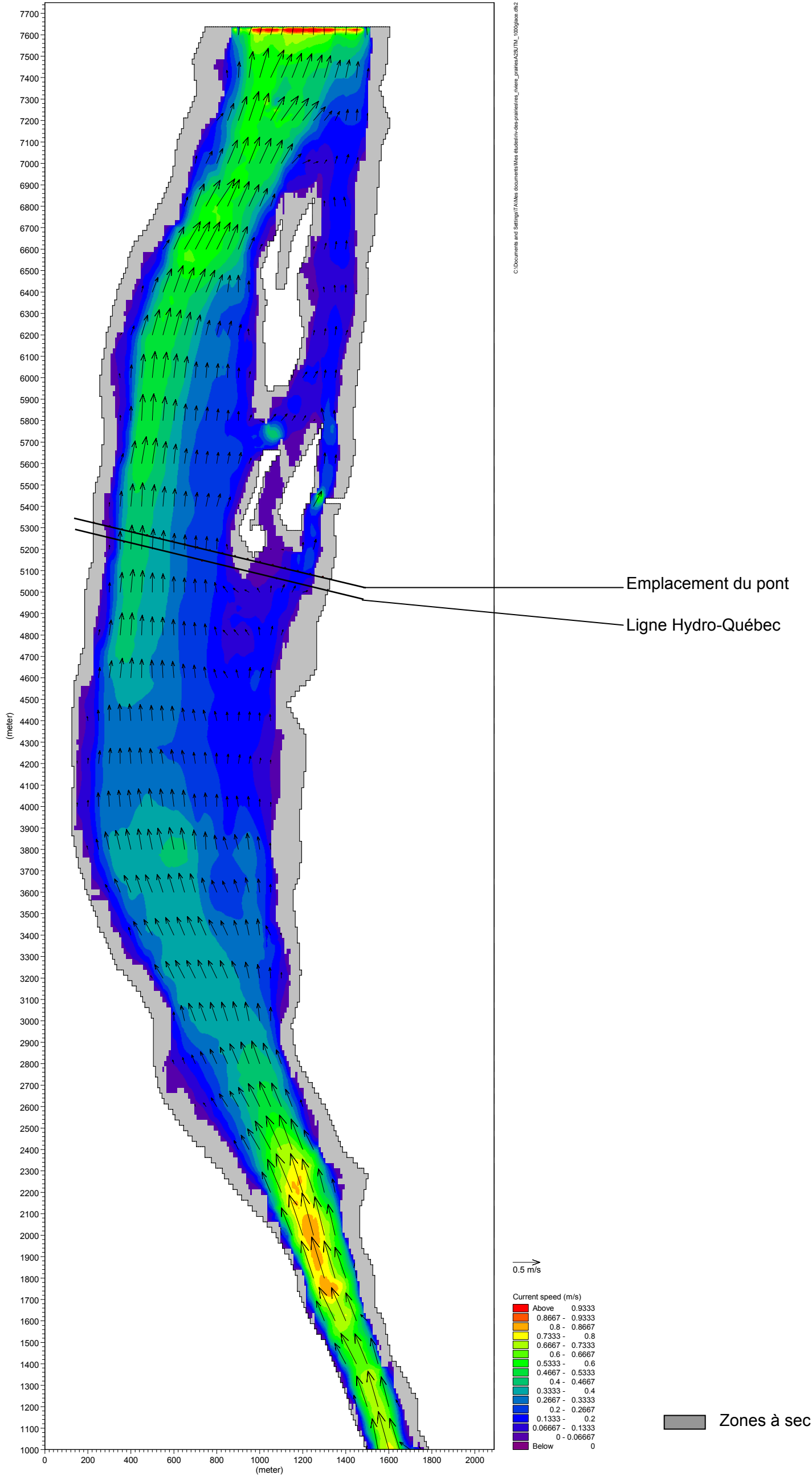
DESSINE PAR :
T.A.

REF.LASALLE :
031-103-01

FIGURE :
8



 Le Groupe-Conseil LaSalle	PROJET : Prolongement de l'autoroute 25 – pont sur la rivière des Prairies NUMERO DU CONTRAT : 5100-02-QZ08			
	DESCRIPTION : Localisation des zones de glace			
CLIENT : Gouvernement du Québec Ministère des Transports BMOPPP				
	DATE : Janvier 2004	DESSINE PAR : T.A.	REF.LASALLE : 031-103-02	FIGURE : 9



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :
Prolongement de l'autoroute 25 – pont sur la rivière des Prairies
NUMERO DU CONTRAT : 5100-02-QZ08

DESCRIPTION :
Champ des vitesses en conditions de glace pour un débit de 1000m³/s.

