

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@gcl.qc.ca
Site Internet : www.gcl.qc.ca

Mandat réalisé pour

HYDRO-QUÉBEC

*Conception des aménagements de production,
Hydraulique et Géotechnique*

PROJET DU COMPLEXE DE LA ROMAINE

*Réévaluation du régime des glaces de
la rivière Romaine avant et après aménagement*

R.1661

Août 2007

Préparé par :



001-278(984)

Waël Taha, ing.



Jean-Philippe Saucet, ing.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES

1.0	INTRODUCTION	1
2.0	LES DONNÉES	4
2.1	Bathymétrie	4
2.2	Débits	4
2.3	Températures de l'air	5
2.4	Températures de l'eau	5
3.0	OBJECTIFS ET ENJEUX	7
3.1	Sentiers de motoneige	7
3.2	Niveaux d'eau à la sortie de la centrale	8
4.0	LE MODÈLE NUMÉRIQUE	9
5.0	VALIDATION DU MODÈLE MIKE-ICE	11
5.1	Étalonnage en eau libre	11
5.2	Validation du modèle sur la rivière La Grande	11
5.3	Validation du modèle sur la rivière Péribonka	12
6.0	RÉGIMES DES GLACES EN CONDITIONS PRÉSENTES	14
6.1	Débits et températures de l'eau	14
6.2	Description de l'accessibilité du couvert de glace en conditions actuelles.....	14
6.3	Résultats des simulations des 19 hivers	15
6.4	Emprise du couvert de glace pour l'hiver 1989-1990	16
7.0	CONDITIONS FUTURES	17
7.1	Complexe final : Romaine-1 à Romaine-4 en exploitation	17
7.1.1	Débits et températures de l'eau.....	17
7.1.2	Résultats des simulations des 19 hivers	18
7.1.3	Accessibilité et emprise du couvert de glace pour l'hiver 1989-1990.....	19
7.1.4	Gestion de pointe durant l'hiver 1989-1990.....	20
7.1.5	Niveaux d'eau à la sortie de la centrale.....	22
7.2	Phase transitoire A : Romaine-2 seule en exploitation	23
7.2.1	Débits et températures de l'eau.....	23
7.2.2	Résultats des simulations des 19 hivers	24
8.0	CONCLUSIONS	25

FIGURES

LISTE DES FIGURES

- FIGURE 1 : Validation du modèle MIKE-ICE sur la rivière La Grande
- FIGURE 2 : Validation du modèle MIKE-ICE sur la rivière Péribonka
- FIGURE 3 : Conditions actuelles – Débits de la rivière au PK-51,5 au cours des 19 hivers
- FIGURE 4 : Conditions actuelles – Températures de l'eau au PK-51,5 au cours des 19 hivers
- FIGURE 5 : Conditions actuelles – Accessibilité du couvert de glace au cours des 19 hivers
- FIGURE 6 : Conditions actuelles – Emprise du couvert de glace pour l'hiver 1989-1990
- FIGURE 7 : Conditions futures avec les 4 aménagements – Débits de la rivière au PK-51,5 au cours des 19 hivers
- FIGURE 8 : Conditions futures avec les 4 aménagements – Températures de l'eau au PK-51,5 au cours des 19 hivers
- FIGURE 9 : Conditions futures avec les 4 aménagements – Accessibilité du couvert de glace au cours des 19 hivers
- FIGURE 10 : Conditions futures avec les 4 aménagements – Début et fin d'accessibilité du tronçon central pour les 19 hivers
- FIGURE 11 : Conditions futures avec les 4 aménagements – Accessibilité du couvert de glace pour l'hiver 1989-1990
- FIGURE 12 : Conditions futures avec les 4 aménagements – Emprise du couvert de glace pour l'hiver 1989-1990
- FIGURE 13 : Conditions futures avec les 4 aménagements – Températures de l'air au cours de l'hiver 1989-1990
- FIGURE 14 : Conditions futures avec les 4 aménagements – Variations du débit et de la température de l'eau au cours de la gestion de pointe
- FIGURE 15 : Conditions futures avec les 4 aménagements – Accessibilité du couvert de glace pendant la gestion de pointe

LISTE DES FIGURES (SUITE)

- FIGURE 16 : Conditions futures avec les 4 aménagements – Niveaux d'eau à la sortie de la Romaine-1 pour les 19 hivers
- FIGURE 17 : Conditions futures avec Romaine-2 seule – Débits de la rivière au PK-51,5 au cours des 19 hivers
- FIGURE 18 : Conditions futures avec Romaine-2 seule – Températures de l'eau au PK-84 au cours des 19 hivers
- FIGURE 19 : Conditions futures avec Romaine-2 seule – Températures de l'eau au PK-51,5 au cours des 19 hivers
- FIGURE 20 : Conditions futures avec Romaine-2 seule – Accessibilité du couvert de glace au cours des 19 hivers

1.0 INTRODUCTION

Dans le cadre de l'étude d'avant-projet du Complexe Romaine, le Groupe-Conseil LaSalle s'est vu confier par le Service Hydraulique et Géotechnique d'Hydro-Québec le mandat de caractériser le régime des glaces de la rivière Romaine en conditions naturelles puis en conditions aménagées. Trois phases d'aménagement sont considérées:

- Phase transitoire A : la centrale Romaine-2 seule est en exploitation
- Phase transitoire B : les centrales Romaine-2 et Romaine-1 sont en exploitation
- Complexe final : les centrales Romaine-1, Romaine-2, Romaine-3 et Romaine-4 sont en service

La présente étude consiste à valider d'abord le modèle sur les conditions actuelles, puis de caractériser le cas du complexe final et celui de la phase transitoire A. Des simulations en conditions actuelles et en conditions futures sont réalisées pour 19 hivers consécutifs, de l'hiver 1984-1985 jusqu'à l'hiver 2002-2003.

Dans le cadre de l'étude des impacts sur l'environnement, on s'intéresse en particulier à l'accessibilité future des couverts de glace par les motoneigistes et aux effets de glace sur les niveaux d'eau à la sortie de la centrale Romaine-1. Dans ce qui suit, le couvert est dit accessible lorsqu'on peut le traverser de façon sécuritaire en motoneige. Il faut pour cela que le champ de glace s'étende d'une rive à l'autre avec une épaisseur suffisante.

Cette étude vient compléter une étude d'avant-projet réalisée par le Groupe-Conseil LaSalle et Hydro-Québec en mars 2005⁽¹⁾ et une étude réalisée par le Groupe-Conseil LaSalle en 2006⁽²⁾. L'étude de 2005 avait pour objet de modéliser le tronçon de la rivière en aval du site de la Romaine-1 (PK-51,5) jusqu'à l'embouchure et de décrire le régime hivernal sur ce tronçon pour des combinaisons de débits et de températures de l'air

⁽¹⁾ : AVANT-PROJET ROMAINE, Régime hivernal de la rivière Romaine avant et après aménagement, Le Groupe-Conseil LaSalle, R.1565, mars 2005.

⁽²⁾ : PROJET DU COMPLEXE DE LA ROMAINE, Étude du régime hydraulique en présence de glace, Le Groupe-Conseil LaSalle, R.1617, juillet 2006.

typiques de conditions clémentes, moyennes ou rigoureuses. Un tronçon supplémentaire de la rivière Romaine, qui s'étend du bassin des Murailles en aval du site de la Romaine-2 (PK-84) jusqu'à l'amont du site de la Romaine-1 (PK-54), a été modélisé au cours de l'étude de 2006, pour préciser la température de l'eau arrivant au PK-51,5 (cas A) ou entrant dans le réservoir de Romaine-1 (cas B et C). Les conditions de glace sur le tronçon s'étendant entre les kilomètres 84 et 62 ont également été caractérisées à cette occasion.

Les simulations de 2006, en conditions futures, ont montré que la partie fluviale du tronçon amont, en amont du réservoir de la Romaine-1, était rarement couverte de glace en hiver à cause de la température de l'eau élevée sortant de la Romaine-2. En conséquence, la température de l'eau le long de ce tronçon peut être calculée par un modèle numérique d'échanges thermiques en eau libre, sans considérer la présence de glace. Il n'y avait pas lieu, dans ces conditions, de simuler le régime hivernal en présence de glace entre les kilomètres 84 et 62 pour la phase transitoire B et le Complexe terminé. Pour la phase A, le calcul précis du refroidissement de l'eau entre la sortie de Romaine-2 et le PK-51,5 est requis pour caractériser le régime des glaces plus en aval et ce calcul a été repris dans le cadre de la présente étude.

Les études précédentes simulaient des scénarios moyens et extrêmes que l'on définissait en couplant au mieux des conditions météorologiques aux conditions hydrologiques et thermiques. Cette approche permettait d'économiser considérablement sur les temps de calcul en simulant un très petit nombre de cas. Ces simulations ont toutefois permis de montrer que la couverture de glace évolue rapidement en réponse aux conditions météorologiques et hydrauliques. L'emprise des couverts de glace reflète les conditions récentes (quelques jours) et pas du tout les conditions passées (celles qui prévalaient il y a plus de deux semaines, pour fixer les idées). La notion d'hiver moyen, clément ou rigoureux, basée sur le nombre total de degrés-jours de gel accumulés pendant l'hiver, est peu pertinente dans ces conditions, et il est préférable de simuler un grand nombre d'hivers (19 dans le cas présent), et de caractériser le régime des glaces sur la base de cet échantillon plus vaste, qui couvre un grand nombre de séquences de débits, de température de l'eau et de conditions météorologiques.

L'étude s'appuie sur la mise en œuvre du modèle numérique MIKE11-ICE, mis au point au cours des six dernières années par le Groupe-Conseil LaSalle et DHI Water and Environment, dans le cadre d'un projet de recherches et développement financé par Hydro-Québec.

Depuis l'étude de juillet 2006, le modèle MIKE11-ICE a été considérablement amélioré dans le cadre de l'étude du régime hivernal de la rivière La Grande⁽³⁾ réalisée pour Hydro-Québec Production en décembre 2006. Cette étude a permis de réviser certains aspects du modèle MIKE11-ICE grâce à une abondance en données de validation. Les résultats présentés dans ce rapport proviennent des simulations réalisées avec la version améliorée du modèle MIKE11-ICE.

Cette version améliorée du logiciel a fait l'objet d'une validation par Hydro-Québec, en s'appuyant sur les mesures et les observations disponibles sur la rivière Péribonka. Cette validation a montré que le modèle reproduit, de façon très satisfaisante, les températures et l'emprise des couverts de glace à l'aval de la centrale Chute-des-Passes exploitée par Alcan.

Le modèle a ainsi été validé dans deux cas présentant des situations comparables au régime hivernal de la rivière Romaine aménagée : centrale(s) restituant de l'eau relativement chaude en hiver, emprise des couverts de glace évoluant rapidement du fait de la variabilité des conditions météorologiques et des débits turbinés et érosion thermique des couverts de glace. La figure 2 présente un exemple de validation sur les observations disponibles sur la rivière Péribonka. Le chapitre 5 présente plus en détail ces cas de validation.

⁽³⁾ : Étude du régime hivernal de La Grande Rivière à l'aval de La Grande-1, Le Groupe-Conseil LaSalle, R.1638, décembre 2006.

2.0 LES DONNÉES

2.1 Bathymétrie

Les modèles 1-D MIKE-11 et MIKE-ICE avaient déjà été mis en œuvre en 2005 pour le tronçon en aval du site de la Romaine-1 à partir des données bathymétriques fournies par les sections transversales relevées par Hydro-Québec en 2001, ainsi que des sections additionnelles ajoutées en 2003 par Environnement Illimité et Génivar.

Au cours de l'étude de 2006, le domaine de modélisation a été prolongé vers l'amont, jusqu'au point de restitution de la future centrale Romaine-2 au PK-84 grâce aux sections transversales du modèle 1-D HEC-RAS mis en œuvre par Génivar pour décrire le régime de la rivière en eau libre. Des nouvelles données bathymétriques fournies par Hydro-Québec ont permis d'ajouter des sections aux rapides à la sortie du bassin des Murailles (PK-81,8).

2.2 Débits

En conditions actuelles, le régime des débits de la Romaine dans le tronçon aval (en aval du site de la Romaine-1) est connu par la séquence des débits journaliers observés ou reconstitués depuis 1956 à la station 073801, au PK-51,5. Pendant les six mois de novembre à avril, la moyenne à long terme du débit est de $130 \text{ m}^3/\text{s}$ et l'écart-type est de $31 \text{ m}^3/\text{s}$.

Pour les 19 hivers simulés, le débit baisse à partir du début novembre puis se stabilise autour de $50 \text{ m}^3/\text{s}$ entre la mi-janvier et la fin mars. Un minimum de $55 \text{ m}^3/\text{s}$ a été imposé aux séquences de débits pour des raisons de stabilité de calcul car les niveaux d'eau deviennent très bas dans les zones de rapides.

En conditions futures, les débits proviennent de simulations de l'exploitation des aménagements réalisées par Hydro-Québec pour les années 1983 à 2003. Les simulations

sont sur une base hebdomadaire et les débits journaliers restent constants pendant les sept jours de la semaine.

Pour les 19 hivers simulés, le débit moyen turbiné varie entre 200 et 250 m³/s pour la période entre le début janvier et la mi-avril.

Finalement, la réponse de la couverture de glace à une période d'exploitation en pointe horaire de la centrale a été examinée. Le débit turbiné à Romaine-1 a été varié selon une séquence décrite à la section 7.1.4. Cette séquence est associée à une période de grands froids qui provoque une demande accrue sur le réseau d'Hydro-Québec.

2.3 Températures de l'air

Les températures de l'air sont connues par les valeurs mesurées ou reconstituées par Hydro-Québec à la station 7043018 de Havre Saint-Pierre. Des températures de l'air horaires mesurées ont été utilisées pour les hivers de 1994-1995 à 2002-2003. On ne dispose que de valeurs journalières (minimum, moyenne, maximum) pour les hivers 1984-1985 à 1993-1994, et on a simulé les variations quotidiennes en interpolant linéairement entre ces données, en imposant :

- la température moyenne à 9:00 et à 21:00 h
- la température minimale à 3:00 h
- la température maximale à 15:00 h

2.4 Températures de l'eau

En conditions naturelles, la température entrant à la limite amont du modèle numérique, au site de la future centrale Romaine-1, est à 0°C de la fin novembre à la fin avril. En dehors de cette période, la température de l'eau provient des simulations thermiques en eau libre réalisées par Hydro-Québec sur le tronçon entre le PK-84 et le PK-55.

En conditions futures, la température de l'eau sortant de Romaine-1 est celle qui résulte de la modélisation numérique du régime thermique des réservoirs, réalisée par Hydro-Québec pour les années de 1983 à 2003.

Contrairement à l'étude de 2006, les conditions d'entrée au réservoir de la Romaine-1 au PK-62 ne proviennent pas des simulations du modèle MIKE11-ICE du tronçon amont. Elles ont été calculées par le modèle thermique d'Hydro-Québec en eau libre car l'étude de 2006 avait conclu que le tronçon fluvial entre le PK-84 et le PK-62 était en général en eau libre à cause des températures élevées restituées à la sortie de la Romaine-2.

Pour la phase transitoire A (Romaine-2 seule en exploitation), la température de l'eau imposée au PK-51,5 provient des résultats des simulations du tronçon amont par notre modèle MIKE-Ice. Les températures de l'eau en cours d'hiver au PK-55 sont corrigées pour prendre en compte l'effet de réchauffement dû à la Grande Chute du PK-53.

3.0 OBJECTIFS ET ENJEUX

L'étude du régime hivernal de la rivière Romaine est centrée sur le tronçon long d'une cinquantaine de kilomètres situé à l'aval du site de la Romaine-1 qui présente les enjeux les plus importants : utilisation du couvert de glace par les motoneigistes et niveaux d'eau en aval de la future centrale Romaine-1.

Une fois le complexe réalisé, les réservoirs de Romaine-1 à Romaine-4 couvrent la majorité du cours de la rivière en amont de Romaine-1, et il n'y a pas de tronçon fluvial en amont de Romaine-2 qui marque ainsi la limite la plus en amont du domaine étudié.

L'accessibilité du couvert de glace, entre le PK-51,5 et l'embouchure, est caractérisée pour les 19 hivers en conditions futures et comparée aux conditions actuelles. Un hiver typique est ensuite sélectionné pour vérifier l'effet de la gestion de pointe horaire sur l'intégrité du couvert.

3.1 Sentiers de motoneige

Cinq secteurs d'utilisation des champs de glace par les motoneigistes ont été identifiés lors d'un survol du 12 décembre 2004 réalisé par Hydro-Québec :

- Traversée de rive en rive au PK-3
- Traversée de rive en rive au PK-18
- Entre les PK-25 et 27: entrée PK-25 rive gauche, traversée vers la rive droite au PK-26, sentier en rive droite et sortie rive droite au PK-27
- Au PK-30,1: entrée rive gauche à partir de la pointe côté aval de l'avancée et sortie en rive droite au fond de l'anse

- Entre les PK-36,2 et 42,8 : entrée PK-36,2 par la rive droite, sentier en rive droite jusqu'au PK-42,8, traversée et sortie en rive gauche

On considère que le couvert de glace est accessible lorsqu'il est possible de traverser la rivière en motoneige d'une rive à l'autre et que son épaisseur est supérieure ou égale à 0,20 m⁽⁴⁾.

3.2 Niveaux d'eau à la sortie de la centrale

En hiver, les niveaux d'eau à la sortie de la centrale sont rehaussés à cause de la présence de glace sur le tronçon entre la section de contrôle à la chute du PK-35 et l'exutoire de la centrale Romaine-1 au PK-51,5. Les résultats des simulations en conditions futures ont permis de préciser la valeur de ces rehaussements et la relation niveau-débit au pied de la centrale en hiver.

⁽⁴⁾ : Une épaisseur de 0,20 m assure la capacité portante requise et sécuritaire pour une motoneige. En Mauricie, les membres de la Fédération Québécoise des Clubs de Motoneige ouvrent les sentiers sur le Saint-Maurice lorsque l'épaisseur a atteint 0,30 m, mais il est vraisemblable que les traversées individuelles sur la Romaine se fassent plus tôt. Une rencontre récente avec les motoneigistes de la région a confirmé que certains motoneigistes traversent lorsque le couvert atteint une épaisseur de 10 cm et on présente plus loin des résultats complémentaires obtenus pour cette valeur de l'épaisseur requise pour traverser la rivière.

4.0 LE MODÈLE NUMÉRIQUE

Les simulations des conditions hivernales à l'aval de LG-1 ont été réalisées à l'aide du module Ice Generation and Accumulation du modèle numérique MIKE-11-ICE qui fait partie de la suite de modèles unidimensionnels non permanents de MIKE-11.

Le modèle est destiné à simuler la génération de glace dans un tronçon de rivière pendant tout un hiver. Les données typiques sont, pour le volet hydrodynamique, la bathymétrie (sous forme de sections-en-travers), le niveau d'eau à la limite aval du tronçon simulé, le débit entrant à l'amont et les débits des apports intermédiaires, le tout pouvant varier à tout moment en cours d'hiver.

D'autres données décrivent les conditions météorologiques : température de l'eau, température de l'air, nébulosité, en général variables en cours d'hiver et d'un point à l'autre de la rivière.

Le modèle effectue, à chaque pas de temps et en tous points de la rivière, un bilan complet des échanges thermiques entre l'eau, l'atmosphère et la glace fixe ou en mouvement. Le bilan net de la chaleur reçue ou perdue permet de faire évoluer la température de l'eau, puis de générer des grains de frasil qui dérivent en suspension dans l'écoulement. Un ensemble d'équations décrit comment ces grains de frasil sont susceptibles de s'agglomérer et d'émerger pour former des assiettes de frasil flottant en surface. Le pas de temps est en général de quelques minutes et le transport de la glace dérivant dans un écoulement non permanent est décrit avec précision.

La glace fixe épaisse par conduction thermique et progresse depuis la rive jusqu'à ce que la vitesse locale d'écoulement dépasse une limite qui dépend des conditions météorologiques. Un processus similaire décrit le recul de la glace de rive et l'ouverture d'un chenal en eau libre.

La glace à la dérive, grains ou assiettes de frasil, s'accumule contre les sections entièrement fermées par de la glace de rive, ou est au contraire emportée sous les champs de glace, selon les conditions locales de vitesse et du nombre de Froude au bord frontal.

La glace dérivant en suspension sous les champs de glace se dépose dans les secteurs les plus lents et forme des barrages suspendus.

La présence de glace fixe (glace de rive, section fermée par juxtaposition des assiettes de frasil, barrages suspendus...) crée une obstruction pour l'écoulement et affecte les niveaux d'eau.