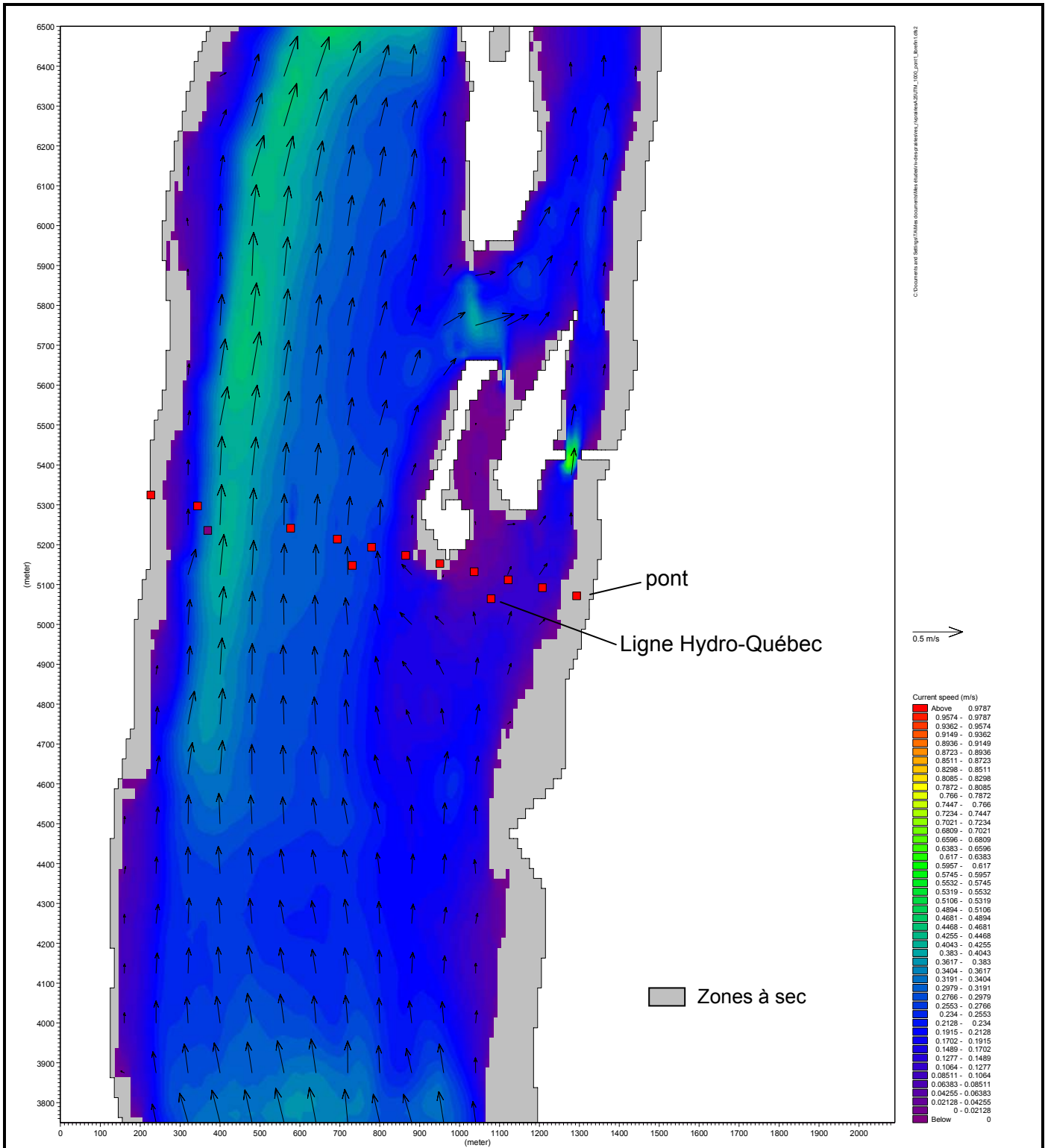
CLIENT :
Gouvernement du Québec
Ministère des Transports
BMOPPP

DATE :
Janvier 2004

DESSINE PAR :
T.A.

REF.LASALLE :
031-103-03

FIGURE :
10



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :
Prolongement de l'autoroute 25 – pont sur la rivière des Prairies
NUMERO DU CONTRAT : 5100-02-QZ08

DESCRIPTION :
Champ des vitesses en conditions d'eau libre avec pont 1, pour un débit de 1000m³/s.

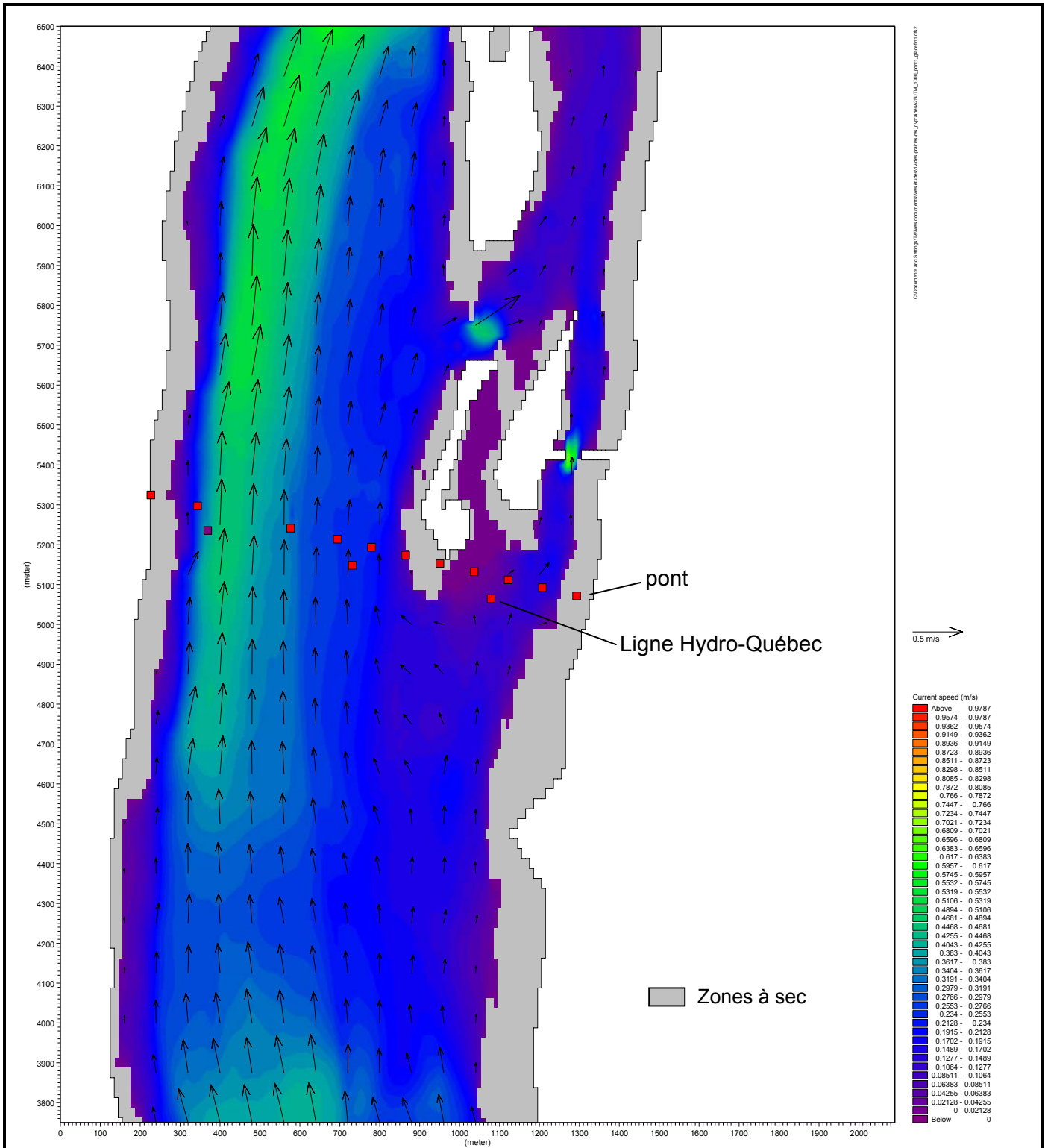
CLIENT :
Gouvernement du Québec
Ministère des Transports
BMOPPP

DATE :
Janvier 2004

DESSINE PAR :
T.A.