Les lois de progression de la glace de rive déterminent la surface des éclaircies qui génère des grains de frasil au contact de l'air froid. Ces grains émergent ensuite à la surface pour former des assiettes de frasil qui dérivent à la surface de l'écoulement. Le volume de glace à la dérive qui en résulte permet à une section de fermer par juxtaposition des assiettes de frasil.

Une fonction permet de lisser les sections du couvert de glace qui se sont fermées par juxtaposition des assiettes de frasil à la dérive. Le couvert nouvellement formé est d'abord très rugueux en début d'hiver à cause des protubérances dues aux assiettes de frasil entassées. En cours d'hiver, le couvert épaisse par conduction thermique qui ajoute des couches de glace lisse sur la face inférieure du couvert. Il y a également un certain lissage mécanique de la face inférieure du couvert, du fait de l'écoulement. Dans le modèle, la rugosité de la face inférieure, caractérisée par son n de Manning, commence à décroître dès la date de la fermeture selon une loi qui ne dépend que de "l'âge" du champ de glace.

Les lois de retrait de la glace de rive permettent au couvert de s'ouvrir à cause de l'eau chaude. On verra à la section 5.2 ci-dessous comment ces lois ont été validées sur le cas de La Grande rivière à l'aval de LG-1. Si le bilan thermique est positif à cause de l'air relativement chaud et/ou du rayonnement solaire pendant le jour, l'eau peut se réchauffer davantage dans les éclaircies et provoquer l'ouverture d'autres sections plus en aval.

5.0 VALIDATION DU MODÈLE MIKE-ICE

5.1 Étalonnage en eau libre

L'étalonnage en eau libre du tronçon en aval de Romaine-1 a été réalisé dans le cadre de l'étude de 2005⁽⁵⁾ et complété lors de l'étude de 2006⁽⁶⁾.

5.2 Validation du modèle sur la rivière La Grande

Un modèle de la rivière La Grande a été mis en œuvre au cours d'une étude en 2006 sur le tronçon de la rivière s'étendant de la centrale LG-1 jusque dans la baie James au large de Chisasibi⁽⁷⁾. La validation du modèle consiste à comparer les rehaussements dus aux glaces observés en continu pendant tout l'hiver à ceux que le modèle calcule. Cinq hivers de référence ont été choisis, sur la base des données disponibles. Les données utilisées sont les débits et les températures de l'eau mesurés en continu à la centrale, les données météorologiques et le niveau d'eau à l'embouchure affecté par la marée dans la baie James.

Les conditions de glace sont connues par des survols photographiques effectués à quelques reprises en cours d'hiver. Il est rapidement apparu que ces survols étaient dans l'ensemble trop peu fréquents pour caractériser des conditions de glace changeant rapidement. On a alors eu recours à des images satellites fournissant, plusieurs fois par semaine, l'emprise du couvert de glace sur la rivière.

Le couvert de glace commence toujours par se fermer dans l'estuaire de la rivière. Il remonte ensuite vers l'amont par entassement des assiettes de frasil à la dérive contre le bord frontal. L'emprise est donc caractérisée par la position du bord frontal à la-

⁽⁵⁾ : AVANT-PROJET ROMAINE, Régime hivernal de la rivière Romaine avant et après aménagement, Le Groupe-Conseil LaSalle, R.1565, mars 2005.

⁽⁶⁾ : PROJET DU COMPLEXE DE LA ROMAINE, Étude du régime hydraulique en présence de glace, Le Groupe-Conseil LaSalle, R.1617, juillet 2006.

⁽⁷⁾ : Étude du régime hivernal de La Grande Rivière à l'aval de La Grande-1, Le Groupe-Conseil LaSalle, R.1638, décembre 2006.

quelle remonte le couvert de glace à un moment donné. Les sections qui viennent tout juste de se fermer sont très rugueuses, mais elles se lissent au cours de l'hiver avec l'épaississement du couvert. Cette rugosité variable dans le temps, en fonction de l'âge de chaque section, contrôle essentiellement le rehaussement dû aux glaces.

Les informations sur la position du bord frontal ont été déterminantes pour régler le modèle numérique de telle sorte qu'il reproduise de façon satisfaisante l'avancée et le recul du couvert de glace au gré de la météorologie et du débit. Une fois ce réglage effectué sur 3 hivers, le modèle reproduit sans difficulté l'effet sur les niveaux d'eau et les rehaussements dus aux glaces sont prédits de manière satisfaisante pour les 5 hivers.

La figure 1 illustre la comparaison de la position du bord frontal et des rehaussements calculés et observés pour l'hiver 2004-2005. Malgré que des imperfections subsistent, notamment en ce qui a trait aux avancées et retraits rapides du bord frontal du couvert de glace, le modèle présente une amélioration significative des méthodes de prédiction du niveau d'eau au pied des centrales en hiver et de l'emprise du couvert de glace.

5.3 Validation du modèle sur la rivière Péribonka

Une validation sur la rivière Péribonka a également été réalisée par Hydro-Québec avec notre collaboration. Un tronçon d'une centaine de kilomètres a été modélisé en aval de la centrale de la Chute-des-Passes, du PK-188,41 au PK-87,5.

Comme pour le cas de la rivière La Grande, des images satellites ont permis de repérer l'évolution du bord frontal au cours de l'hiver 2001-2002. La figure 2 présente la comparaison de la position du bord frontal calculée et observée. La dynamique d'ensemble est bien reproduite à l'exception d'une avancée rapide du bord frontal entre le PK-140 et le PK-150, observée pendant la dernière semaine de janvier.

Notons que la taille de la rivière Péribonka est très comparable à celle de la Romaine, d'où l'avantage de cette validation sur celle de la rivière La Grande⁽⁸⁾. Cette validation effectuée sur la rivière Péribonka, grâce au modèle MIKE-ICE amélioré dans le cadre de l'étude sur la rivière La Grande, augmente le niveau de confiance en la prédiction de l'emprise du couvert de glace en présence d'eau chaude sur la rivière Romaine.

⁽⁸⁾ : Le débit moyen de la rivière La Grande est voisin de 3 600 m³/s en hiver alors que celui de la Romaine sera d'environ 200 m³/s en conditions futures. La rivière Péribonka, quant à elle, avait un débit pratiquement constant de 560 m³/s de la mi-décembre 2001 à la mi-mars 2002.

6.0 RÉGIME DES GLACES EN CONDITIONS PRÉSENTES

6.1 Débits et températures de l'eau

La figure 3 présente les débits imposés au PK-51,5 pour les 19 hivers de 1984 à 2003. Le débit a tendance à baisser typiquement de 350 m³/s au début novembre pour atteindre un minimum d'environ 50 m³/s en février-mars. Il commence à augmenter à partir du mois d'avril. La crue a lieu au mois de mai avec des débits pouvant excéder 1 000 m³/s.

La figure 4 présente les températures de l'eau imposées au PK-51,5 pour les 19 hivers de 1984 à 2003. La température de l'eau est à 0°C de la fin novembre à la fin avril.

6.2 Description de l'accessibilité du couvert de glace en conditions actuelles

L'accessibilité du couvert de glace en conditions présentes est décrite par un compte rendu de la rencontre du groupe de travail sur la motoneige le 6 février 2007⁽⁹⁾. Ce document, présenté dans l'annexe A, caractérise l'accessibilité du couvert de glace pour les 20 dernières années.

D'après le compte rendu, la saison de motoneige débute à la fin novembre ou au début décembre. Les premières traversées de la Romaine se font au PK-43 au début décembre; et au PK-18 et PK-26 du 7 au 15 décembre. Le sentier provincial qui traverse au PK-3 est ouvert seulement à partir de la mi-janvier au début de février.

La saison de motoneige prend fin entre la mi-mars et la fin mars à cause de la fonte de la neige qui rend les sentiers terrestres difficilement accessibles. De plus, la présence de flaques d'eau sur le couvert de glace de la Romaine et des autres ruisseaux incommode et insécurise les motoneigistes. Certains motoneigistes préfèrent donc fermer

⁽⁹⁾ : Compte rendu de la rencontre du 6 février 2007, Groupe de travail sur la motoneige, Hydro-Québec.

leurs chalets à partir de la mi-mars pour éviter de se retrouver subitement privés d'accès à leurs chalets à cause des conditions d'accessibilité.

6.3 Résultats des simulations des 19 hivers

La figure 5 présente la fréquence avec laquelle la rivière peut être traversée en motoneige. Une accessibilité de 10%, par exemple, signifie que l'on peut traverser en moyenne un hiver sur dix à cet endroit et à cette date. Les résultats sont présentés en fixant l'épaisseur minimale requise pour traverser à 20 puis 10 cm.

Pour l'épaisseur minimum de 20 cm, la majeure partie du tronçon devient traversable presque simultanément au cours de la première dizaine de décembre. La date de début d'accessibilité pour une épaisseur minimum de 10 cm varie, quant à elle, de la mi-novembre au début décembre selon les secteurs. Les sections ayant des vitesses d'écoulement élevées tardent à fermer quelle que soit l'épaisseur du couvert. Les simulations confirment que la traversée du PK-3 devient accessible autour de la mi-janvier.

La date de fin d'accessibilité est typiquement autour du 15 avril mais la variabilité inter-annuelle est plus étalée que le début d'accessibilité. La fin d'accessibilité est due à l'ouverture du couvert de glace et non au fait que l'épaisseur devient insuffisante par fonte du champ de glace. Le couvert de glace sur la rivière Romaine commence à ouvrir à partir de la fin mars pour les hivers les plus cléments. Les hivers les plus froids permettent de conserver un couvert de glace intact jusqu'à la fin avril.

Notons que le critère de l'épaisseur minimum (20 cm ou 10 cm) n'a aucun effet sur la date de fin d'accessibilité car cette dernière est marquée par l'ouverture de l'emprise et non l'amincissement du couvert.

Rappelons que l'accessibilité du couvert de glace est basée sur l'évaluation de l'épaisseur et de l'emprise du couvert de glace. L'épaisseur de la couche de neige, dont la fonte a pour effet de mettre fin à la saison de motoneige, n'est pas prise en compte par les calculs du modèle.

Notons que l'accessibilité des différentes traversées est d'un seul tenant, c'est-à-dire que les traversées demeurent accessibles du début jusqu'à la fin de la saison sans interruption.

6.4 Emprise du couvert de glace pour l'hiver 1989-1990

L'hiver 1989-1990 a été choisi pour présenter de façon plus détaillée l'évolution des conditions de glace. Cet hiver est bien représentatif, en ce sens que la date de début et de fin d'accessibilité aux champs de glace sont proches des moyennes inter-annuelles.

La figure 6 illustre le champ de glace au cours de cet hiver. De grandes éclaircies au début décembre génèrent du frazil au contact de l'air froid. Une partie de ce frazil émerge à la surface pour former des assiettes de frazil à la dérive. Lorsqu'une section ferme par progression de glace de rive, les assiettes de frazil à la dérive s'entassent sur le bord frontal et font fermer le couvert de glace. Le bord frontal remonte alors d'aval en amont.

L'autre partie du frazil reste en suspension dans l'écoulement et se dépose sous le couvert lorsque les vitesses de l'écoulement sont inférieures à 0,4 m/s. Les épaisseurs d'accumulation de frazil sous le couvert de glace dépassent rarement 2 m.

De petites éclaircies existent encore le 15 décembre mais elles disparaissent complètement pendant le mois de janvier.

Le couvert de glace épaissit graduellement en cours d'hiver sur sa face inférieure par conduction thermique. Il atteint une épaisseur maximale de 0,7 m à la fin mars.

À la fin de l'hiver, le réchauffement de l'air et le rayonnement solaire font ouvrir de petites éclaircies dans le couvert de glace. Celles-ci permettent à l'eau de se réchauffer au contact de l'air. L'eau chaude fait fondre d'abord les accumulations de frazil, s'il y en a, puis fait ouvrir le couvert.

7.0 CONDITIONS FUTURES

Le régime hivernal futur est décrit pour trois cas d'aménagement :

- COMPLEXE FINAL : les centrales Romaine-1, Romaine-2, Romaine-3 et Romaine-4 sont en service
- PHASE TRANSITOIRE A : la centrale Romaine-2 seule est en exploitation
- PHASE TRANSITOIRE B : les centrales Romaine-2 et Romaine-1 sont en exploitation

Les deux premiers cas seulement ont été traités dans le cadre de cette étude. Les 19 hivers de 1984 à 2003 ont été simulés pour chacun des deux cas.

7.1 Complexe final : Romaine-1 à Romaine-4 en exploitation

7.1.1 Débits et températures de l'eau

La figure 7 présente les débits turbinés à Romaine-1 et imposés au PK-51,5 (limite amont du calcul) pour les 19 hivers de 1984 à 2003. Le débit a tendance à baisser typiquement de 350 m³/s au début novembre pour atteindre en moyenne 200 m³/s au début janvier. Le débit varie peu de janvier à avril mais commence à augmenter à partir de la mi-avril.

La figure 8 présente les températures de l'eau restituées à Romaine-1 et imposées au PK 51,5 pour les 19 hivers de 1984 à 2003. La température de l'eau oscille entre 0°C à 1,5°C au cœur de l'hiver, selon la température de l'air.. Rappelons que la température de l'air a un effet important sur la température de l'eau sortant de la Romaine-1, car le tronçon amont est presque entièrement en eau libre entre l'exutoire de la Romaine-2 et l'entrée du réservoir de la Romaine-1 (PK-62), et la température de l'eau entrant dans le réservoir Romaine-1 reflète dans ces conditions la température de l'air. De plus, le petit réservoir de la Romaine-1 est très peu stratifié et son effet est presque négligeable sur les températures de l'eau sortant de Romaine-1. Une journée très froide peut ainsi voir l'eau sortant de la

Romaine-2 atteindre 0°C au PK-62 alors qu'une journée plus clémente maintient des températures de l'eau supérieures à 1°C.

7.1.2 Résultats des simulations des 19 hivers

La figure 9 présente la probabilité de la traversée sur le tronçon en aval du PK-51,5 telle que définie à la section 6.3, pour des épaisseurs minimums du couvert de glace de 20 cm et de 10 cm. Les "matrices d'accessibilité" permettent de distinguer 3 tronçons ayant des comportements différents :

- Entre l'exutoire de la Romaine-1 (PK-51,5) et la Chute Charlie (PK-35), l'accessibilité est incertaine. La traversée du PK-42,8 devra être probablement abandonnée en conditions futures.
- Entre l'aval de la Chute Charlie (PK-34,5) et la Chute de l'Église (PK-16), la période d'accessibilité est réduite par rapport aux conditions actuelles mais les traversées des PK-30,1 PK-26 et PK-18 demeurent utilisables. Notons que des redoux pendant l'hiver, pouvant survenir à tout moment, peuvent faire ouvrir le couvert de glace d'amont en aval et interrompre temporairement l'accessibilité jusqu'à certaines positions (positions A, B, C, D et E sur la figure 9).
- Entre l'aval de la Chute de l'Église (PK-15,7) et l'embouchure (PK-2,5), la période d'accessibilité est légèrement réduite par rapport aux conditions actuelles mais aucune interruption de l'accessibilité ne se produit en cours d'hiver.

On constate que c'est la fermeture complète, d'une rive à l'autre, qui contrôle l'accessibilité, et non pas l'épaisseur du couvert de glace : plus précisément, l'épaisseur du couvert est presque toujours suffisante⁽¹⁰⁾ pour traverser au moment où le couvert se forme d'une rive à l'autre en début d'hiver, et elle est encore toujours suffisante au moment où le couvert ouvre au printemps (par apparition d'une éclaircie). Chacun des deux tronçons en

⁽¹⁰⁾ : Elle est toujours suffisante si on adopte 10 cm comme épaisseur requise pour assurer la capacité portante, et presque toujours si on adopte 20 cm.

aval de la chute du PK-35 ferme presque simultanément en décembre et ouvre à la fin de l'hiver sur une brève période de 2-3 jours.

La figure 10 montre la période d'accessibilité du tronçon central (entre le PK-34,5 et le PK-16) pour les 19 hivers. La date de début d'accessibilité varie du début décembre au début janvier alors que la date de fin d'accessibilité varie de la fin février à la fin mars. La variabilité inter-annuelle de l'accessibilité est donc de 1 mois pour le début et la fin.

7.1.3 Accessibilité et emprise du couvert de glace pour l'hiver 1989-1990

La figure 11 présente une comparaison de l'accessibilité entre les conditions futures et les conditions actuelles pour un hiver typique, soit l'hiver 1989-1990. La figure 12, quant à elle, illustre le champ de glace au cours de cet hiver.

En conditions futures, les premiers 5 kilomètres à la sortie de la Romaine-1 demeurent principalement en eau libre pendant tout l'hiver. La traversée du PK-42,8 est souvent sollicitée par le recul du bord frontal. Le couvert de glace en aval de ce dernier est souvent attaqué par l'érosion thermique de sa face inférieure, à cause de l'eau chaude sortant de la centrale. L'accessibilité du tronçon, entre la sortie de la Romaine-1 et la Chute Charlie du PK-35, est donc incertaine.

L'accessibilité du tronçon central entre les chutes des PK-35 et 16 connaît une période très incertaine de 3 semaines en début d'hiver mais finit par se stabiliser à la fin décembre. Le début de la saison de motoneige sera donc retardée de 2 à 3 semaines. Notons que l'accessibilité est d'un seul tenant de la fin décembre à la mi-mars grâce à un couvert de glace complètement fermé et moindrement attaqué par l'érosion thermique. De faibles quantités de frasil se génèrent dans la petite éclaircie au droit de la chute du PK-35 et se déposent au pied de la chute et dans la fosse du PK-31. À partir de la mi-mars, des ouvertures du couvert de glace mettent fin à la période d'accessibilité des 3 traversées situées sur ce tronçon aux PK-30,1, 26 et 18. Cette période coïncide avec la fin de la saison de motoneige actuelle (voir section 6.2).

Le tronçon en aval de la Chute de l'Église est celui qui subit le moins d'impacts de l'eau chaude sortant de la Romaine-1. La date de début d'accessibilité demeure pratiquement inchangée par rapport aux conditions actuelles. La date de fin d'accessibilité est avancée de la fin avril au début avril à cause de l'ouverture prématurée des tronçons en amont de la chute du PK-16. Rappelons qu'en fin d'hiver, l'eau dans les éclaircies se réchauffe rapidement au contact de l'air et du rayonnement solaire. Celle-ci fait ouvrir des sections en aval qui font chauffer l'eau davantage et se mettent à faire ouvrir d'autres sections plus en aval. La présence d'un tronçon ouvert tout l'hiver à l'aval de Romaine-1 déclenche cette réaction en chaîne en fin d'hiver, ce qui explique l'avance de la date de fin d'accessibilité par rapport aux conditions actuelles. Cependant, les ouvertures prématurées sur ce tronçon n'ont aucun impact pratique sur la date de fin de la saison de motoneige qui se situe à la deuxième quinzaine de mars à cause de la dégradation des conditions de neige sur les sentiers.

Le critère d'épaisseur minimum requise pour accéder au couvert de glace ne change que la date de début d'accessibilité. En conditions actuelles, le couvert de glace, pour une épaisseur minimum de 10 cm, devient accessible environ une semaine plus tôt que pour une épaisseur minimum de 20 cm. En conditions futures, c'est la fermeture totale, d'une rive à l'autre, qui contrôle la date d'accessibilité, et le critère d'épaisseur minimale requise n'a pas d'effet, en particulier sur le tronçon central (PK-18, 26 et 30,1) car le couvert ne devient définitivement fermé qu'à partir de la fin décembre. Pour le tronçon en aval de la chute du PK-16, la seule traversée au PK-3 ne devient accessible qu'à partir du début janvier. Le critère de l'épaisseur minimum n'a donc aucun effet sur les dates de début d'accessibilité des 5 traversées en conditions futures.

7.1.4 Gestion de pointe durant l'hiver 1989-1990

Les conséquences de l'exploitation en pointe de l'aménagement pendant une période très froide de l'hiver ont été également étudiées. On a simulé une période de froid intense pendant laquelle les besoins énergétiques du Québec sont très grands, ce qui force à exploiter les quatre centrales de la Romaine au maximum de leur capacité. La période choisie s'étend du 2 au 6 février de l'hiver 1989-1990, pendant laquelle la température de

l'air moyenne est de -26°C (figure 13). Le débit turbiné à la Romaine-1 passe de $200\text{ m}^3/\text{s}$ (un groupe à l'optimum) à $400\text{ m}^3/\text{s}$ (deux groupes à l'optimum) pendant la nuit du 1^{er} au 2 février. Les deux groupes continuent à turbiner pendant quatre jours avec des passages à la puissance maximale (débit de $480\text{ m}^3/\text{s}$) pendant 3 heures de pointe en matinée et 3 heures de pointe en début de soirée. La figure 14 montre la variation de débit et de température de l'eau imposée au PK-51,5.