REF.LA.SALLE :
031-103-04

FIGURE :
11



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :

Prolongement de l'autoroute 25 – pont sur la rivière des Prairies

NUMERO DU CONTRAT : 5100-02-QZ08

DESCRIPTION :

Champ des vitesses en conditions de glace avec pont 1, pour un débit de 1000m³/s.

CLIENT :

Gouvernement du Québec
Ministère des Transports
BMOPPP

DATE :

Janvier 2004

DESSINE PAR :

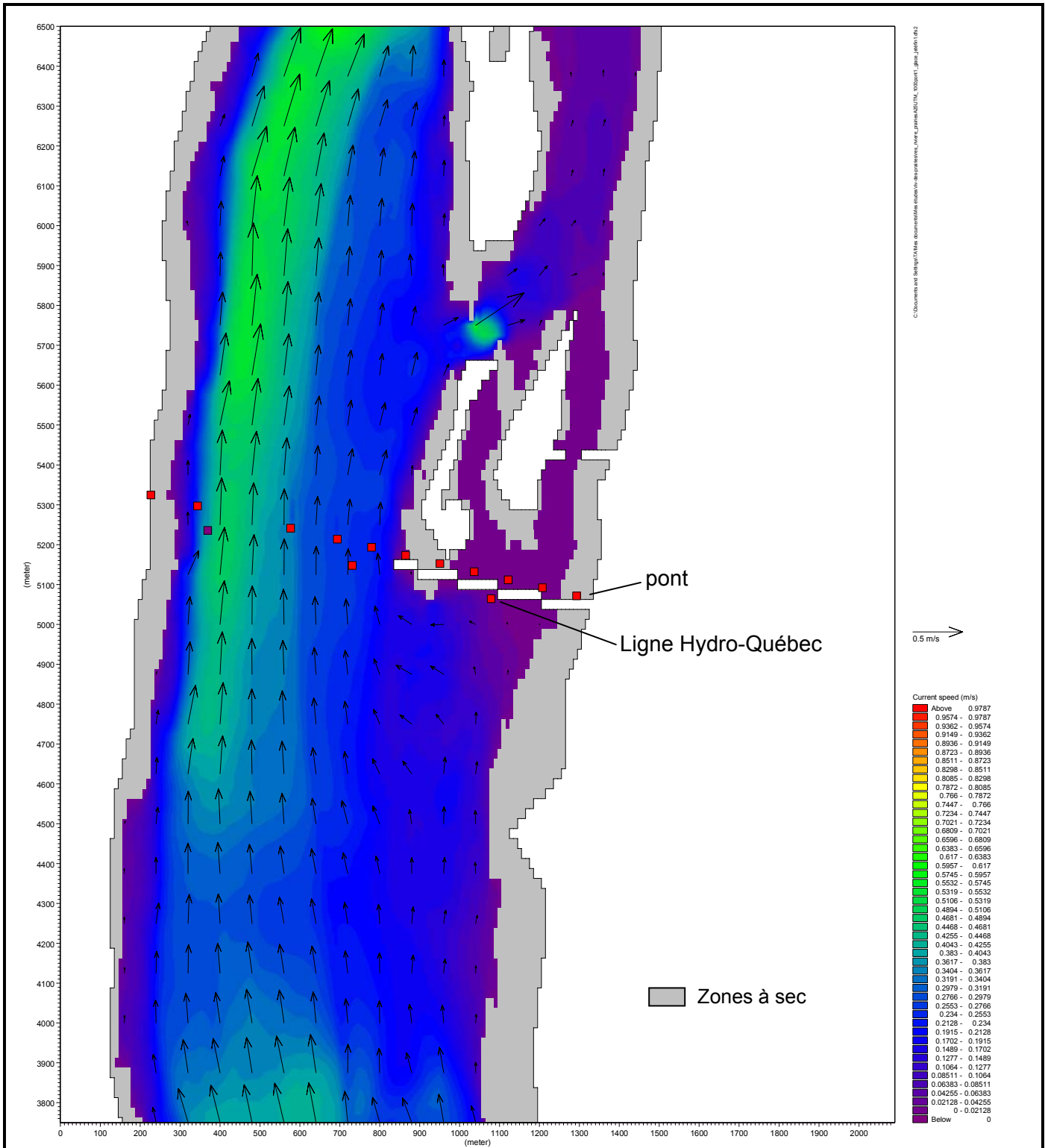
T.A.

REF.LA.SALLE :

031-103-05

FIGURE :

12



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :

Prolongement de l'autoroute 25 – pont sur la rivière des Prairies

NUMERO DU CONTRAT : 5100-02-QZ08

DESCRIPTION :

Champ des vitesses en conditions de glace avec pont 1 et jetée de construction, pour un débit de 1000m³/s.

CLIENT :

Gouvernement du Québec
Ministère des Transports
BMOPPP

DATE :

Janvier 2004

DESSINE PAR :