La température de l'eau restituée par Romaine-1 augmente pendant cette période de pointe. Même en supposant que la température de l'eau sortant de Romaine-2 reste inchangée⁽¹¹⁾, la baisse de température de l'eau le long du trajet entre Romaine-2 et l'entrée du Romaine-1, proportionnelle au débit, est plus faible. L'abaissement de température de l'eau $\Delta\theta$ le long de ce trajet est en effet :

$$\Delta\theta = \frac{\Phi A}{\rho C Q}$$

où A est la surface de contact avec l'atmosphère entre les PK-84 et 62, évaluée à $3,25\text{ km}^2$ et pratiquement indépendante du débit. Le taux de déperdition au contact de l'air à -26°C est de l'ordre de 500 W/m^2 et la chute de température passe de $1,95^{\circ}\text{C}$ sous $Q = 200\text{ m}^3/\text{s}$ à $0,97^{\circ}\text{C}$ sous $Q = 400\text{ m}^3/\text{s}$. On en conclut que la température entrant dans le réservoir Romaine-1 augmente d'environ 1°C pendant la période de pointe, et il en est pratiquement de même pour l'eau turbinée puis restituée à Romaine-1, car le réservoir de Romaine-1 a peu d'effet sur la température de l'eau qui le traverse.

La figure 15 présente l'effet thermique de la gestion de pointe sur l'accessibilité du couvert en aval de la Romaine-1. On observe que l'augmentation du flux thermique (produit du débit et de la température de l'eau) fait reculer le bord frontal du PK-45 jusqu'à la Chute Charlie au PK-35. En revanche, la couvert se reforme rapidement sur ce tronçon une fois de retour à l'exploitation normale.

⁽¹¹⁾ : L'augmentation du débit turbiné à Romaine-2 amène à soutirer des couches plus profondes et plus chaudes du réservoir Romaine-2 et la température de l'eau est susceptible d'augmenter de quelques dixièmes de degrés à Romaine-2. Cet effet est négligé ici.

L'impact du débit accru sur l'épaisseur du couvert de glace est nul. Ce dernier continue à épaissir sans interruption même si la température de l'eau à l'exutoire de la Romaine-1 est augmentée. Le couvert de glace a tendance à épaissir à un taux plus faible mais il ne s'amincit pas. Il n'y a donc aucun effet d'érosion thermique sur le dessous du couvert de glace.

7.1.5 Niveaux d'eau à la sortie de la centrale

Le niveau d'eau à l'aval immédiat de la centrale Romaine-1 affecte la chute brute et la puissance disponible à la centrale. L'exploitant doit connaître avec précision le niveau d'eau aval auquel il doit s'attendre au cours des prochains jours ou semaines pour planifier la production de la centrale, en fonction de la demande du réseau.

En été, le niveau d'eau à l'aval de la centrale ne dépend que du débit turbiné, selon une relation niveau-débit connue avec toute la précision requise. En hiver, le niveau d'eau est aussi affecté par la présence de glace qui couvre une partie de la rivière depuis la centrale jusqu'à la section de contrôle située à la Chute Charlie du PK-35.

Le nuage de points de la figure 16 présente les niveaux d'eau calculés chaque jour pendant les 19 hivers et illustre la relation niveau-débit à la sortie de la Romaine-1. L'enveloppe inférieure correspond à la relation niveau-débit en eau libre, tandis que l'enveloppe supérieure représente la relation niveau-débit incluant les rehaussements dus aux glaces. Les points saillants de la figure 16 sont :

- Au débit de 200 m³/s (un groupe à l'optimal) le rehaussement dû aux glaces peut atteindre au plus 1 mètre.
- Au débit de 240 m³/s (un groupe au maximum) le rehaussement dû aux glaces peut atteindre au plus 0,5 mètre.

- Pour les débits supérieurs à 270 m³/s, le rehaussement dû aux glaces est nul car l'exploitation à débit élevé (figure 7) coïncide toujours avec les réchauffements du printemps ou avec les températures de l'eau positives du mois de décembre. L'association du débit élevé à la chaleur permet de maintenir le tronçon entre le PK-51,5 et la chute du PK-35 en eau libre.

7.2 Phase transitoire A : Romaine-2 seule en exploitation

7.2.1 Débits et températures de l'eau

La figure 17 présente les débits franchissant le PK-51,5 pour les 19 hivers de 1984 à 2003, en présence de Romaine-2 seule. Le débit a tendance à baisser typiquement de 300 m³/s en début novembre pour atteindre en moyenne 200 m³/s au début décembre. Celui-ci varie peu de décembre à février mais commence à augmenter à partir du début mars. Des débits excédant 480 m³/s (2 groupes fonctionnant au maximum) sont évacués au printemps 5 années sur 19.

La figure 18 présente les températures de l'eau imposées au PK-84 à la sortie de la Romaine-2 pour les 19 hivers de 1984 à 2003. La température de l'eau baisse légèrement d'une enveloppe entre 1,5 et 3°C au mois de décembre à une enveloppe entre 1 et 2,5°C au début mai.

Des simulations du tronçon amont entre la Romaine-2 et le PK-55 ont servi à déterminer les températures de l'eau au PK-51,5. La figure 19 illustre les variations horaires de la température de l'eau obtenues grâce aux simulations du tronçon amont et imposées au PK-51,5 pour les simulations du tronçon entre le site de la future centrale Romaine-1 et l'embouchure. Notons que les températures de l'eau sortant de la Romaine-2, qui sont relativement chaudes, se refroidissent sensiblement au contact de l'air froid pour atteindre une enveloppe de 0 à 1,5°C au PK-51,5 en janvier et février. Cette enveloppe est tout à fait comparable à l'enveloppe des températures de l'eau pour le cas du complexe final (figure 8). Néanmoins, les températures de l'eau, au PK-51,5 dans le cas Romaine-2 seule (phase transitoire A), présentent des variations horaires importantes et atteignent fréquem-

ment 0°C en janvier et février, ce qui ne se produit pas lorsque la centrale Romaine-1 est présente.

7.2.2 Résultats des simulations des 19 hivers

La figure 20 présente la fréquence avec laquelle on peut traverser la rivière en aval du PK-51,5 pour un critère d'épaisseur minimum du couvert de glace de 20 cm. Ces fréquences sont définies et établies selon les méthodes présentées à la section 6.3. Les mêmes conclusions de la section 7.1.2 (pour le complexe final) peuvent être retenues à l'exception des points suivants:

- Entre l'exutoire de la Romaine-1 (PK-51,5) et la Chute Charlie (PK-35), le couvert de glace est accessible 8 années sur 10 au cœur de l'hiver (janvier et février), surtout dans la partie située entre le PK-43 et la Chute Charlie au PK-35. La traversée du PK-42,8 peut être utilisée à partir de la fin décembre et jusqu'à la fin février, mais les usagers devront toujours faire preuve de vigilance, puisque des redoux peuvent fréquemment interrompre l'accessibilité de cette traversée en cours d'hiver. Il serait donc plus sécuritaire de déplacer cette traversée à une section entre le PK-35 et le PK-40.
- Entre l'aval de la Chute Charlie (PK-34,5) et la Chute de l'Église (PK-16), les dates de début et de fin d'accessibilité restent sensiblement les mêmes que celles avec le complexe final, mais l'accessibilité est moins sensible aux redoux et les interruptions temporaires d'accessibilité sont plus rares.

8.0 CONCLUSIONS

La modélisation numérique des processus hydrauliques et thermiques a permis de décrire les régimes hivernal présent et futur de la rivière Romaine, sur le tronçon en aval du site de la future centrale Romaine-1. Dix neuf hivers de 1984 à 2003 ont été simulés dans le but de dresser un portrait d'ensemble basé sur des scénarios provenant de la base de données climatiques et hydrologiques des deux dernières décennies. Cette modélisation a été réalisée à l'aide du modèle numérique unidimensionnel MIKE11-ICE amélioré et validé au cours d'études précédentes sur la rivière La Grande et sur la Péribonka.

Il est possible de préciser la modification du milieu physique résultant de la mise en service du complexe d'aménagements hydroélectriques projetés. On s'intéresse en particulier aux cinq traversées de motoneige identifiées en aval du site de la Romaine-1.

Le tronçon en aval de la Romaine-1 est caractérisé, en conditions actuelles, par des tronçons présentant un écoulement lent entrecoupé de chutes. Les tronçons lents se couvrent de glace progressivement en décembre et il ne subsiste plus en janvier et pendant le reste de l'hiver que de petites éclaircies au droit des chutes.

Les répercussions de l'exploitation des quatre centrales du complexe sur le régime hivernal sont de deux ordres : les débits sont augmentés et l'eau est restituée à Romaine-1 à une température supérieure à 0°C, du fait du régime thermique des réservoirs plus en amont. La restitution du débit élevé à température positive empêche la formation d'un couvert de glace stable sur une partie du bief qui s'étend de la sortie de la Romaine-1 jusqu'à la Chute Charlie au PK-35. On assistera, dans ces conditions, à un retard à la fermeture des éclaircies et à une disparition plus hâtive des couverts de glace en fin d'hiver : ces effets seront plus marqués en amont qu'en aval, et plus au printemps qu'en début d'hiver.

L'accumulation de frasil restera de peu d'importance et jouera peu de rôle dans les processus hivernaux. Sur la moitié la plus en aval du tronçon aval, l'épaisseur de la glace reflète surtout le régime des températures de l'air et sera peu affectée par les aména-

gements. L'épaisseur sera plus faible en amont du bief, du fait de l'érosion thermique et la glace sera fréquemment absente des cinq kilomètres situés immédiatement en aval de Romaine-1.

Les cinq traversées de motoneige seront affectées, surtout la traversée la plus en amont lorsque les 4 aménagements seront en exploitation. Leur période d'utilisation sera raccourcie de 2 à 3 semaines en début d'hiver. En fin d'hiver la période pendant laquelle on peut traverser la rivière est écourtée d'un mois, mais ceci ne réduit en pratique la saison de motoneige que de deux semaines, car c'est aujourd'hui la détérioration des conditions de neige sur les sentiers terrestres qui marque la fin de la saison après la mi-mars.

En aval de la Chute de l'Église du PK-16, l'accessibilité sera d'un seul tenant du début de l'hiver jusqu'à la fin. Entre les deux chutes du PK-16 et 35, l'accessibilité sera parfois temporairement interrompue en cours d'hiver à cause des redoux de la température de l'air, qui feront reculer le bord frontal du couvert de glace vers l'aval. En amont de la Chute Charlie du PK-35, l'accessibilité sera très affectée par les variations de la température de l'air et de l'eau qui feront périodiquement reculer le bord frontal du couvert de glace. Ces conditions de fréquents reculs du bord frontal rendront toute traversée en amont du PK-35 périlleuse. La traversée du PK-42,8 ne pourra pas être maintenue.

L'influence de l'épaisseur minimum requise pour avoir un couvert de glace accessible a été également étudiée. Au printemps, le critère de l'épaisseur minimum (20 cm ou 10 cm) n'a aucun effet sur les dates de fin d'accessibilité. En ce qui concerne le début d'accessibilité :

- En conditions actuelles, le critère de l'épaisseur minimum joue sur la date de début d'accessibilité pour les sections qui coulent lentement. Une épaisseur minimum de 10 cm permet d'avancer la date de début d'accessibilité d'environ une semaine.
- En conditions futures, le critère de l'épaisseur minimum n'a presque pas d'effets sur les dates de début d'accessibilité.

Un cas de gestion de pointe, durant une période de froid intense, a été étudié pour évaluer la stabilité du couvert de glace en aval de la Romaine-1. La simulation de variations de débits a montré que la combinaison d'eau chaude turbinée à débit élevé peut faire reculer temporairement le couvert de glace jusqu'à la Chute Charlie du PK-35, et ce malgré le froid intense.

Les effets de la présence de glace sur les niveaux d'eau à la sortie de la centrale ont été également étudiés. Les rehaussements dus aux glaces seront tout au plus de 1 mètre pour un groupe en fonction à l'optimum ($200 \text{ m}^3/\text{s}$). Ces rehaussements ont tendance à baisser lorsque le débit augmente à cause du recul du couvert de glace. Ceux-ci seront :

- au plus de 0,5 m pour un groupe fonctionnant au maximum ($240 \text{ m}^3/\text{s}$)
- nuls pour des débits supérieurs à $270 \text{ m}^3/\text{s}$

Pour la phase transitoire A, avec Romaine-2 seule en exploitation, l'eau chaude sortant de la Romaine-2 se refroidit considérablement en hiver sur le tronçon entre le PK-84 et le PK-55. Les dates de début et de fin d'accessibilité du couvert demeurent inchangées par rapport au cas avec le complexe final mais les effets de l'eau chaude sur la stabilité du couvert au cœur de l'hiver seront réduits. La traversée du PK-42,8 peut être déplacée entre le PK-35 et le PK-40 au lieu d'être éliminée, et les traversées des PK-18, 26 et 30,1 ne seront que très rarement interrompues en cours d'hiver.

ANNEXE A

COMPLEXE DE LA ROMAINE – MOTONEIGE

Compte rendu de la rencontre de travail du 6 février 2007

Lieu : Hôtel du Havre

Heure : 19 h 30

Ordre du jour

- 1- Présentation des résultats des inventaires sur l'utilisation de la motoneige dans la zone d'étude et plus particulièrement sur la rivière Romaine
 - Enquête postale (membres de l'association Chasse et pêche de Havre-Saint-Pierre, villégiateurs, piégeurs)
 - Enquête au terrain à l'hiver 2005
 - Discussion sur les résultats des inventaires

- 2- Informations complémentaires à obtenir
 - Importance en terme de fréquentation des lieux de traversée de la rivière en aval de la Grande Chute (PK 18, 26, 31, 43, etc.)
 - Raisons motivant le choix d'un lieu de traversée plutôt qu'un autre
 - Épaisseur de glace requise pour traverser la Romaine (sentier provincial, autres lieux)
 - Secteurs présentant des problématiques particulières (glace mince, difficulté d'accès, etc.)
 - Date ou période du début des déplacements en motoneige (couverture de neige au sol, épaisseur de la glace sur la rivière)
 - Date ou période de la fin de la saison de motoneige (couverture de neige au sol, épaisseur de la glace sur la rivière)
 - Date ou période du début des traversées de la Romaine sur le sentier provincial de motoneige no. 3 (mi-janvier, début février)
 - Déplacements des piégeurs sur la rivière
 - Utilisation du stationnement du club de motoneigistes le Blizzard
 - Fréquentation de la Romaine en amont du bassin des Murailles

- 3- Présentation des nouvelles conditions de la couverture de glace de la rivière Romaine
 - Tronçon aval de la Grande Chute (aménagement de la Romaine-1)
 - Réservoir de la Romaine 1 et tronçon de la Romaine jusqu'au bassin des Murailles
 - Réservoirs de la Romaine 2 et de la Romaine 3
 - Réservoir de la Romaine 4

- 4- Discussion sur les répercussions et impacts sur l'utilisation de la motoneige

- les motoneigistes se dirigeant vers le secteur est de la Romaine (lieux de traversée des PK 18, 26 et 31)
- les motoneigistes se dirigeant vers le secteur ouest de la Romaine
- les motoneigistes utilisant le sentier provincial au PK 3 de la Romaine
- Les utilisateurs utilisant le tronçon de la Romaine de la Grande Chute au bassin des Murailles
- Les piégeurs (terrains 14-570 et 14-572)

5- Discussion sur les mesures d'atténuation

Participants à la rencontre :

M Denis Desjardins, directeur de l'Association chasse et pêche de Havre-Saint-Pierre et titulaire du terrain de piégeage n. 14-570 (aménagement de la Romaine-1 sur son terrain)

M. Gilles Lebrun, directeur de l'Association chasse et pêche de Havre-Saint-Pierre

M. Dan Cyr, président du club de motoneigistes le Blizzard

M. René Nadeau, membre du conseil d'administration du club de motoneigistes le Blizzard

M. Daniel Boudreau, titulaire du terrain de piégeage n. 14-572 (réservoir Romaine 1 sur son terrain)

M. Étienne Cormier, directeur du bureau local du ministère des Transport du Québec à Havre-Saint-Pierre, possède un chalet au nord du lac Bourassa à l'ouest de l'aménagement de la Romaine-1

M. Maurice Arsenault, villégiateur, possède un chalet au lac Bourassa à l'ouest de l'aménagement de la Romaine-1

M. Émilien Boudreau, villégiateur, possède un chalet au lac du Rouge à l'ouest de l'aménagement de la Romaine-1

Personnes invitées mais non disponibles :

M. André Cyr, villégiateur, possède un chalet au lac Quartier à l'ouest de l'aménagement de la Romaine-1

M. Réjean Cyr, villégiateur, possède un chalet au lac Bourassa à l'ouest de l'aménagement de la Romaine-1

M. Dany Jomphe, directeur-général de la municipalité de Havre-Saint-Pierre, possède un chalet au lac Bourassa à l'ouest l'aménagement de la Romaine-1

Compte rendu de la rencontre

Informations complémentaires obtenues

- En aval de la Grande Chute, la très grande majorité des traversées en motoneige de la rivière Romaine se fait aux environs du PK 18 et du PK 26.
- Le lieu de traversée du PK 31 est très peu utilisé de même que les autres lieux situés en aval de la Grande Chute.
- Le lieu de traversée du PK 43 est surtout fréquenté au début de la saison de motoneige lorsque la couverture de neige au sol ne permet pas de rejoindre facilement les autres lieux de traversée. Un chemin permet de se rendre en véhicule au PK 43 près de la rivière. En fin de saison, il est fréquenté seulement par quelques motoneigistes.
- Le choix des lieux de traversée est principalement motivé par :
 - la facilité d'accès à la rivière, pente douce des berges (des travaux ont été réalisés par les utilisateurs pour améliorer l'accès au lieu de traversée du PK 26).
 - Un tracé le plus direct possible entre Havre-Saint-Pierre et le lieu de destination (la traversée du PK 26 permet un parcours presque en ligne droite entre Havre-Saint-Pierre et le lac Bourassa)
- L'épaisseur de glace que doit respecter le Club de motoneigistes Le Blizzard au lieu de traversée du sentier provincial de la Romaine (PK 3) afin d'être conforme aux exigences de la Fédération provinciale des clubs de motoneige et celles de sa compagnie d'assurance est de :
 - 18 pouces pour le passage de la resurfaçeuse
 - 12 pouces pour une automobile
 - 8 pouces pour une motoneige
 - 4 pouces pour un piéton
- Le Club de motoneigistes Le Blizzard effectue des relevés périodiquement pour vérifier l'épaisseur de la glace. Le sentier est balisé par le Club. La localisation du sentier est basée notamment sur l'expérience locale (acquise au fil des ans) du personnel du club relative aux conditions de la couverture de glace.
- En règle générale, le sentier provincial est ouvert à partir de la mi-janvier au début de février selon les années.

- Au cours des derniers hivers, l'épaisseur de 18 pouces a rarement été atteinte. Dans ces cas, la resurfaçeuse traverse la rivière Romaine sur le pont de la route 138.
- De nombreux motoneigistes utilisent le stationnement du relais du Club Le Blizzard situé près de la route 138 (intersection projetée de la route de la Romaine). Le vendredi en après-midi, ils y laissent leurs véhicules et poursuivent en motoneige jusqu'à leurs chalets. Le retour a lieu le dimanche en après-midi.
- La saison de motoneige débute à la fin novembre ou au début décembre. Les premières traversées de la Romaine se font aux environs du PK 43. Un chemin permet de se rendre en véhicule près de la rivière. Les motoneigistes peuvent donc partir de Havre-Saint-Pierre en camion et par ce chemin rejoindre la Romaine. De cet endroit, si la couverture de glace est adéquate, ils traversent la rivière et peuvent se rendre à leur chalet. Seulement quelques motoneigistes utilisent ce lieu de traversée.
- En règle générale, les premières traversées de la Romaine au PK 18 et au PK 26 se font au cours de la deuxième semaine de décembre (du 7 au 15 décembre). Certaines années, lorsque les conditions sont très favorables, les premières traversées ont lieu à la fin novembre ou au début décembre. Denis Desjardins est le premier à traverser au PK 26 et Gilles Lebrun au PK 18. Ces deux personnes connaissent très bien la Romaine. Dès qu'ils ont localisé un parcours et traversé la Romaine, alors les autres motoneigistes traversent la Romaine aux mêmes endroits. Selon ces deux participants, l'épaisseur de glace requise pour traverser la Romaine en motoneige est d'environ 4 pouces ou 10 cm (deux coups de hache). Lorsque la traversée du PK 26 est utilisable alors les motoneigistes n'empruntent plus celle du PK 43.
- Au début de l'hiver, au PK 26, le parcours longe la rive gauche de la rivière sur quelques centaines de mètres et traverse la rivière à un endroit où l'épaisseur de la glace est adéquate. Par la suite, en rive droite le sentier revient vers l'aval pour rejoindre le site d'accès en rive droite (appelé *portage* par les participants). Plus l'hiver avance, plus le tracé entre les lieux d'accès en rives gauche et droite devient rectiligne. Règle générale, le tracé est relativement droit à partir de la troisième semaine de décembre.
- En règle générale, la saison de motoneige prend fin à la mi-mars. Certaines années, elle peut s'étendre jusqu'à la fin mars. À partir de la mi-mars, la fonte de la neige rend les sentiers de motoneige difficilement praticables et aussi, on peut retrouver quelques pouces d'eau sur la glace de la rivière Romaine et les autres plans d'eau traversés, ce qui incommode et insécurise les motoneigistes.
- Également, certains participants ont mentionné qu'à partir de la mi-mars, les conditions incertaines de traversée font en sorte qu'ils décident de fermer leur chalet et ne traversent plus la Romaine. Ils veulent ainsi éviter de trop attendre et de ne plus pouvoir se rendre à leur chalet à cause de la fonte du couvert de glace et ainsi laisser de la nourriture dans leur chalet. Dans ces cas, des animaux, principalement des ours, pourraient causer des dommages à leur chalet.

- En avril, la saison de motoneige est terminée.
- Selon les participants, la prise du couvert de glace est fortement liée aux chutes de neige. Lorsque il y a une chute de neige importante, l'eau de la rivière Romaine devient remplie de neige (slush) ce qui favorise la prise du couvert de glace, principalement dans les courbes de la rivière. Les participants nomment ce phénomène «raftage».
- Également, selon les participants, le niveau d'eau de la Romaine a une influence sur la prise du couverture de glace. Un niveau d'eau trop bas ou trop élevé ne favorise pas la formation de la couverture de glace.
- En amont de la Grande Chute, des motoneigistes traversent la Romaine au PK 64. Ces motoneigistes possèdent des chalets du côté est ou ouest de la Romaine et visitent des amis ou des parents qui ont des chalets sur l'autre rive de la Romaine. Cette pratique s'est accentuée au cours des dernières années.
- Seulement trois ou quatre motoneigistes circulent de façon régulière sur la Romaine en motoneige en amont de la Grande Chute jusqu'au bassin des Murailles. Cependant, depuis quelques années, en février, de plus en plus de motoneigistes remontent la Romaine jusqu'au bassin des Murailles afin d'observer le paysage et les chutes.
- En amont du bassin des Murailles, très peu de motoneigistes empruntent la Romaine.
- Les piégeurs des terrains 14-572 et 14-570 utilisent la Romaine en motoneige pour leur activités de piégeage. Alain Boudreau (terrain 14-572) a indiqué qu'il ne traversait pas la rivière mais plutôt qu'il circulait en motoneige sur le glace en bordure de la rive gauche. Pour sa part, Denis Desjardins (terrain 14-570) longe la Romaine sur la glace en bordure de la rive droite du PK 35 au PK 51 pour ses activités de piégeage.

Principales demandes des participants

- Un lien inter-rives permettant aux motoneigistes de traverser la Romaine. Il pourrait s'agir d'une passerelle au pont prévu près de l'aménagement de la Romaine-1, d'un sentier sur le barrage de la Romaine-1 ou d'une autre solution.
- Si possible, les participants souhaitent qu'Hydro-Québec améliore les conditions de traversée en motoneige au PK 18 et au PK 26 ; accès et couverture de glace (un impact positif pour le projet).
- Un participant demande s'il serait possible d'évaluer la possibilité d'installer des filets ou des estacades afin de favoriser la prise du couvert de glace en amont des ouvrages de la Romaine-1.
- Les participants souhaitent que le lien entre les rives est et ouest de la Romaine en amont de la Grande Chute soit maintenu (traversée du PK 64). La solution devra permettre des

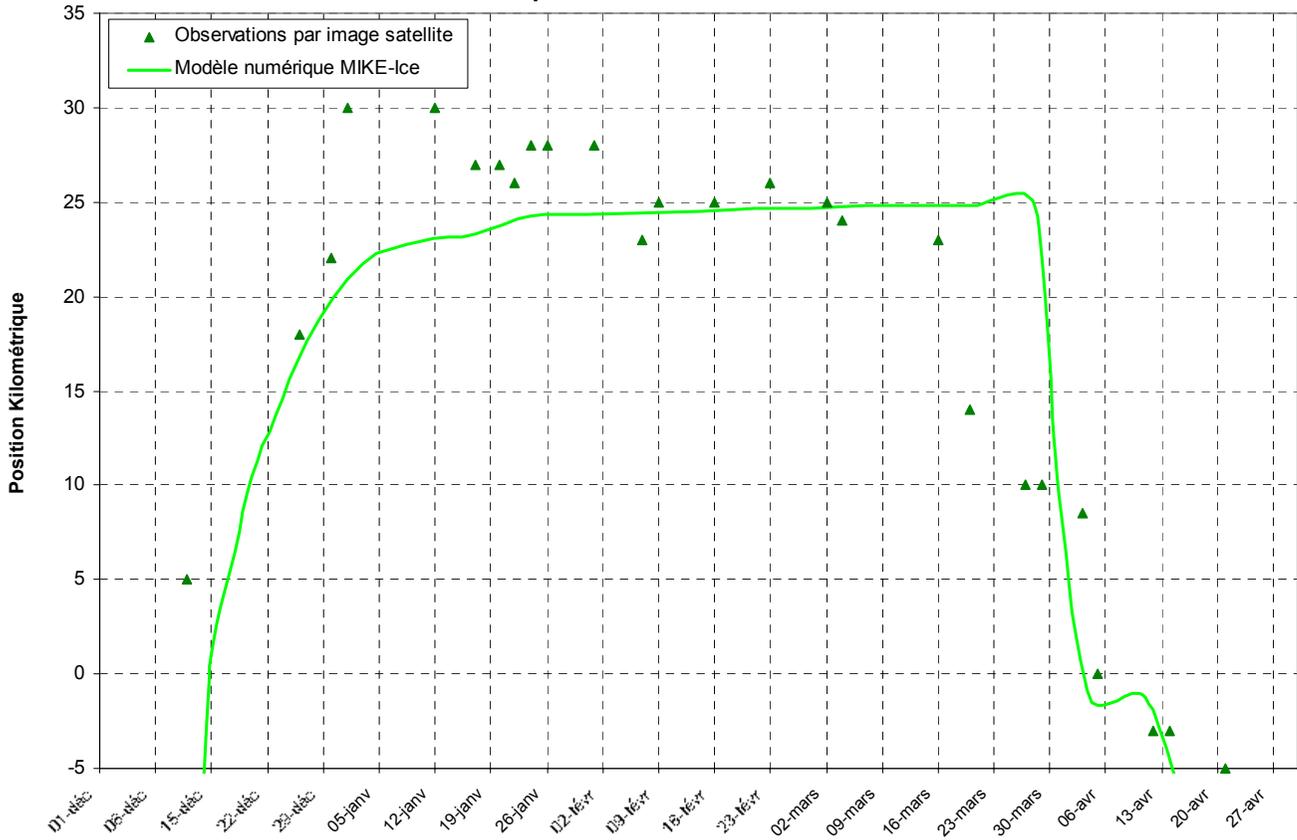
déplacements, en un temps raisonnable, entre les zones de villégiature du secteur du lac Bourassa à l'ouest et celui du lac Cormier à l'est.

- Aménager des surlargeurs le long de la route de la Romaine. Ces espaces seront surtout utiles l'été pour stationner les véhicules et poursuivre le trajet en quad jusqu'à leur chalet. L'hiver, les contraintes liées au déneigement peuvent présenter certains inconvénients.
- Le stationnement proposé près du barrage de la Romane-1 (aire industrielle A) est bien accueilli. Les participants pensent que de nombreux motoneigistes l'utiliseront.
- Prévoir des accès motoneige aux réservoirs de la Romaine 2, de la Romaine 3 et de la Romaine 4. Les chemins de construction et de déboisement laissés en place pourraient être utilisés par les motoneigistes.
- Le titulaire du terrain de trappage 14-572, Alain Boudreau, aimerait pouvoir utiliser le chemin d'accès au barrage de la Romaine-1 afin d'accéder plus facilement à son terrain de trappage.

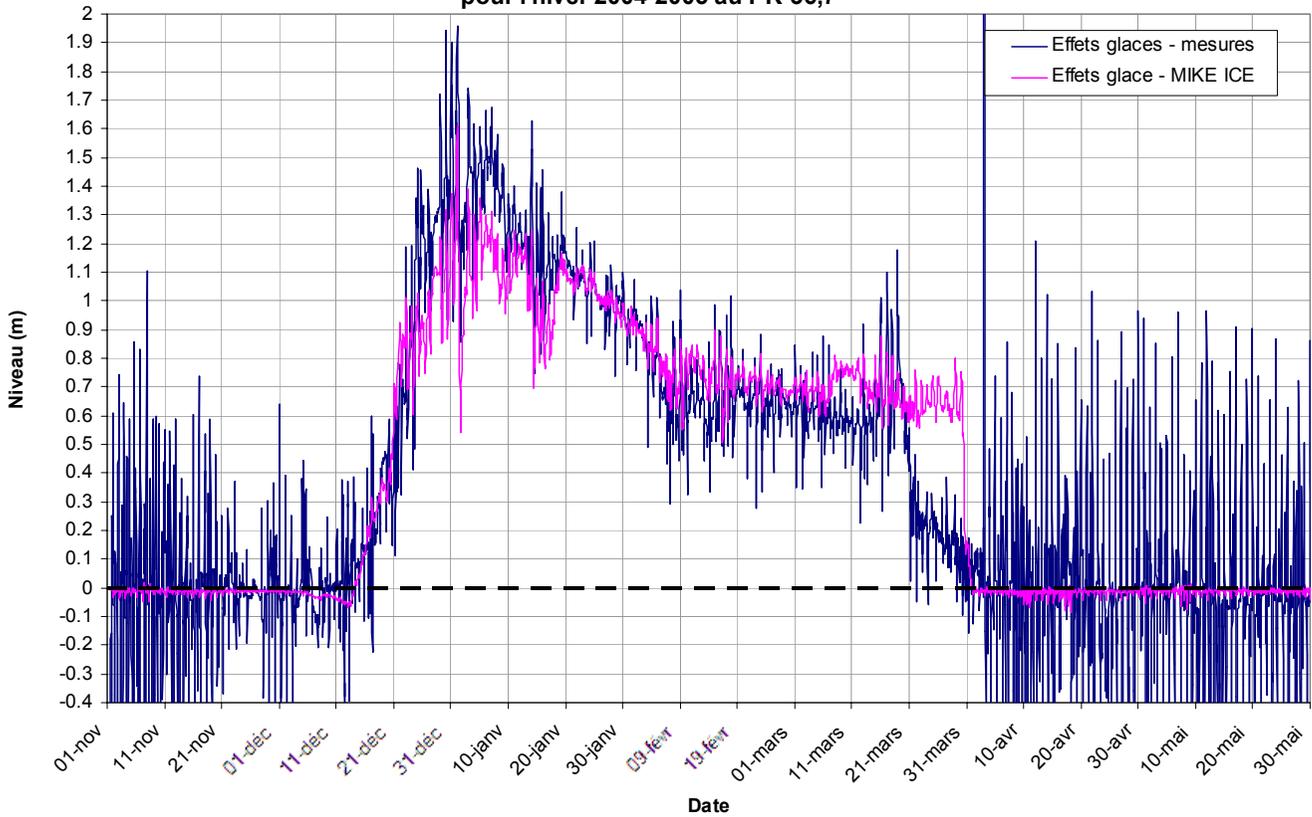
Autre sujet

- Asphalter la route de la Romaine ; élément important pouvant favoriser le développement des activités récréotouristiques.

**Comparaison de la position du bord frontal du couvert de glace en aval de LG1
pour l'hiver 2004-2005**



**Rehaussement dû aux effets de glace
pour l'hiver 2004-2005 au PK-36,7**



Le Groupe Conseil LaSalle



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



PROJET :
Projet du complexe
de la Romaine
Étude du régime hydraulique
hivernal pour 19 hivers

TITRE :
Validation du modèle MIKE-ICE
sur la rivière La Grande

DESSINÉ
PAR :
W.T

ÉCHELLE :

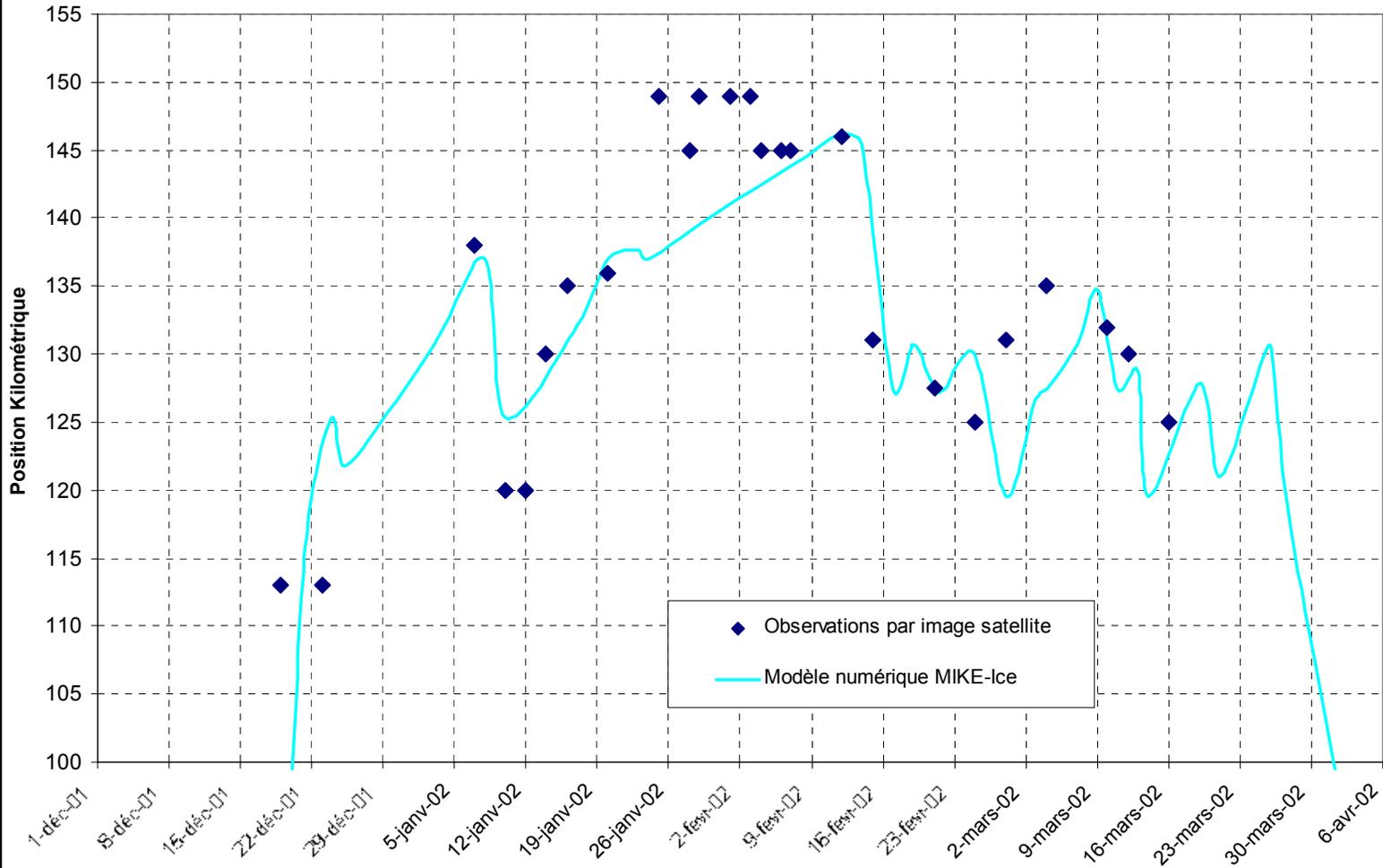
REF. CLIENT
-

DATE :
Août
2007

REF. LASALLE :
001-278

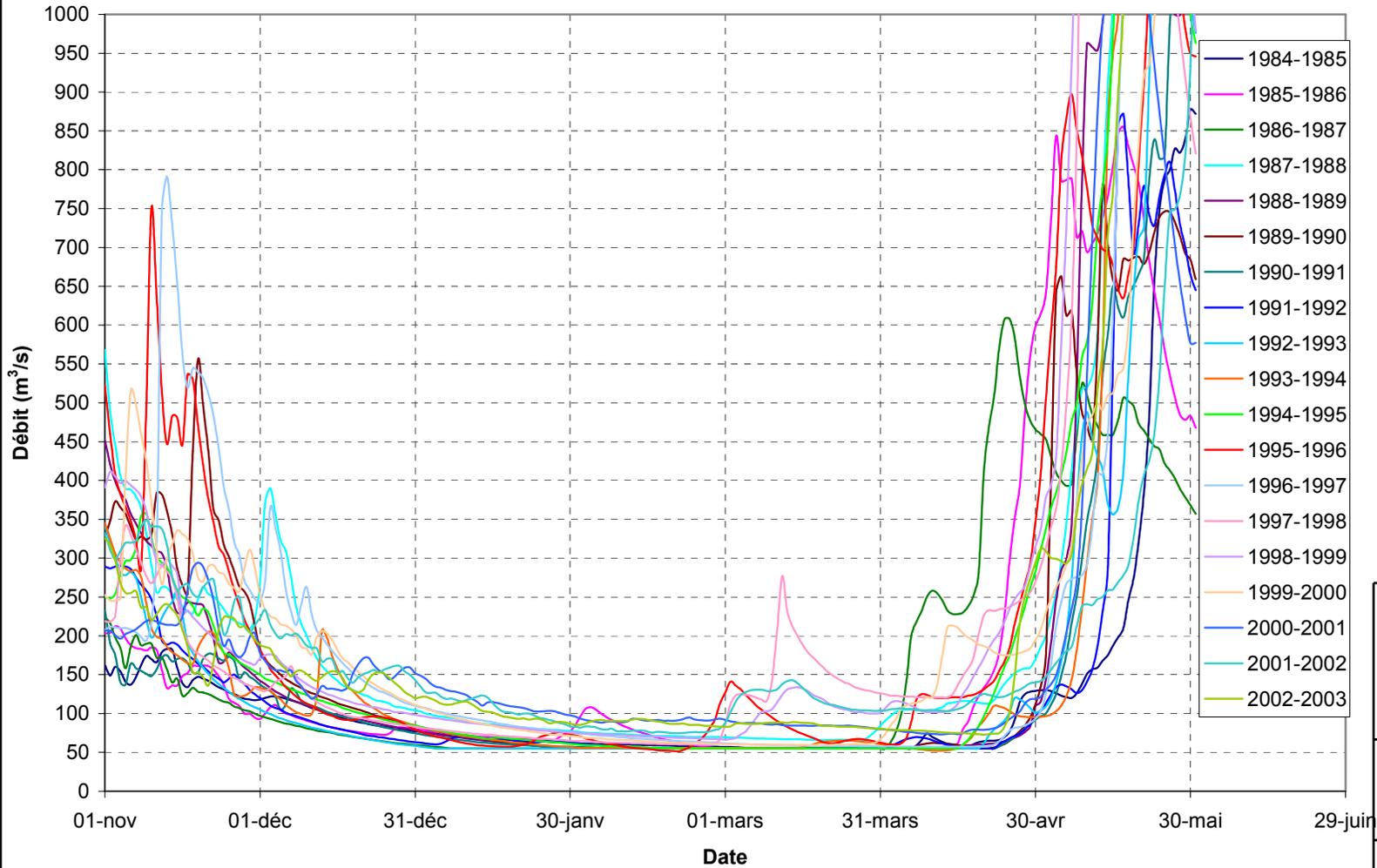
FIGURE :
1

Rivière Péribonka
Position du bord frontal au cours de l'hiver 2001-2002



Le Groupe Conseil LaSalle Inc.		
	9620, rue Saint-Patrick LaSalle, Québec Canada, H8R 1R8	
		
PROJET : Projet du complexe de la Romaine Étude du régime hydraulique hivernal pour 19 hivers		
TITRE : Validation du modèle MIKE-ICE sur la rivière Péribonka		
DESSINÉ PAR : W.T	REF. CLIENT : -	REF. LASALLE : 001-278
ÉCHELLE : -	DATE : Août 2007	FIGURE : 2

Hydrogramme des 19 hivers en conditions actuelles



Le Groupe Conseil LaSalle Inc.