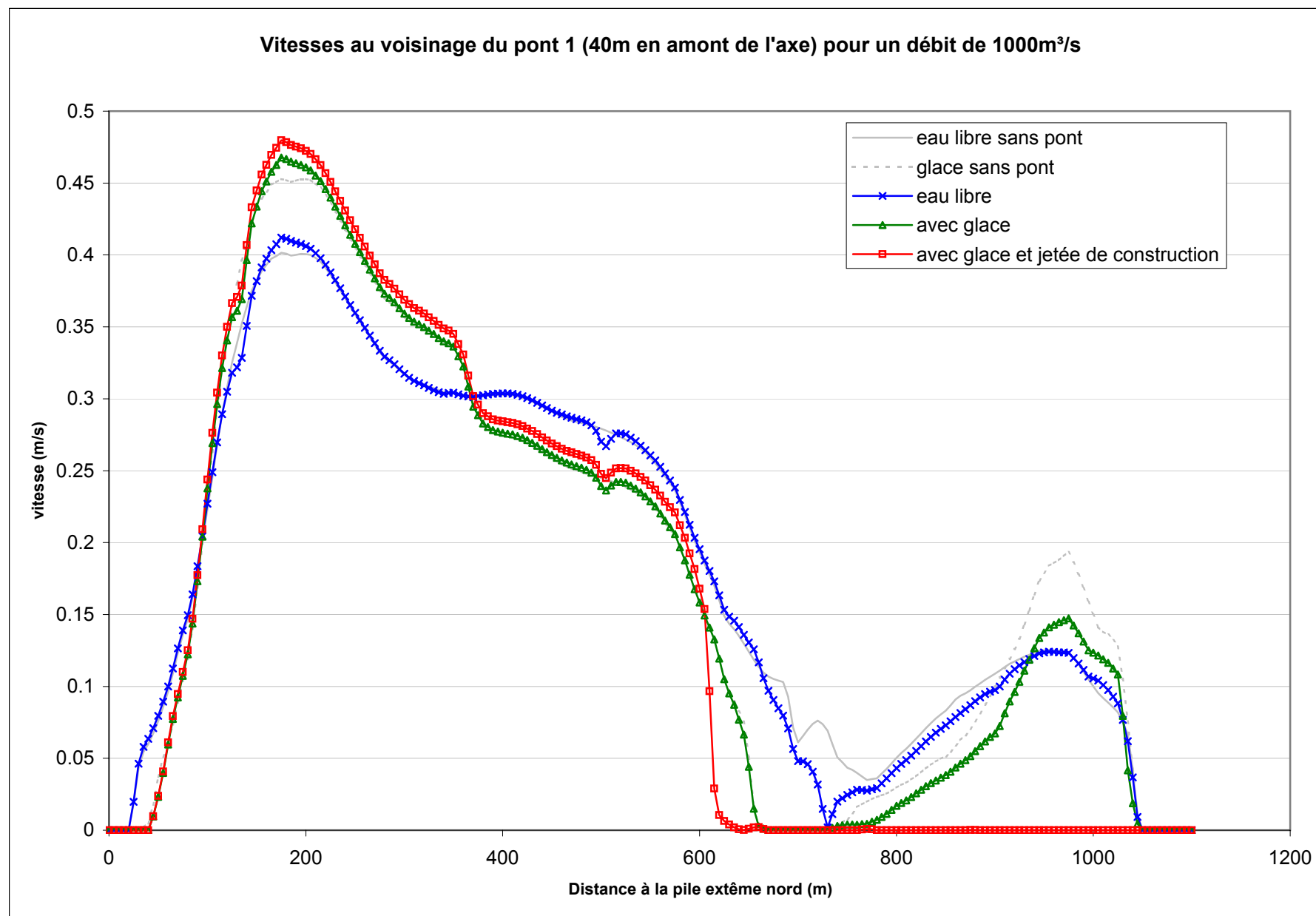
T.A.

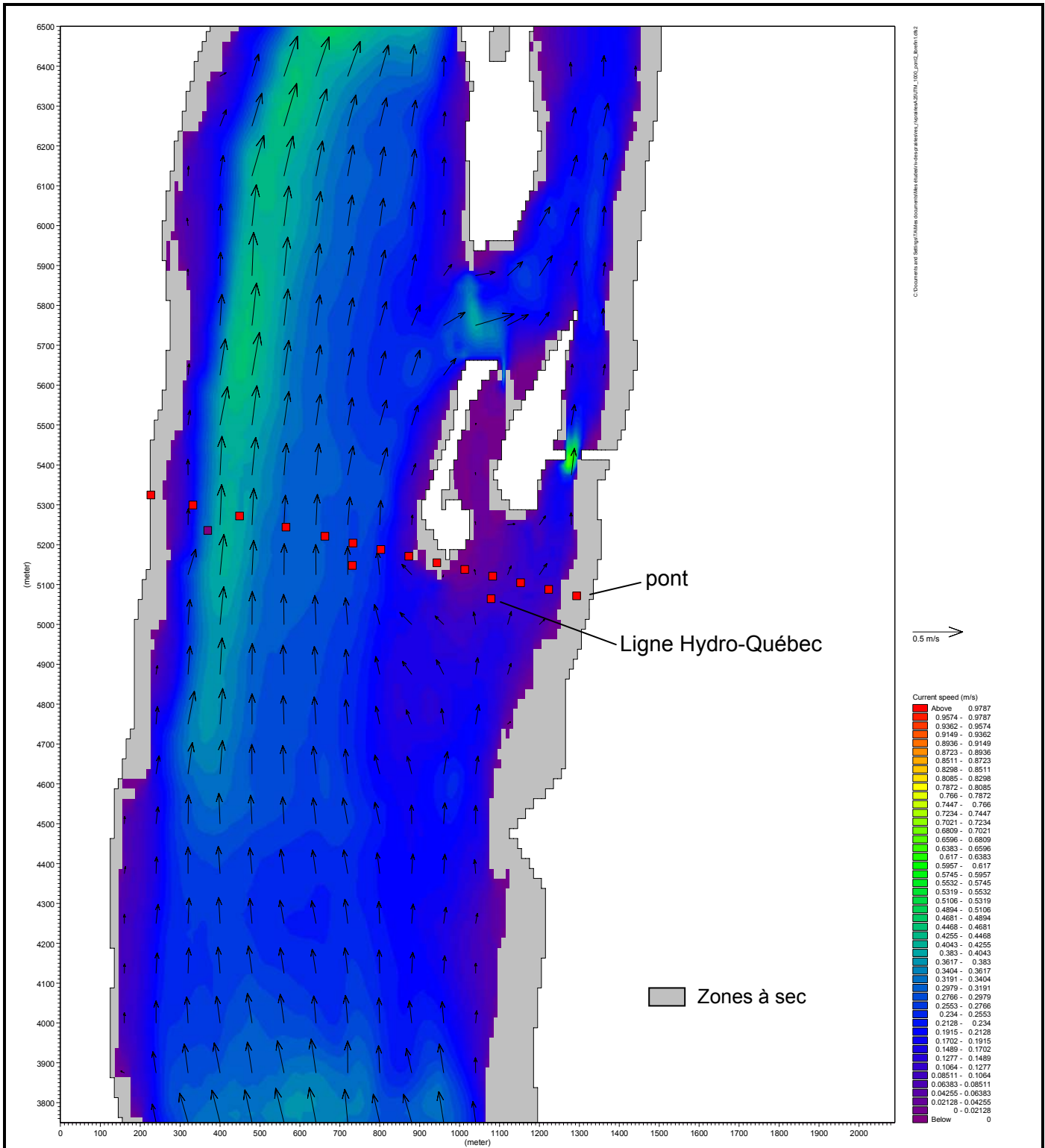
REF.LA.SALLE :

031-103-06

FIGURE :

13





Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :
Prolongement de l'autoroute 25 – pont sur la rivière des Prairies
NUMERO DU CONTRAT : 5100-02-QZ08

DESCRIPTION :
Champ des vitesses en conditions d'eau libre avec pont 2, pour un débit de 1000m³/s.