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



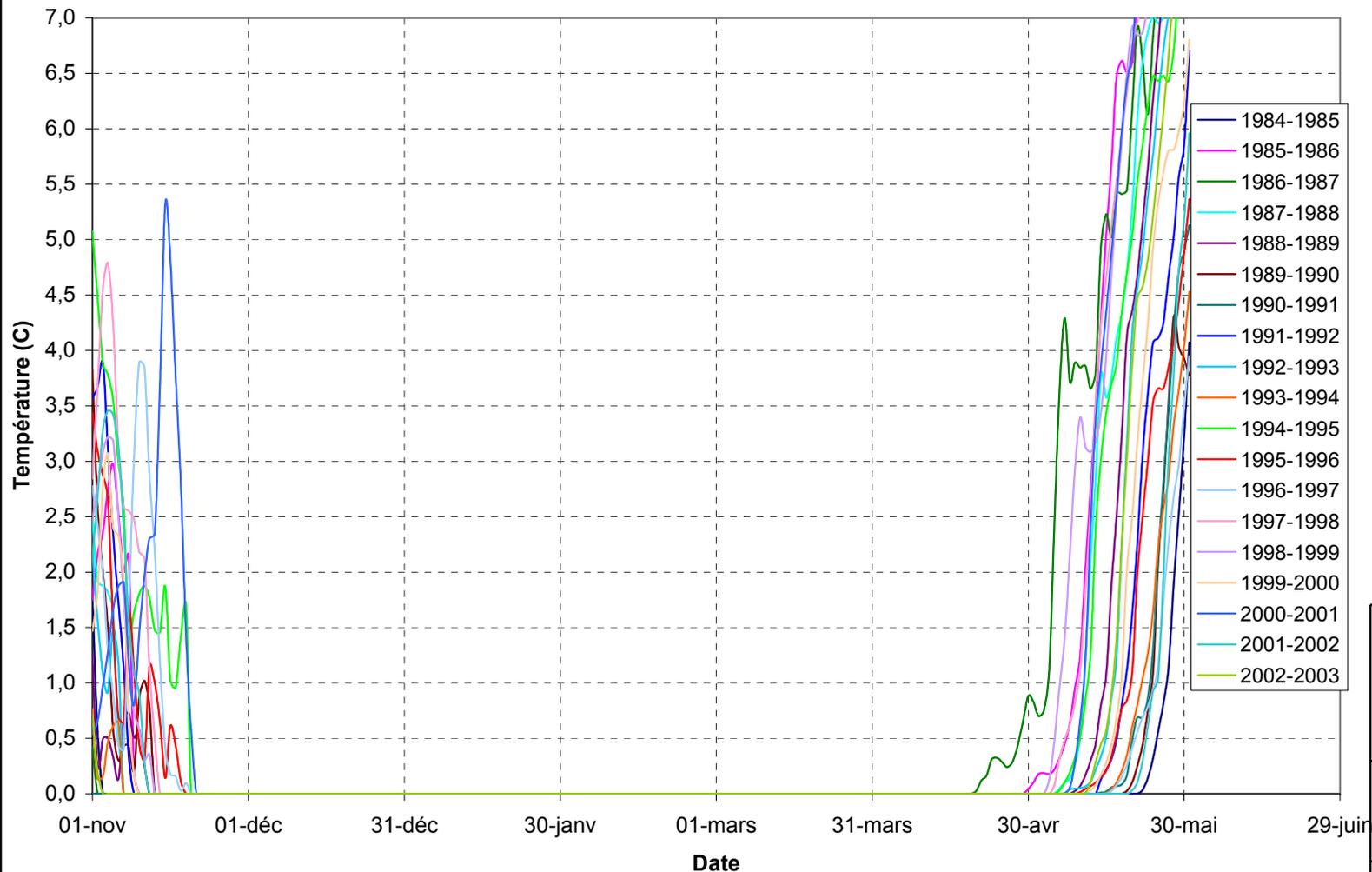
PROJET :
Projet du complexe de la Romaine
Étude du régime hydraulique
hivernal pour 19 hivers

TITRE : Conditions actuelles
Débits de la rivière au PK-51,5
au cours des 19 hivers

DESSINÉ PAR : W.T	REF. CLIENT : -	REF. LASALLE : 001-278
----------------------	--------------------	---------------------------

ÉCHELLE : -	DATE : Août 2007	FIGURE : 3
----------------	---------------------	---------------

Température de l'eau pour les 19 hivers au PK-51,5 en conditions actuelles



Le Groupe Conseil LaSalle Inc.



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



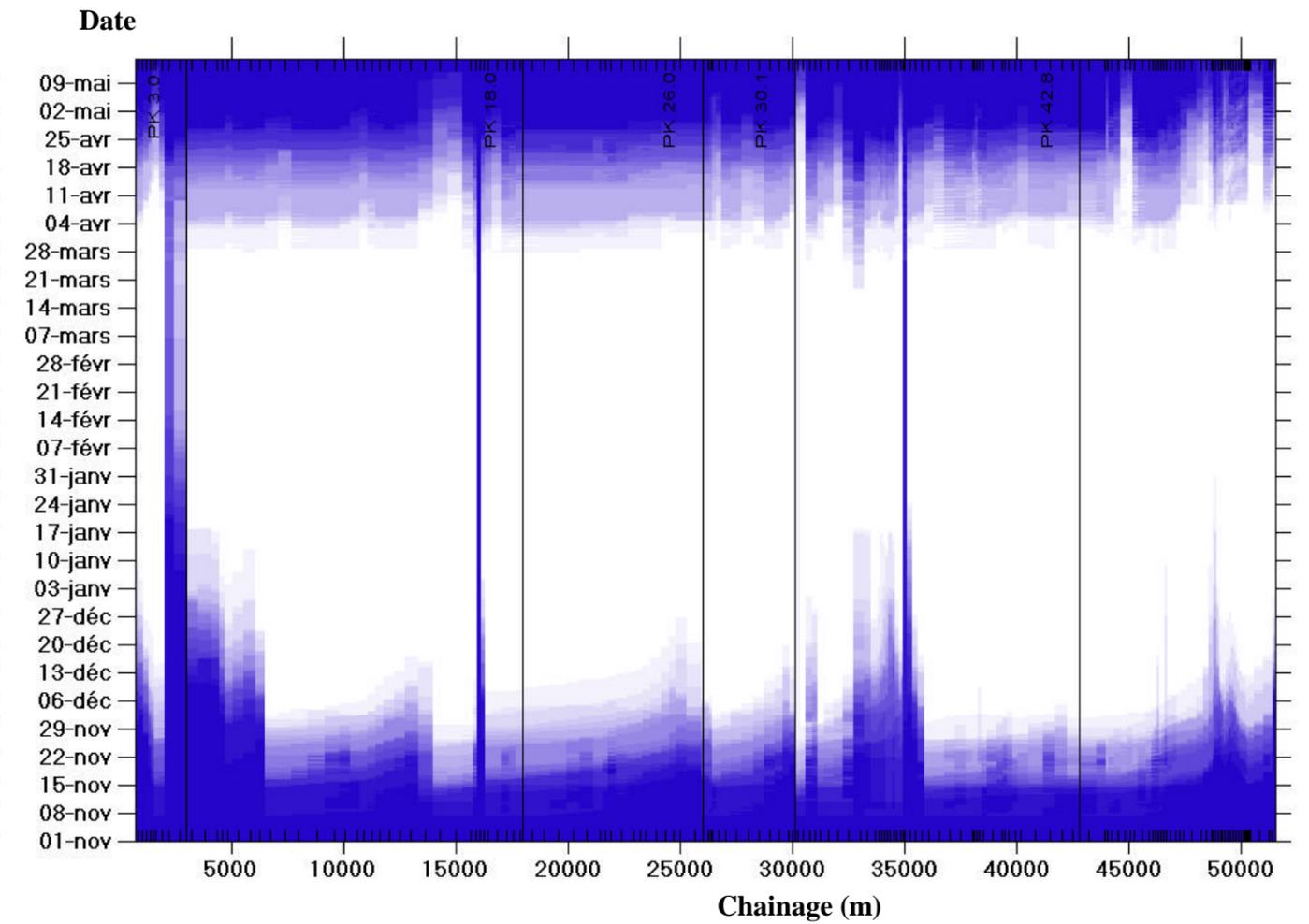
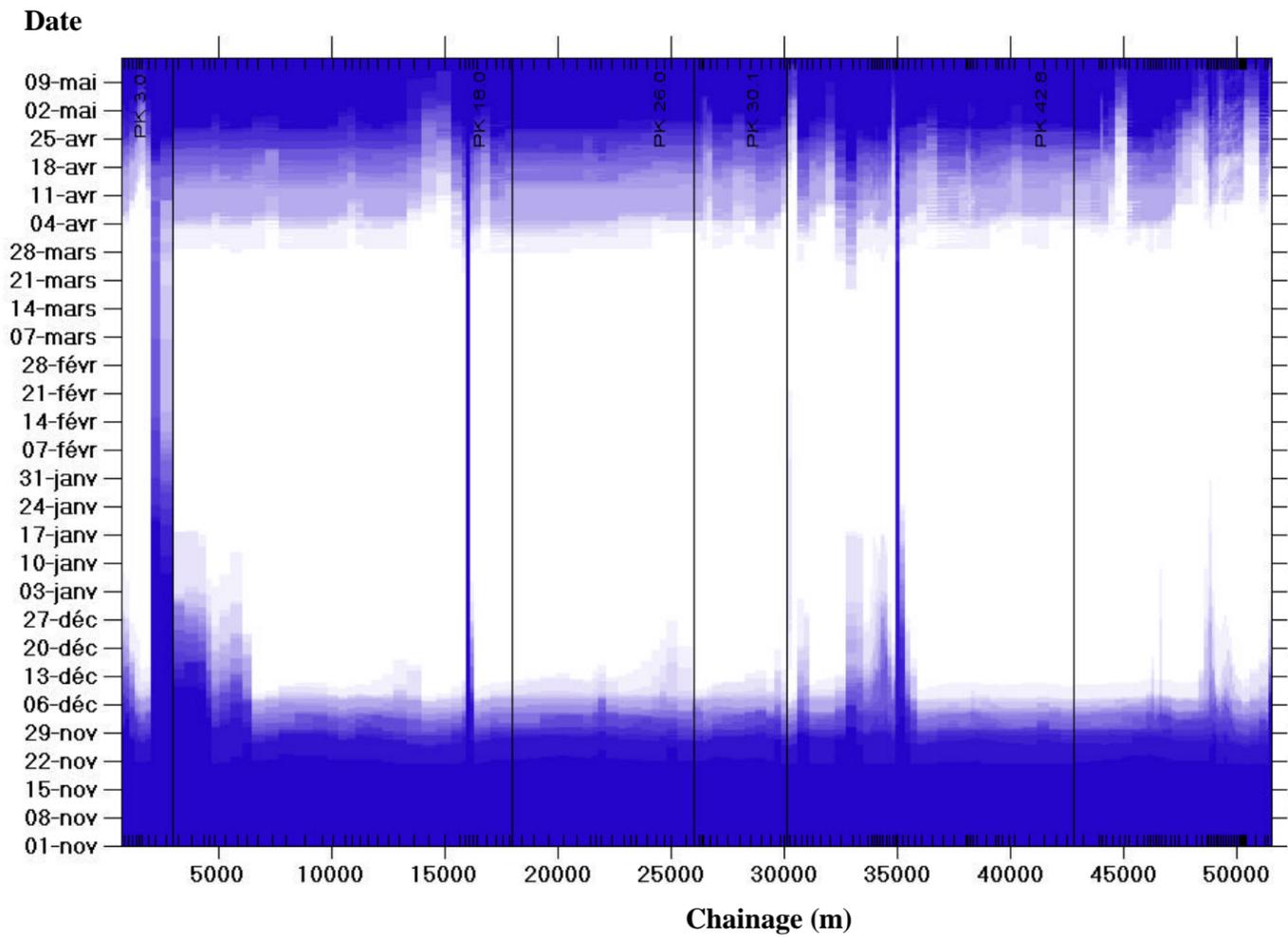
PROJET :
Projet du complexe de la Romaine
Étude du régime hydraulique
hivernal pour 19 hivers

TITRE : Conditions actuelles
Températures de l'eau au PK-51,5
au cours des 19 hivers

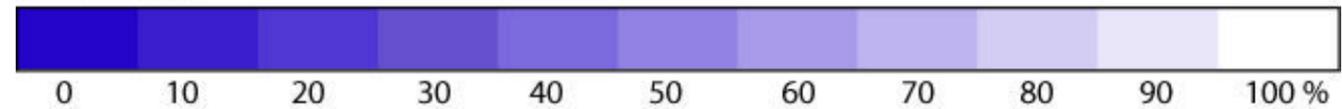
DESSINÉ PAR : W.T	REF. CLIENT : -	REF. LASALLE : 001-278
ÉCHELLE : -	DATE : Août 2007	FIGURE : 4

Épaisseur minimum pour l'accessibilité = 20cm

Épaisseur minimum pour l'accessibilité = 10cm



Accessibilité:



Le Groupe Conseil LaSalle Inc.

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

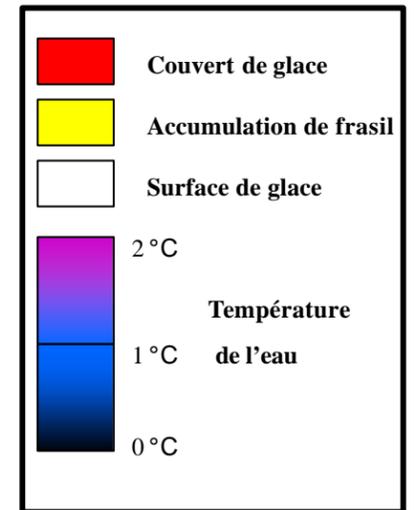
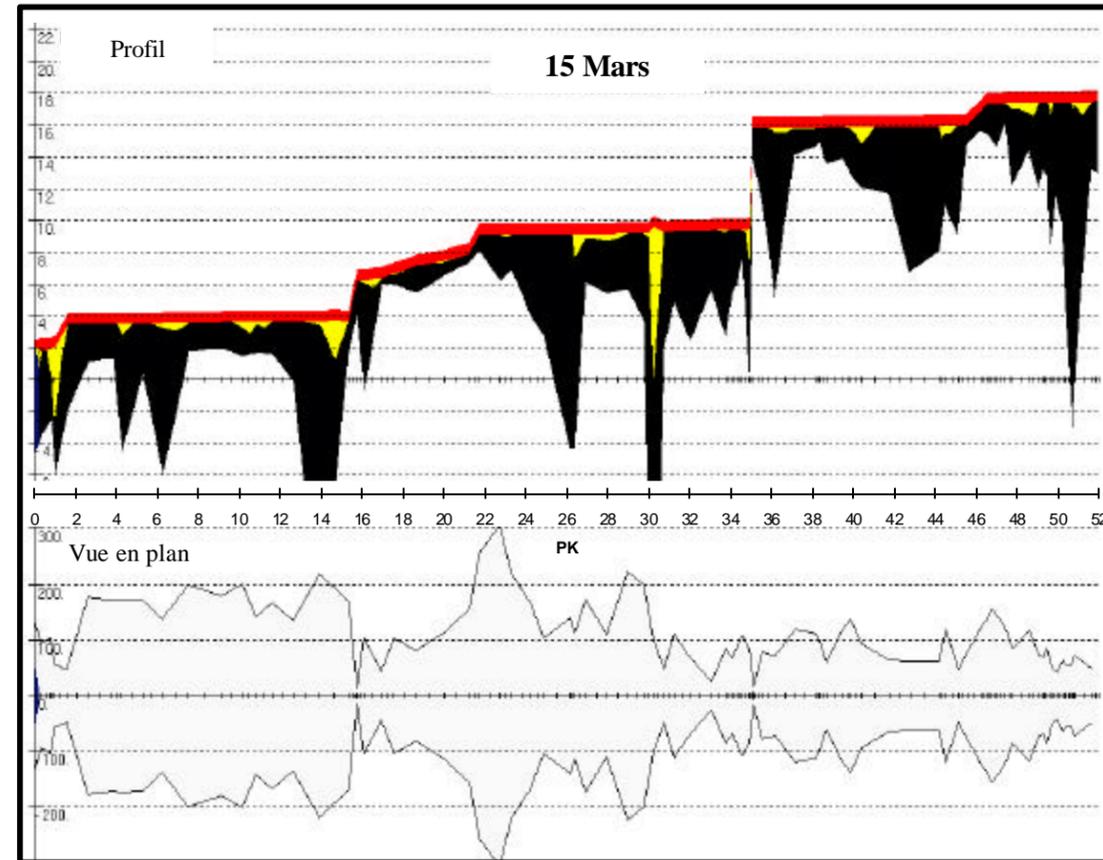
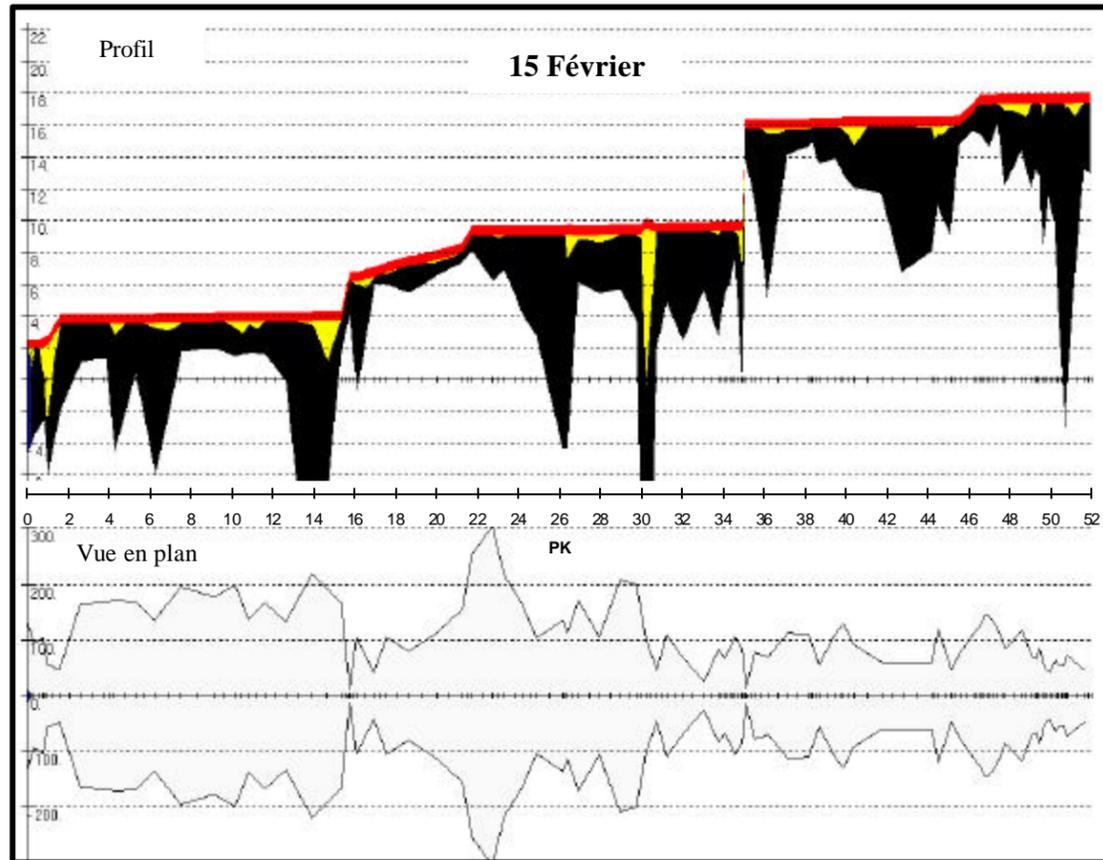
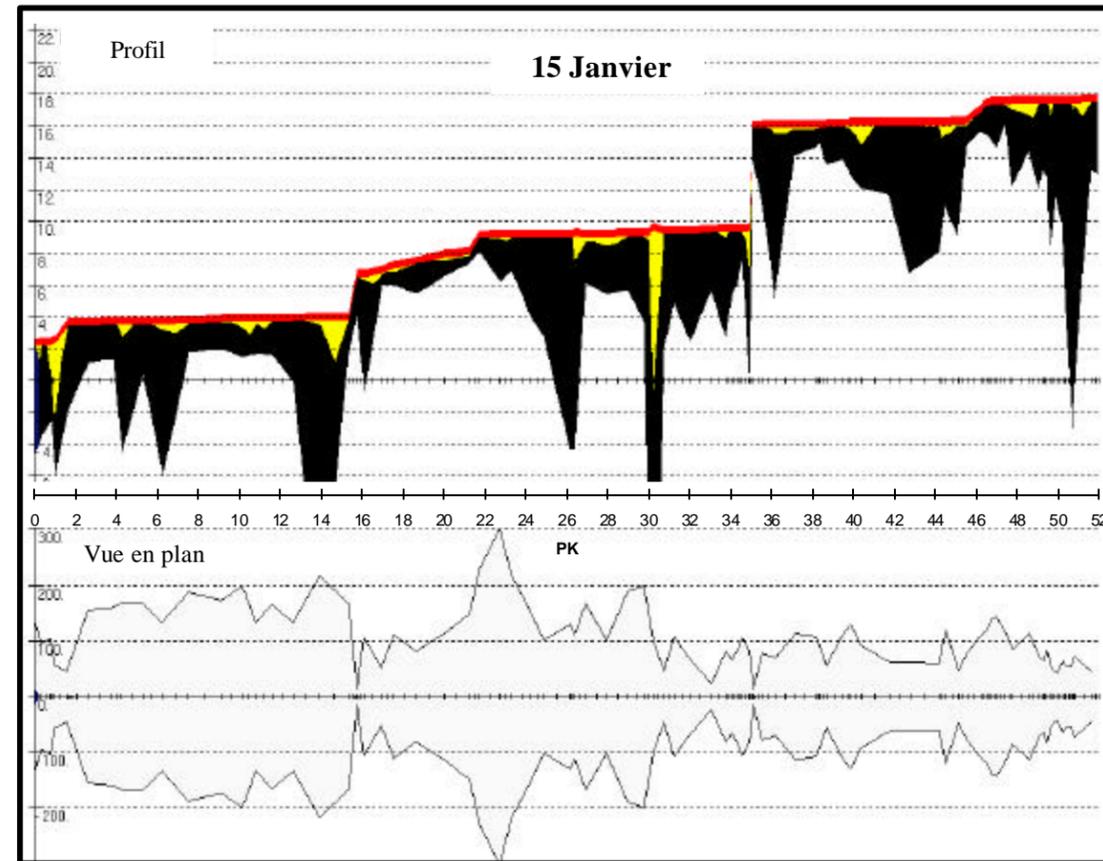
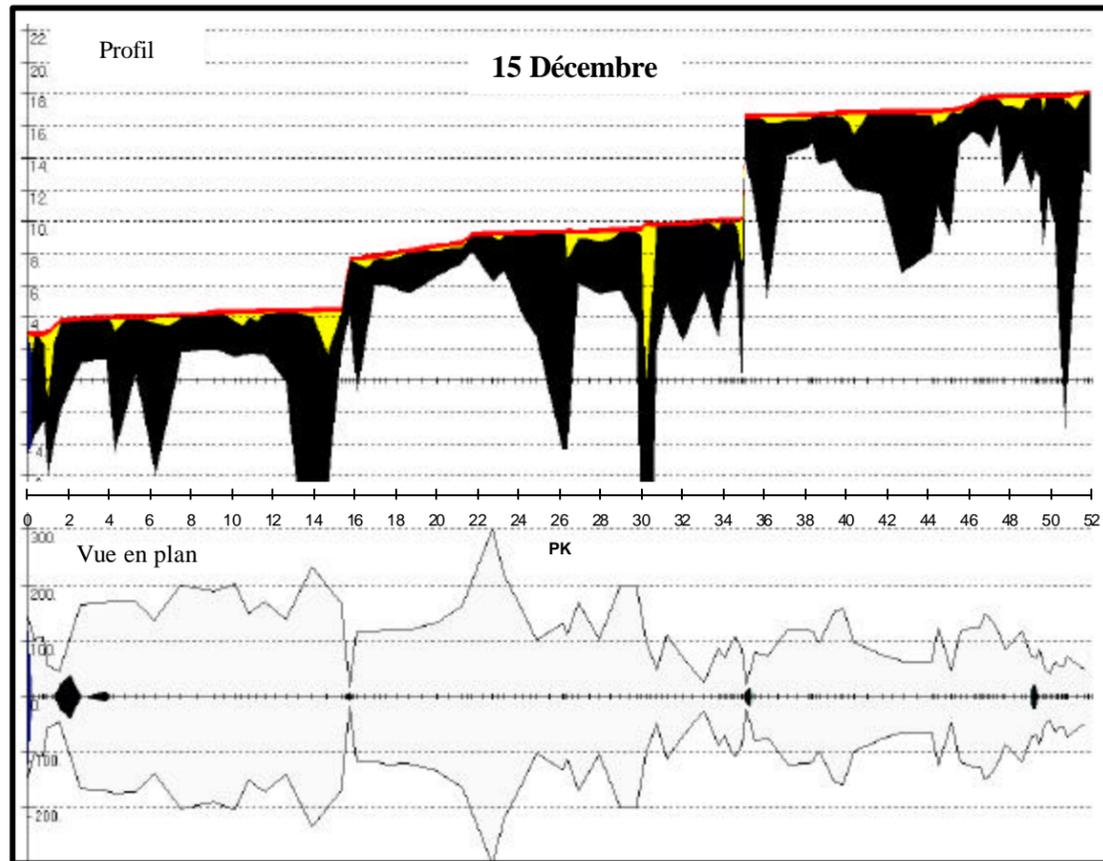