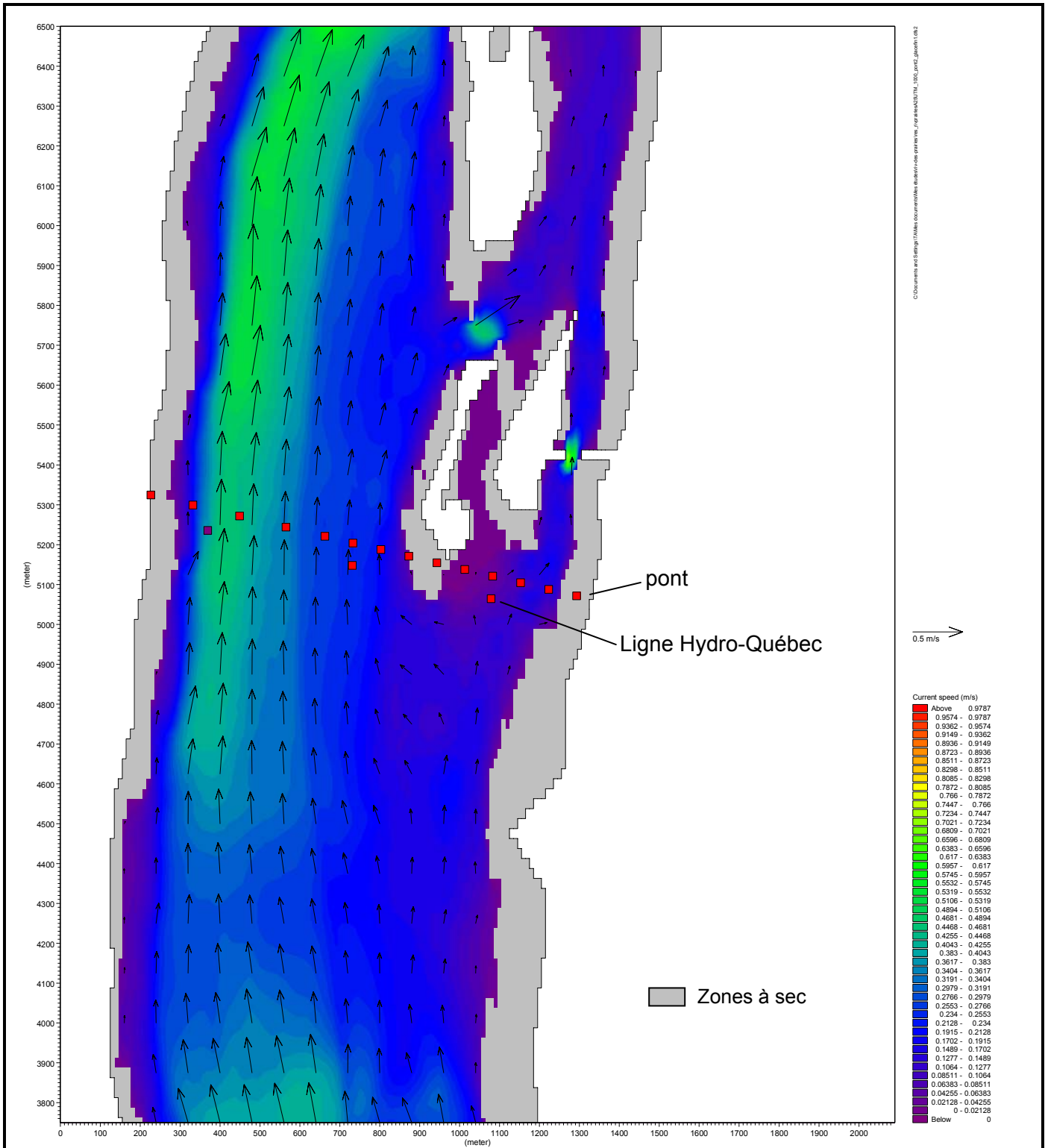
CLIENT :
Gouvernement du Québec
Ministère des Transports
BMOPPP

DATE :
Janvier 2004

DESSINE PAR :
T.A.

REF.LASALLE :
031-103-07

FIGURE :
15



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :

Prolongement de l'autoroute 25 – pont sur la rivière des Prairies

NUMERO DU CONTRAT : 5100-02-QZ08

DESCRIPTION :

Champ des vitesses en conditions de glace avec pont 2, pour un débit de 1000m³/s.

CLIENT :

Gouvernement du Québec
Ministère des Transports
BMOPPP

DATE :

Janvier 2004

DESSINE PAR :

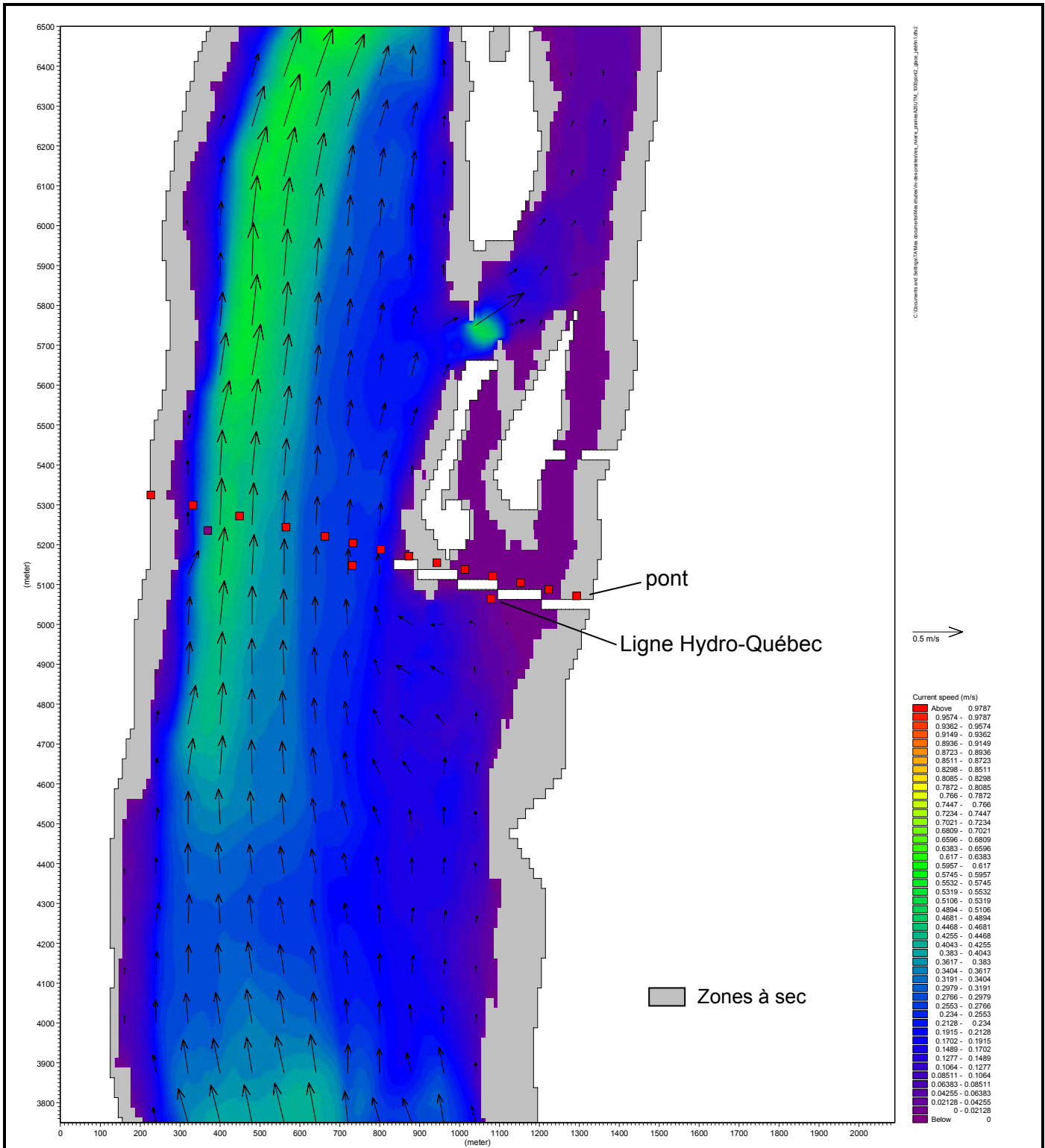
T.A.