PROJET: **Projet du complexe de la Romaine
Étude du régime hydraulique
hiveral**

TITRE: **Conditions actuelles
Accessibilité du couvert de glace
au cours des 19 hivers**

FAIT PAR : W.T	REF. CLIENT : -	REF. LASALLE : 001-278
-------------------	--------------------	---------------------------

DATE: Août 2007	FIGURE : 5
------------------------	-------------------



Le Groupe Conseil LaSalle Inc.

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



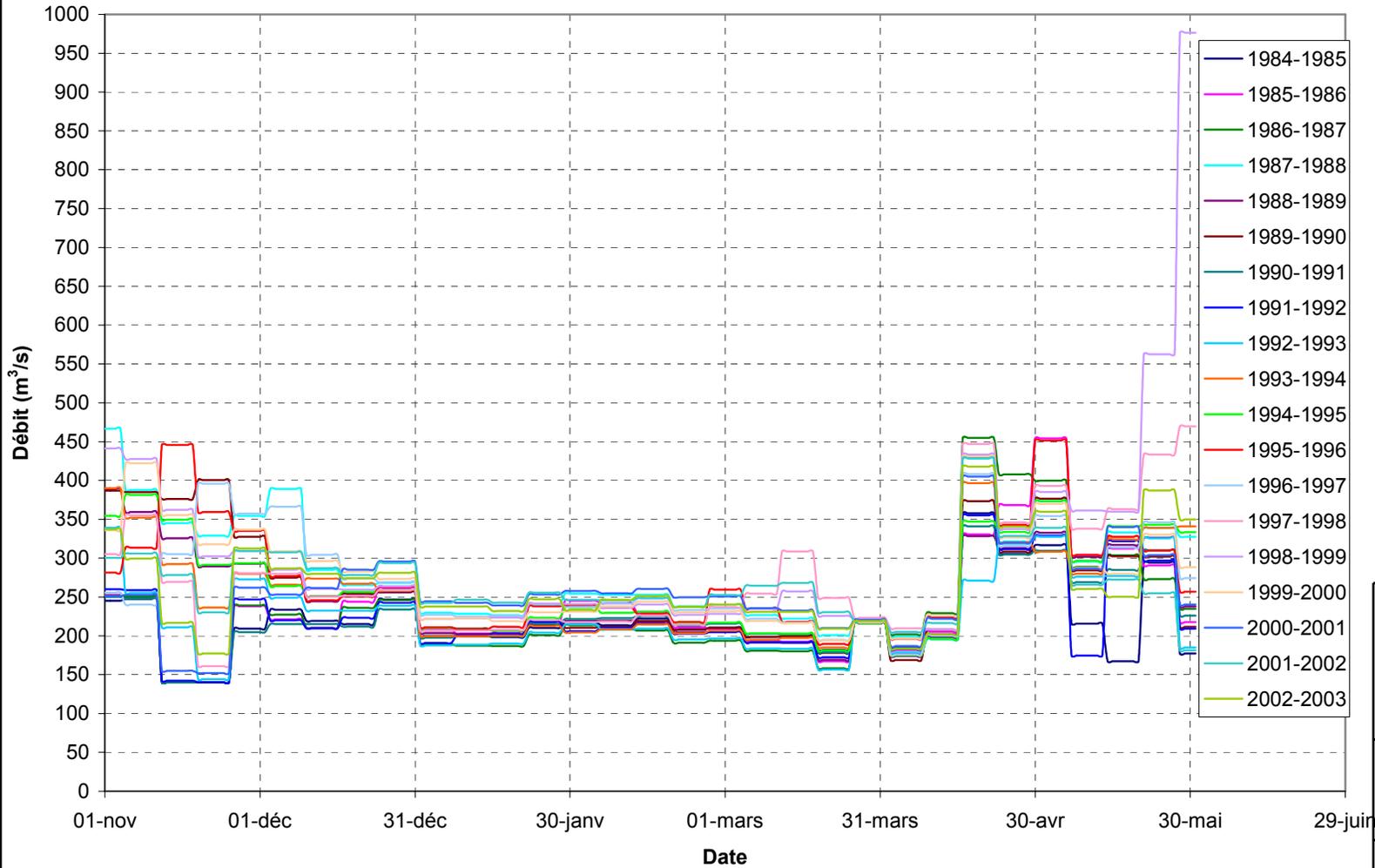
PROJET: **Projet du complexe de la Romaine**
Étude du régime hydraulique hivernal

TITRE: **Conditions actuelles**
Emprise du couvert de glace
pour l'hiver 1989-1990

FAIT PAR: W.T. REF. CLIENT: - REF. LASALLE: 001-278

DATE: Août 2007 FIGURE: **6**

Hydrogramme des 19 hivers en conditions futures



Le Groupe Conseil LaSalle Inc.



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



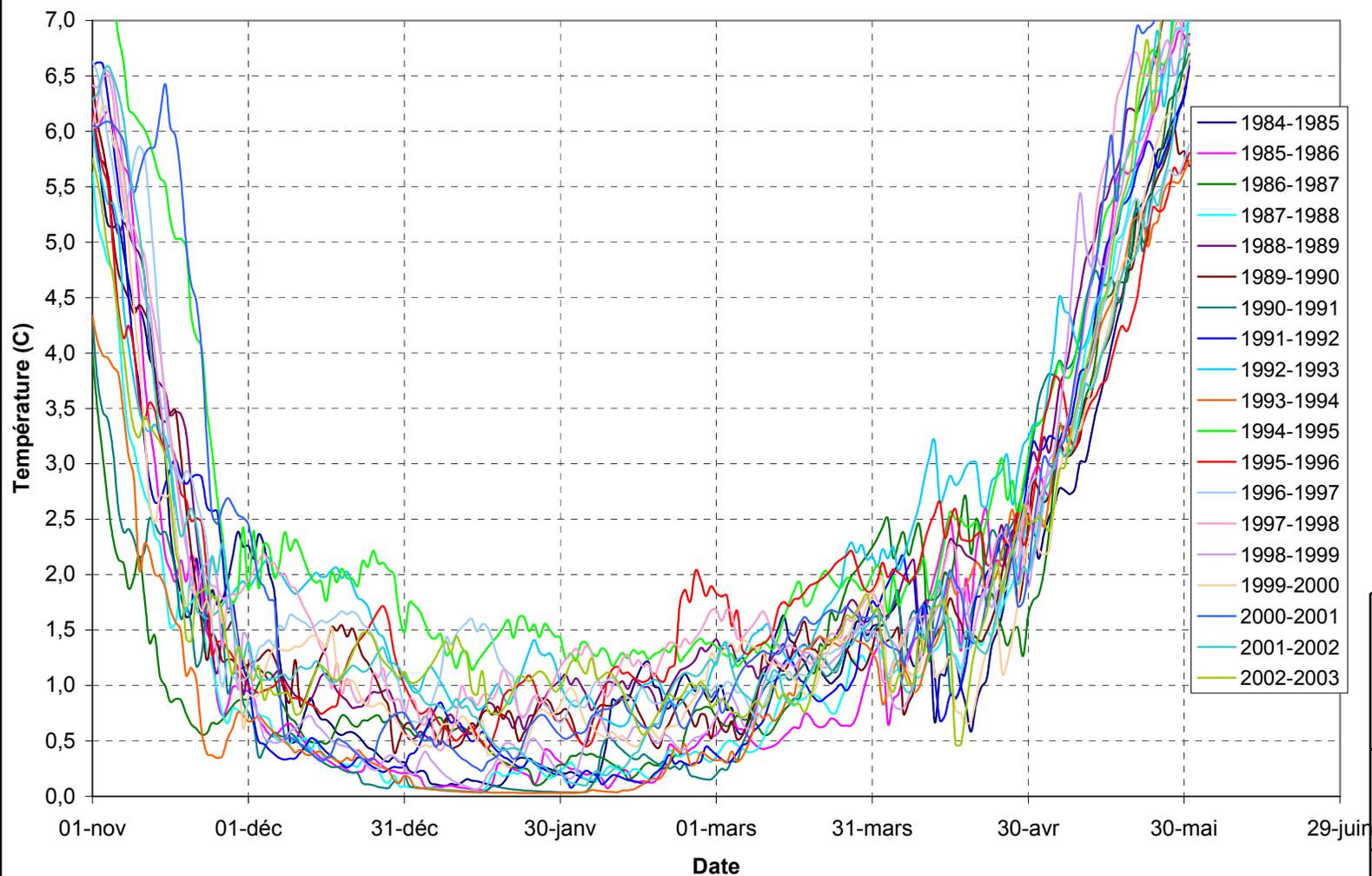
PROJET :
Projet du complexe de la Romaine
Étude du régime hydraulique
hivernal pour 19 hivers

TITRE : Conditions futures
avec les 4 aménagements
Débits de la rivière au PK-51,5
au cours des 19 hivers

DESSINÉ PAR : W.T	REF. CLIENT : -	REF. LASALLE : 001-278
----------------------	--------------------	---------------------------

ÉCHELLE : -	DATE : Août 2007	FIGURE : 7
----------------	---------------------	---------------

Température de l'eau pour les 19 hivers au PK-51,5 en conditions futures



Le Groupe Conseil LaSalle Inc.



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



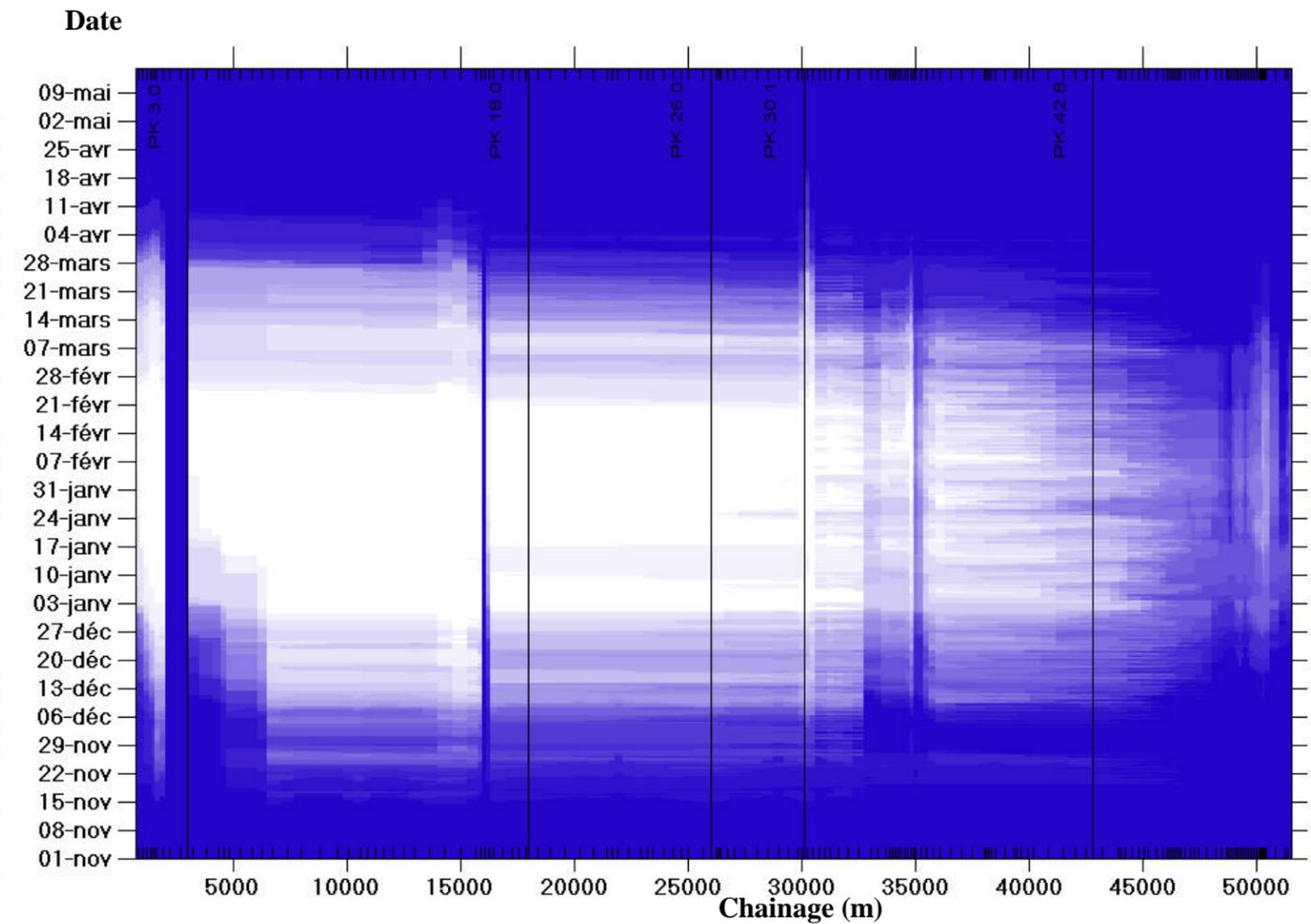
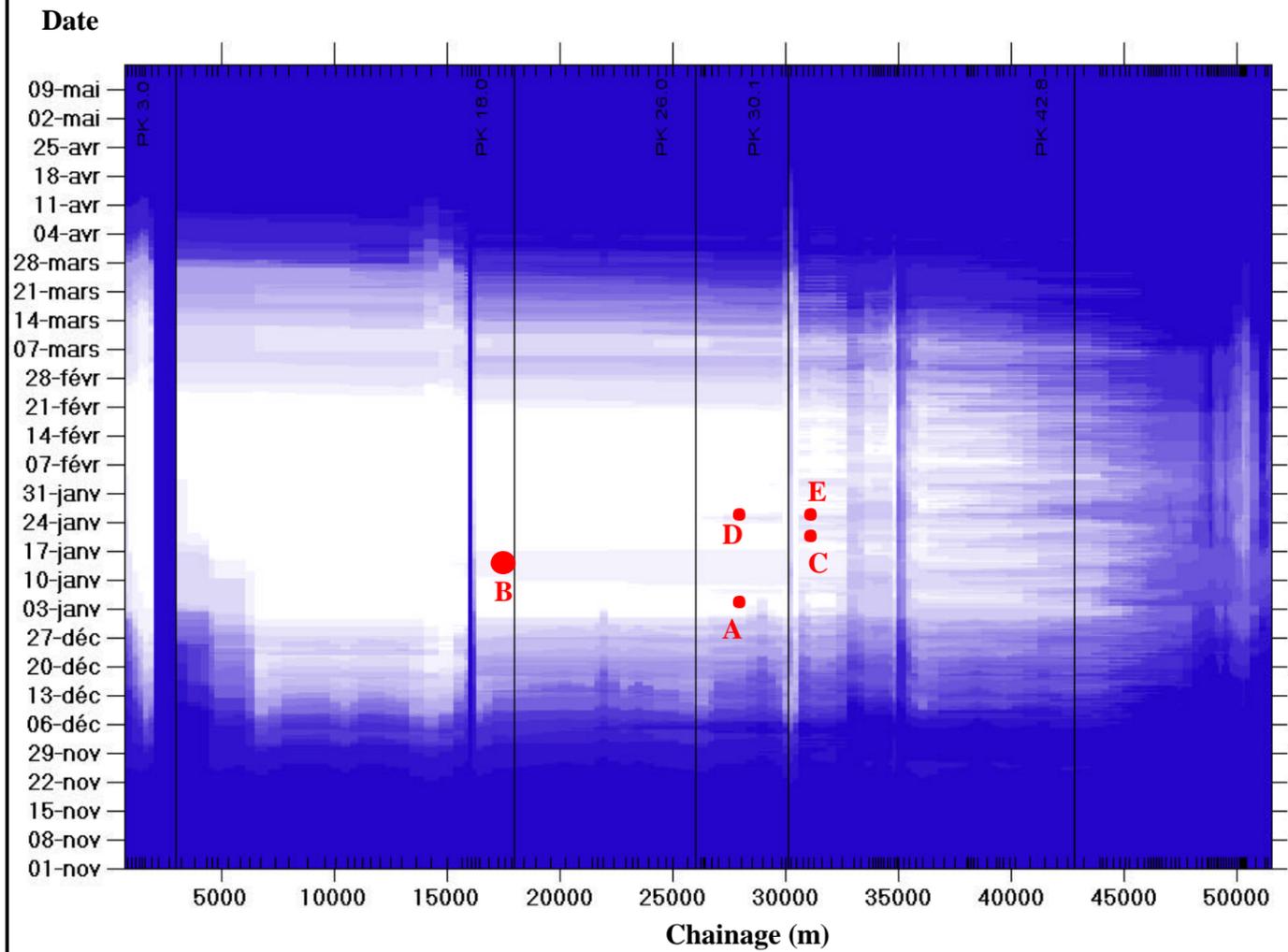
PROJET :
Projet du complexe de la Romaine
Étude du régime hydraulique
hivernal pour 19 hivers

TITRE : Conditions futures
avec les 4 aménagements
Températures de l'eau au PK-51,5
au cours des 19 hivers

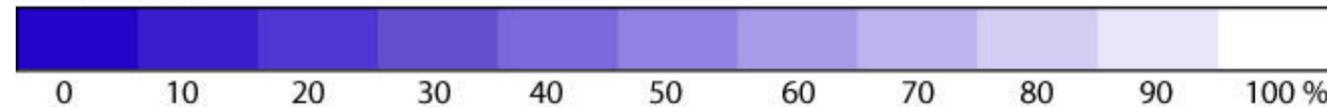
DESSINÉ PAR : W.T	REF. CLIENT : -	REF. LASALLE : 001-278
ÉCHELLE : -	DATE : Août 2007	FIGURE : 8

Épaisseur minimum pour l'accessibilité = 20cm

Épaisseur minimum pour l'accessibilité = 10cm



Accessibilité:



● Position du recul maximal du couvert de glace (interruption temporaire de l'accessibilité)

X Voir figure 10 pour identifier l'hiver

Le Groupe Conseil LaSalle Inc.