REF.LA SALLE :

031-103-08

FIGURE :

16



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :

Prolongement de l'autoroute 25 – pont sur la rivière des Prairies

NUMERO DU CONTRAT : 5100-02-QZ08

DESCRIPTION :

Champ des vitesses en conditions de glace avec pont 2 et jetée de construction, pour un débit de 1000m³/s.

CLIENT :

Gouvernement du Québec
Ministère des Transports
BMOPPP

DATE :

Janvier 2004

DESSINE PAR :

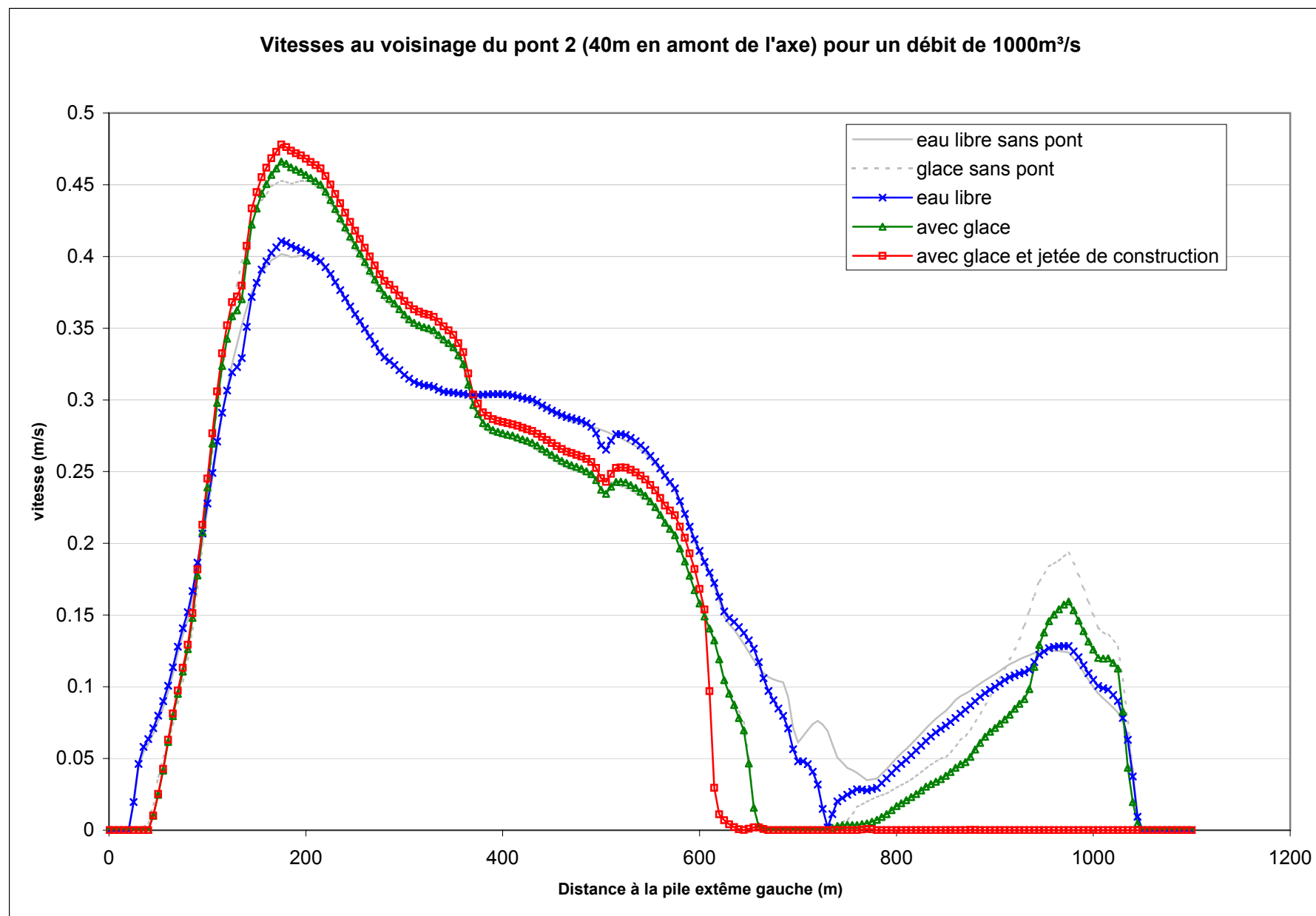
T.A.