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



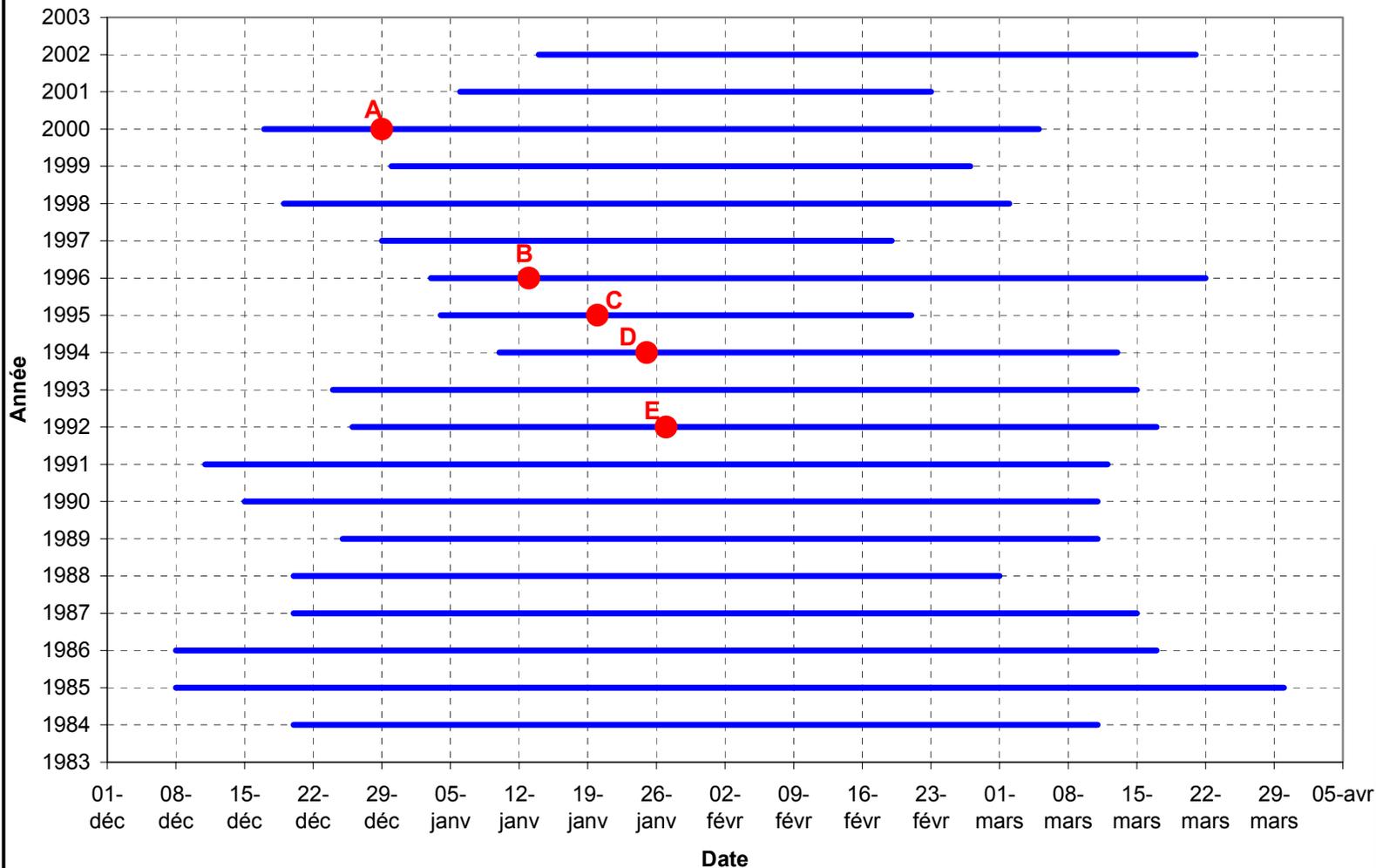
PROJET: Projet du complexe de la Romaine
Étude du régime hydraulique hivernal

TITRE: Conditions futures-4 aménagements
Accessibilité du couvert de glace au cours des 19 hivers

FAIT PAR: W.T. REF. CLIENT: - REF. LASALLE: 001-278

DATE: Août 2007 FIGURE: 9

Début et fin d'accessibilité pour les 19 hivers en conditions futures



- Interruption temporaire de l'accessibilité
- X Voir figure 9 pour identifier le point de recul maximal du bord frontal

Le Groupe Conseil LaSalle Inc.



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

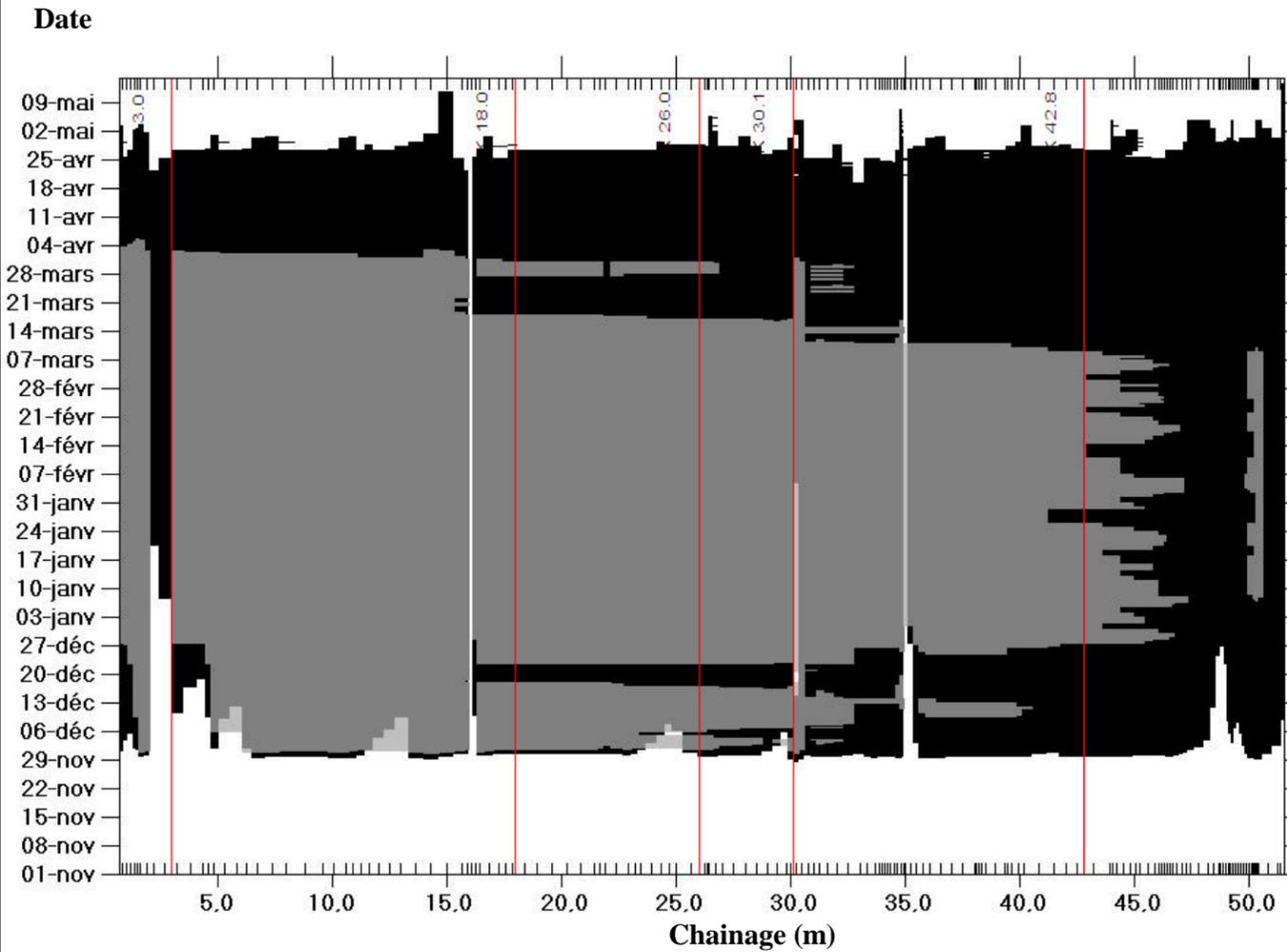


PROJET :
Projet du complexe de la Romaine
Étude du régime hydraulique
hivernal pour 19 hivers

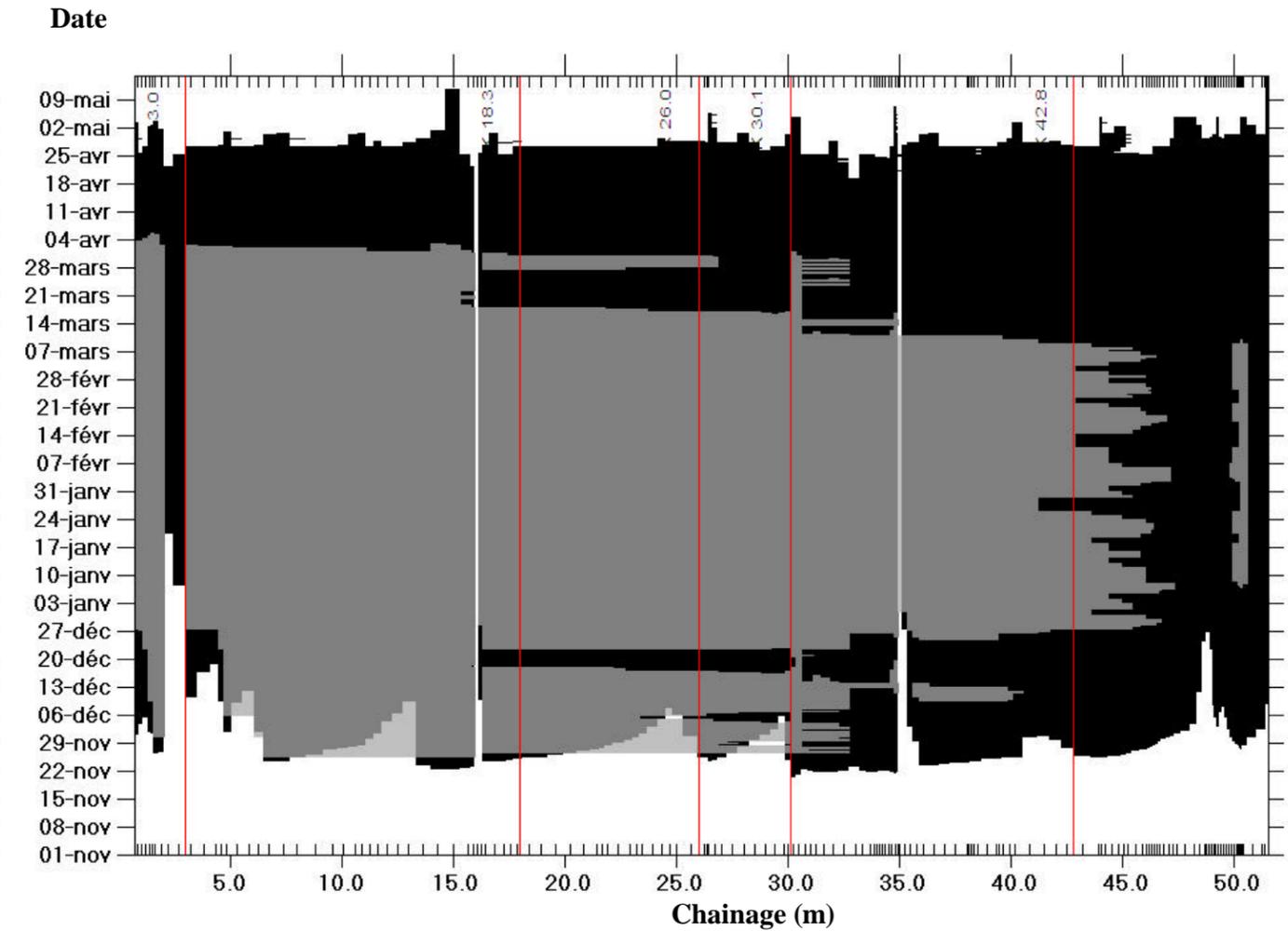
TITRE : Conditions futures
avec les 4 aménagements
Débits et fin d'accessibilité du tronçon
central pour les 19 hivers

DESSINÉ PAR : W.T	REF. CLIENT : -	REF. LASALLE : 001-278
ÉCHELLE : -	DATE : Août 2007	FIGURE : 10

Épaisseur minimum pour l'accessibilité = 20cm



Épaisseur minimum pour l'accessibilité = 10cm



- Possibilité de traverser en motoneige pour les conditions présentes
- Possibilité de traverser en motoneige pour les conditions présentes et futures
- Possibilité de traverser en motoneige pour les conditions futures

Le Groupe Conseil LaSalle Inc.