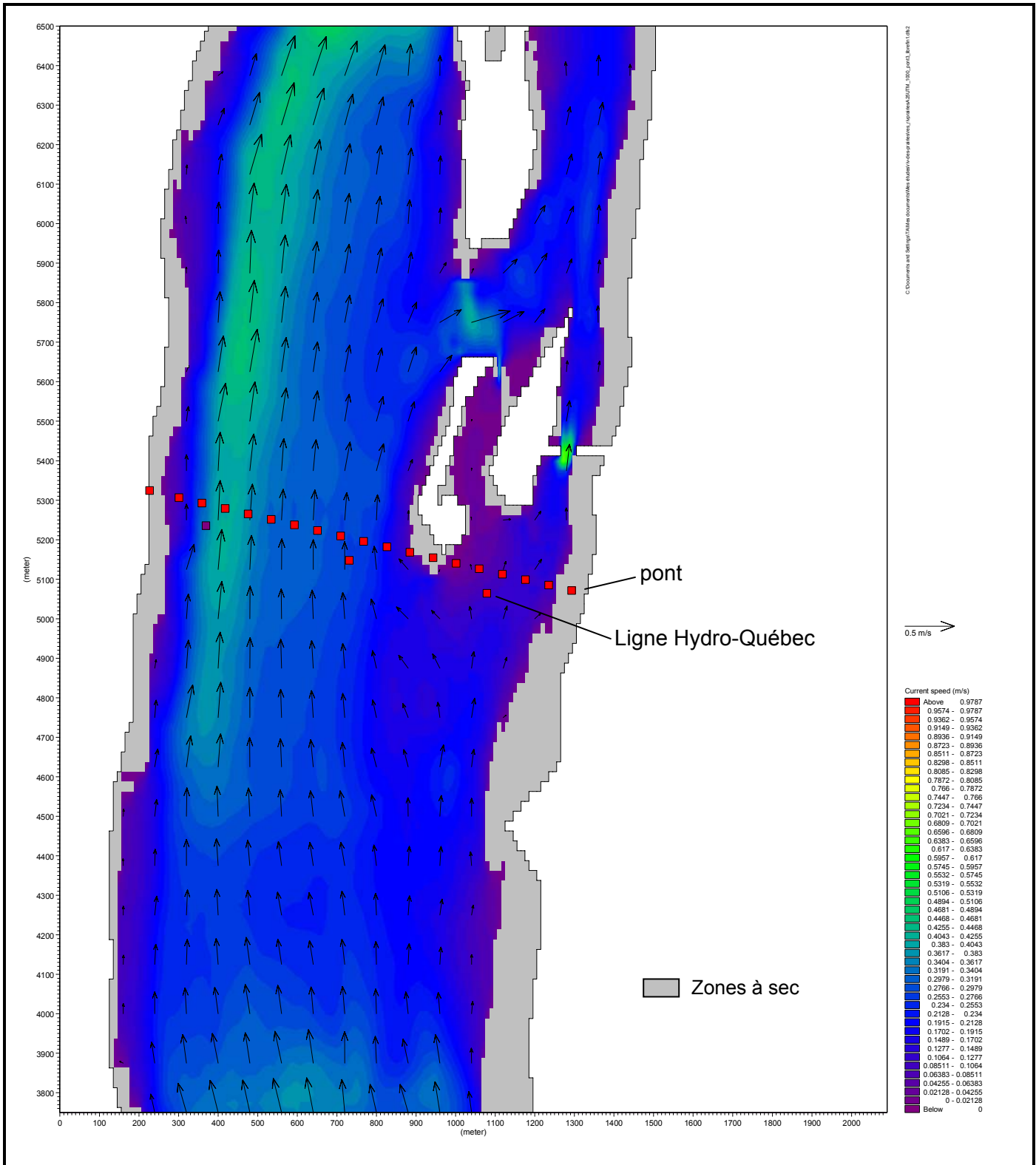
REF.LA.SALLE :


031-103-09

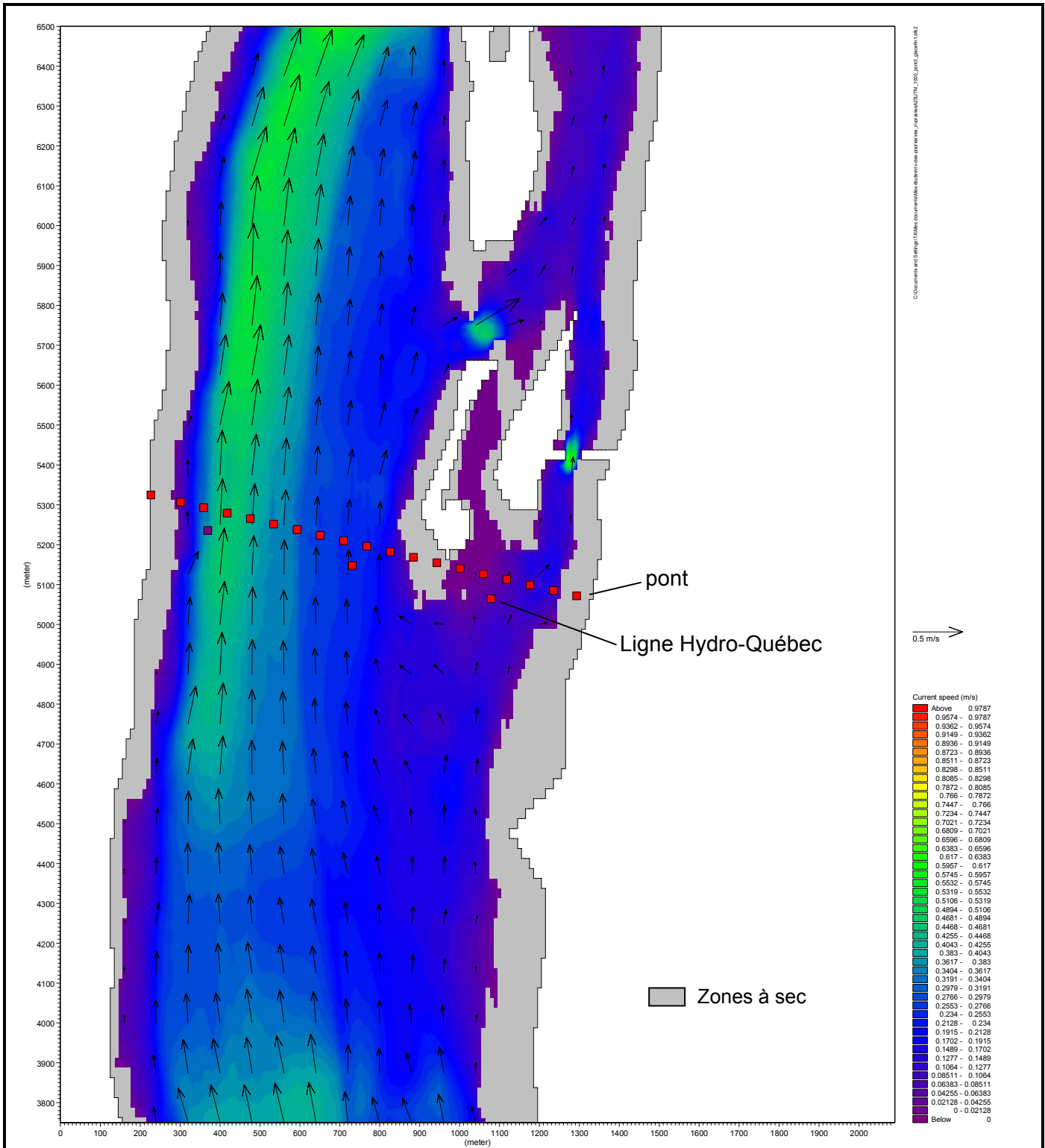
FIGURE :

17





 Le Groupe-Conseil LaSalle	PROJET : Prolongement de l'autoroute 25 – pont sur la rivière des Prairies NUMERO DU CONTRAT : 5100-02-QZ08		
	DESCRIPTION : Champ des vitesses en conditions d'eau libre avec pont 3, pour un débit de 1000m³/s.		
CLIENT : Gouvernement du Québec Ministère des Transports BMOPPP	DATE : Janvier 2004	DESSINE PAR : T.A.	REF.LASALLE : 031-103-10
	FIGURE : 19		



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :

Prolongement de l'autoroute 25 – pont sur la rivière des Prairies

NUMERO DU CONTRAT : 5100-02-QZ08

DESCRIPTION :

Champ des vitesses en conditions de glace avec pont 3, pour un débit de 1000m³/s.

CLIENT :

Gouvernement du Québec
Ministère des Transports
BMOPPP

DATE :

Janvier 2004

DESSINE PAR :

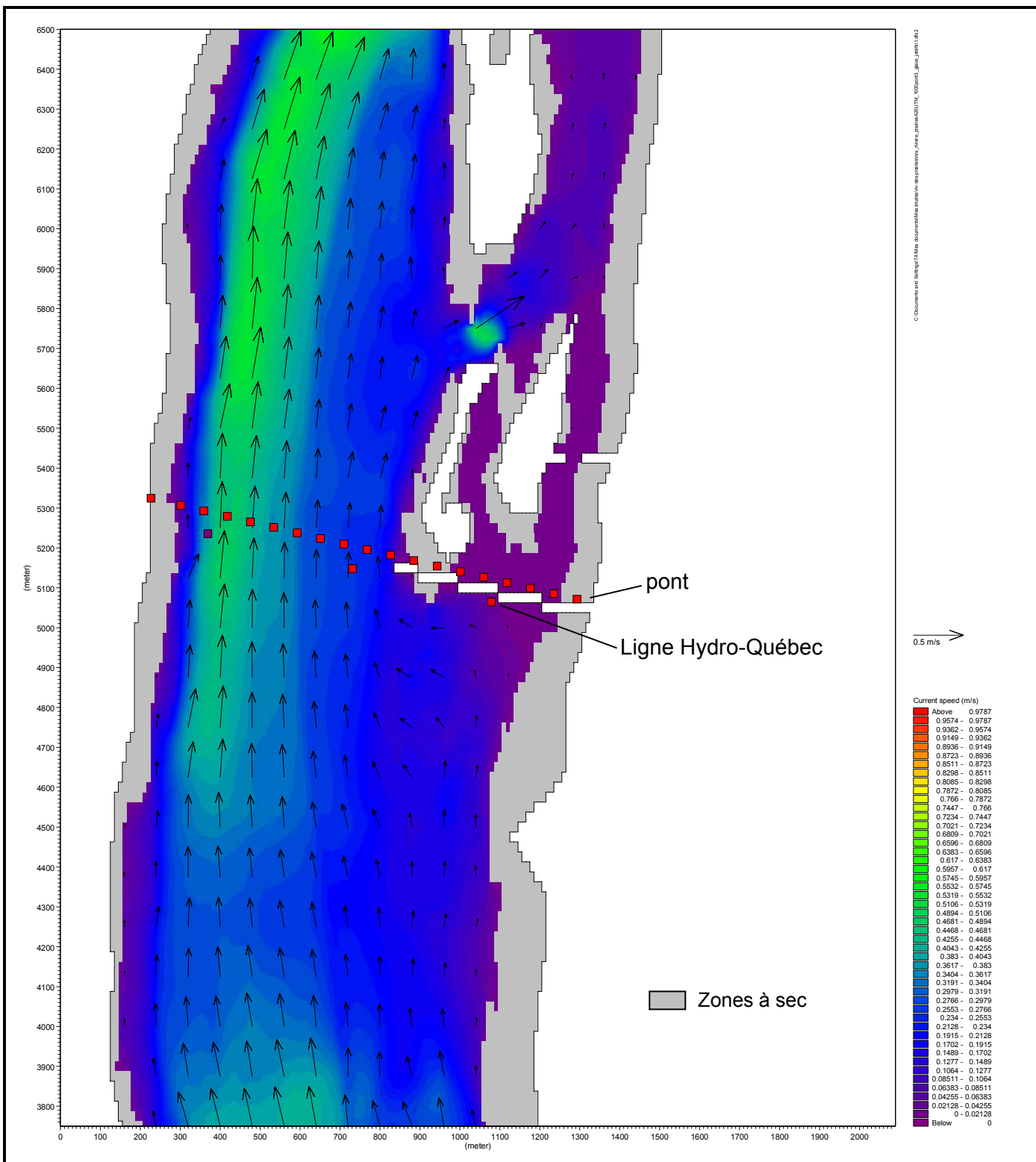
T.A.

REF.LA SALLE :

031-103-11

FIGURE :

20



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :

Prolongement de l'autoroute 25 – pont sur la rivière des Prairies

NUMERO DU CONTRAT : 5100-02-QZ08

DESCRIPTION :

Champ des vitesses en conditions de glace avec pont 3 et jetée de construction, pour un débit de 1000m³/s.

CLIENT :

Gouvernement du Québec
Ministère des Transports
BMOPPP

DATE :

Janvier 2004

DESSINE PAR :

T.A.

REF.LA.SALLE :

031-103-12

FIGURE :

21