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

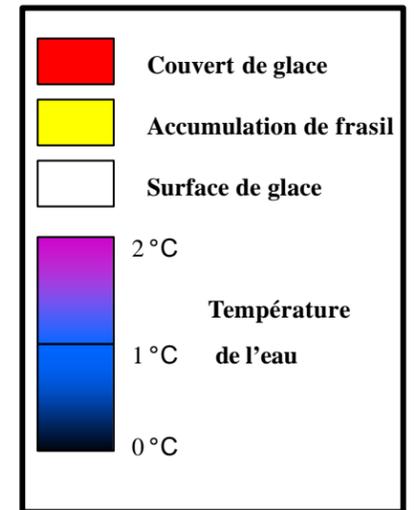
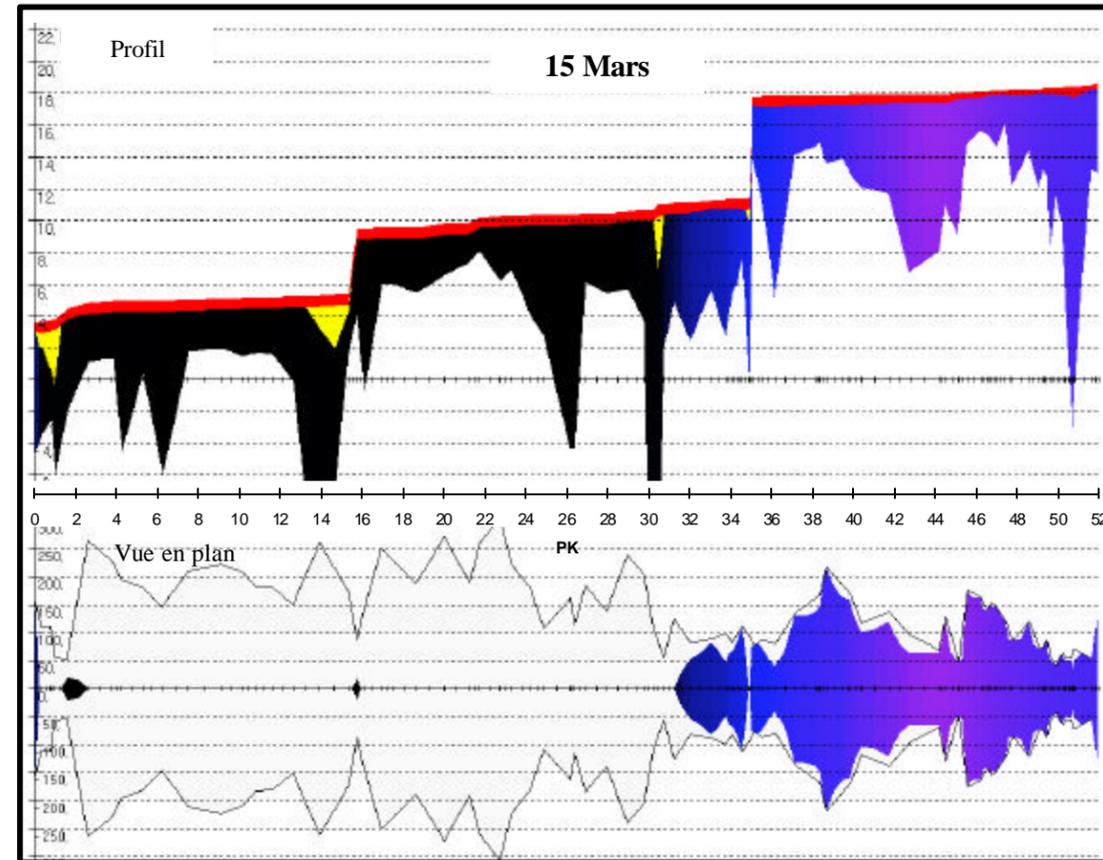
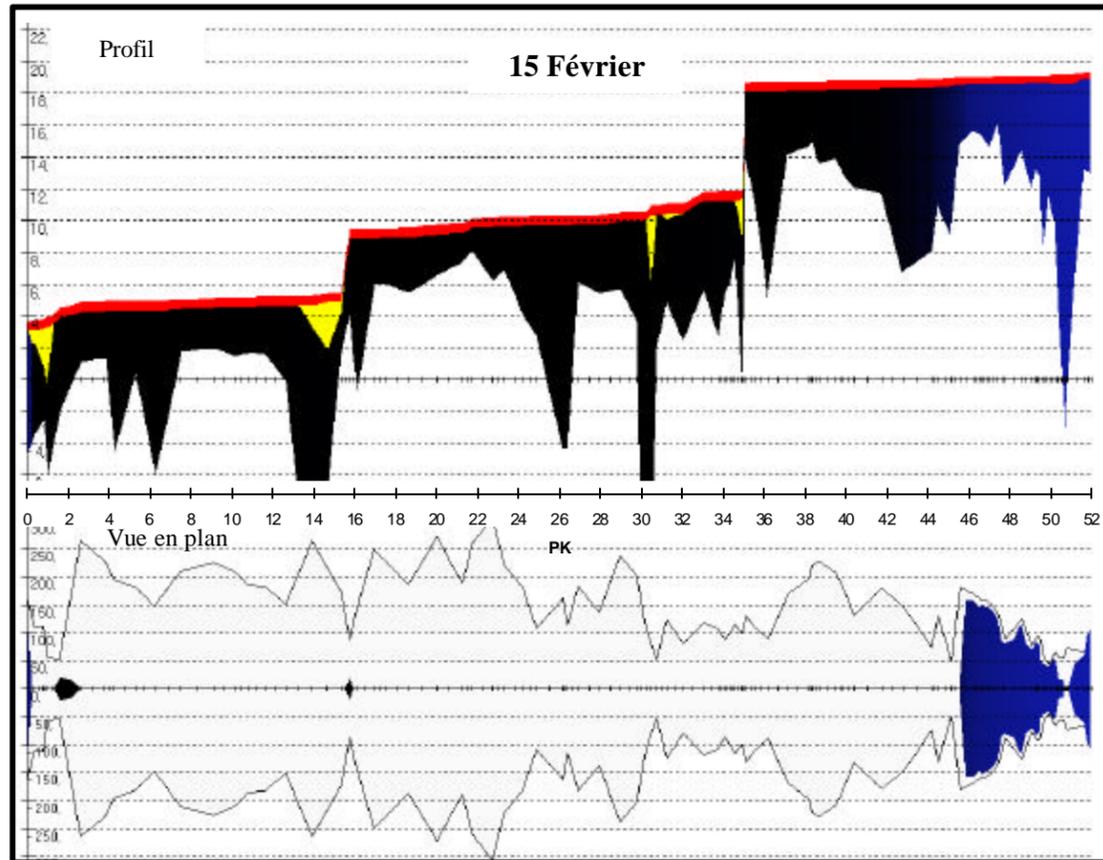
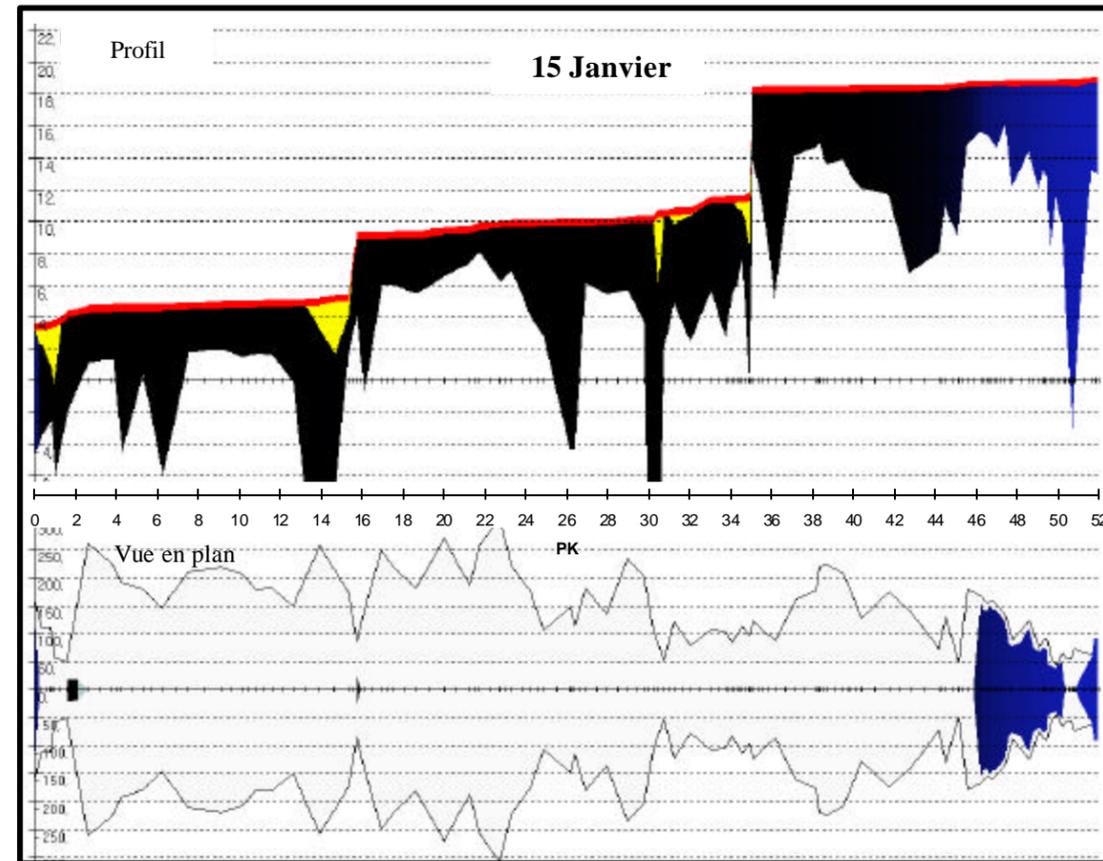
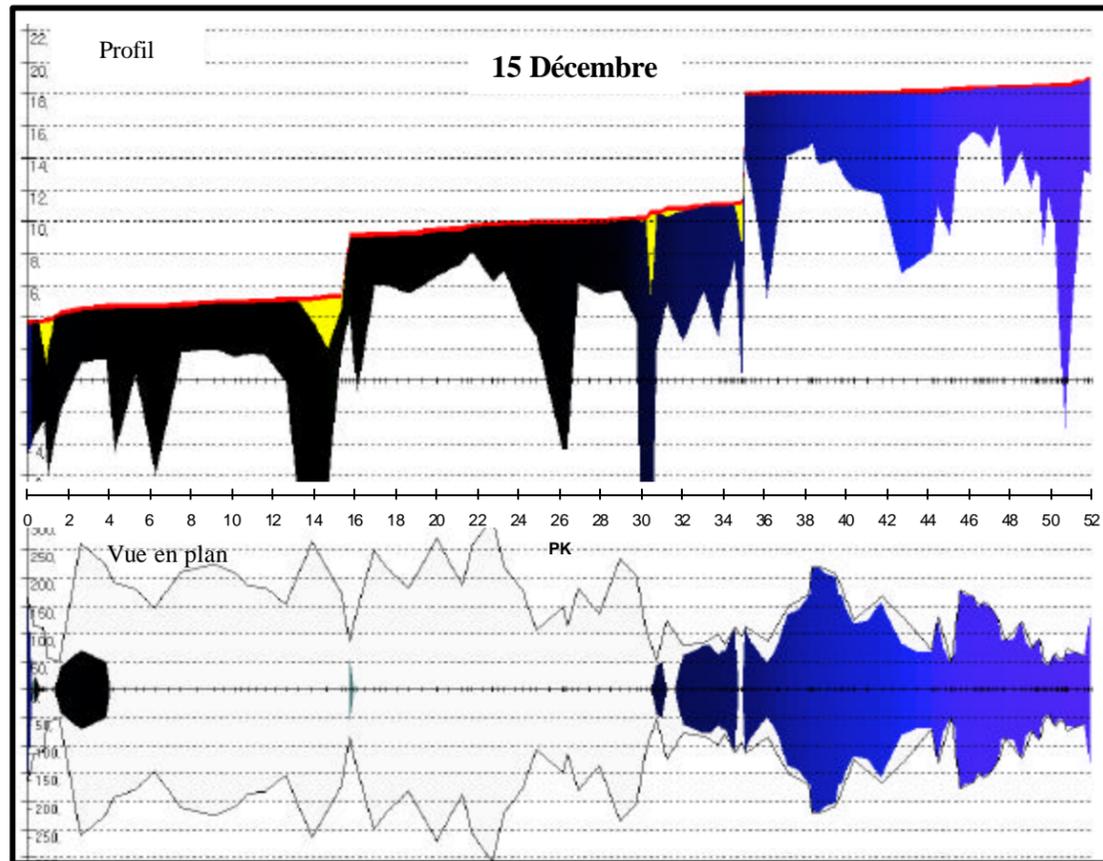


PROJET :
Projet du complexe de la Romaine
Étude du régime hydraulique
hivernal

TITRE :
Conditions futures avec les 4
aménagement - Accessibilité du couvert
de glace pour l'hiver 1989-1990

FAIT PAR : W.T	REF. CLIENT : -	REF. LASALLE : 001-278
-------------------	--------------------	---------------------------

DATE : Août 2007	FIGURE : 11
---------------------	----------------



Le Groupe Conseil LaSalle Inc.

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



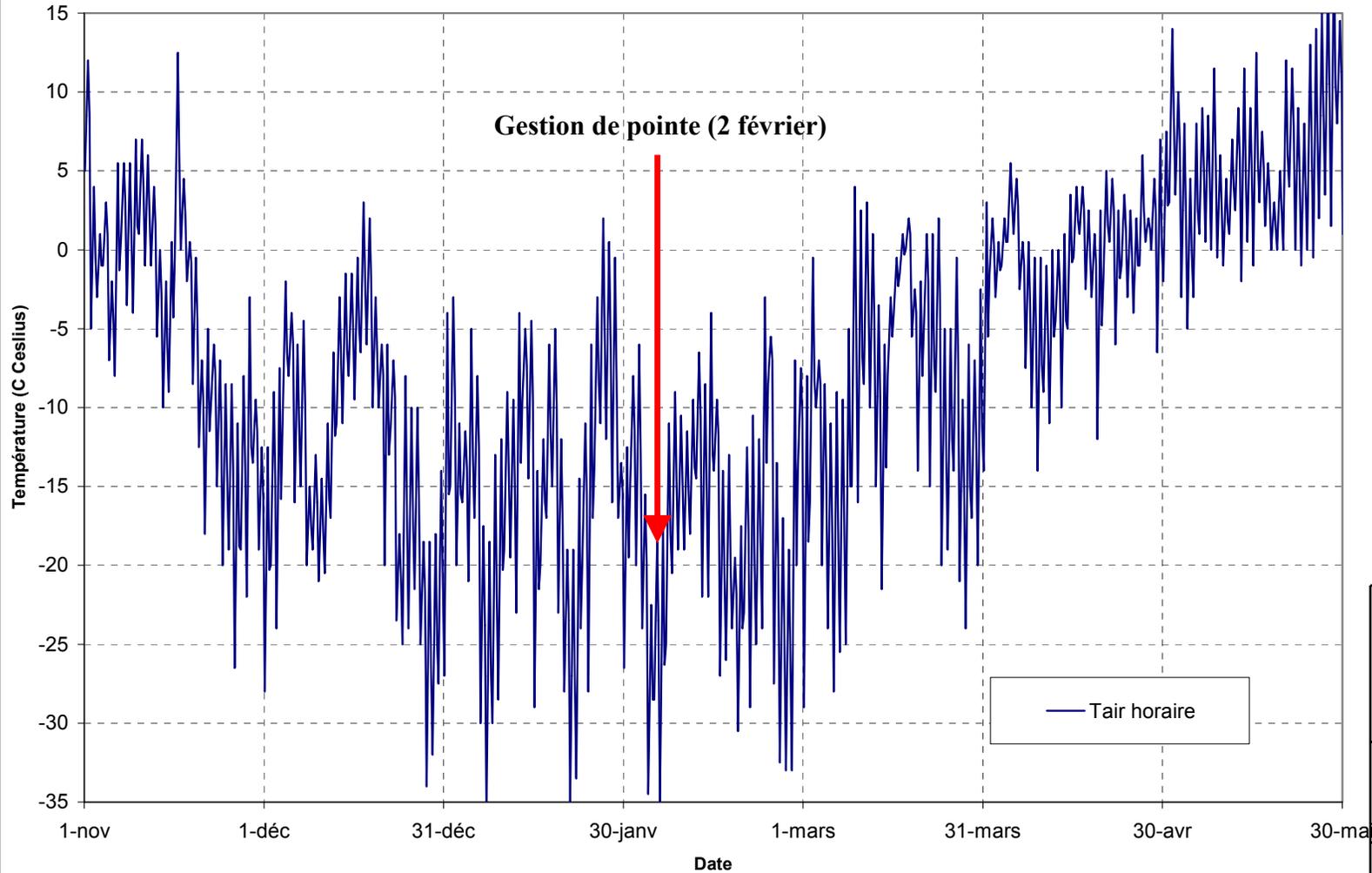
PROJET: **Projet du complexe de la Romaine**
Étude du régime hydraulique hivernal

TITRE: **Conditions futures**
avec les 4 aménagements
Emprise du couvert de glace
pour l'hiver 1989-1990

FAIT PAR: W.T. REF. CLIENT: - REF. LASALLE: 001-278

DATE: Août 2007 FIGURE: 12

Températures de l'air au cours de l'hiver 1989-1990



Le Groupe Conseil LaSalle Inc.



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



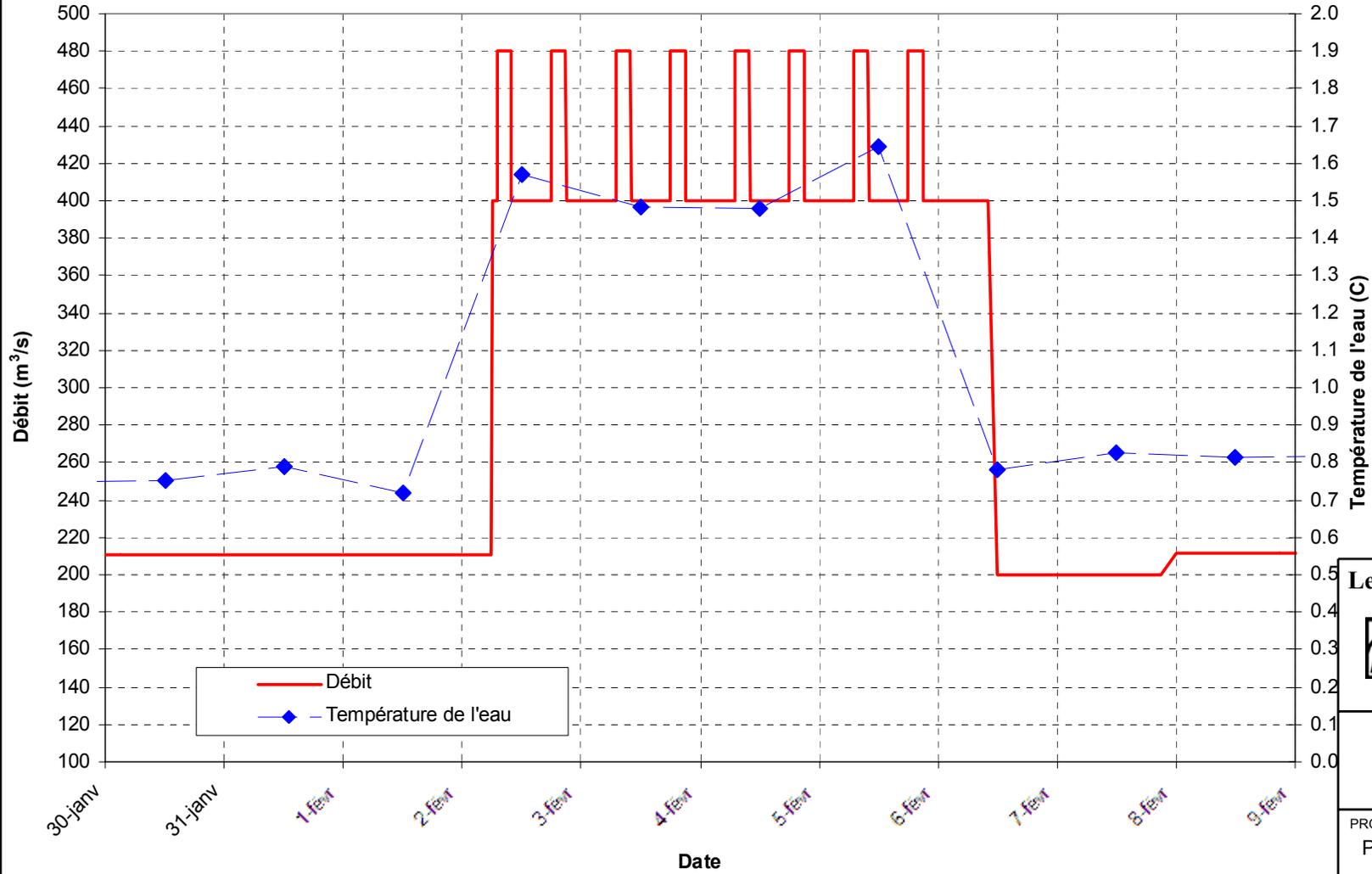
PROJET :
Projet du complexe de la Romaine
Étude du régime hydraulique
hivernal pour 19 hivers

TITRE : Conditions futures
avec les 4 aménagements
Températures de l'air
au cours de l'hiver 1989-1990

DESSINÉ PAR : W.T	REF. CLIENT : -	REF. LASALLE : 001-278
----------------------	--------------------	---------------------------

ÉCHELLE : -	DATE : Août 2007	FIGURE : 13
----------------	---------------------	----------------

Variations de débit et température de l'eau pour le scénario de gestion de pointe de l'hiver 1989-1990



Le Groupe Conseil LaSalle Inc.



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



PROJET :
Projet du complexe de la Romaine
Étude du régime hydraulique
hivernal pour 19 hivers

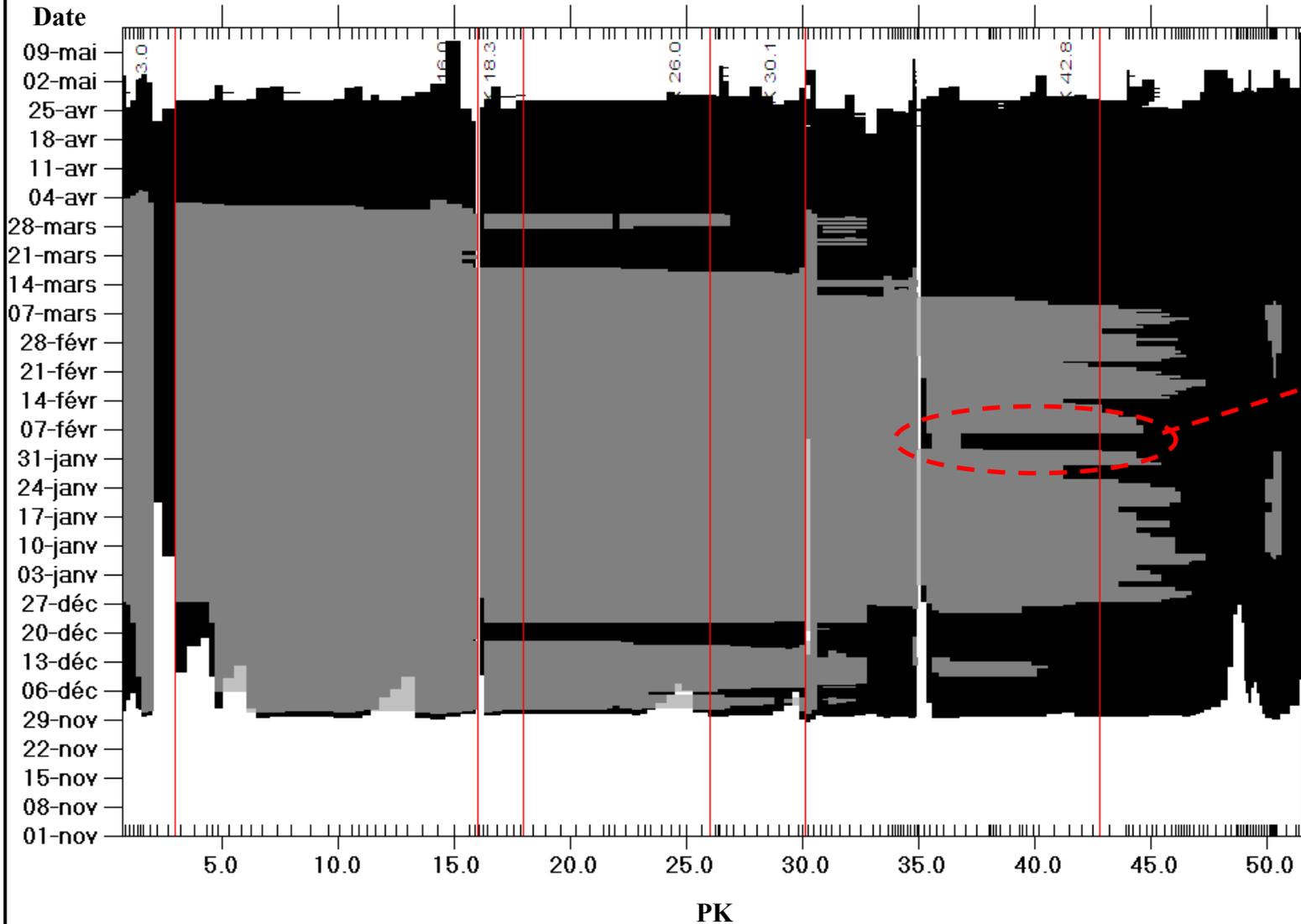
TITRE : Conditions futures
avec les 4 aménagements
Variations de débit et de la température
de l'eau au cours de la gestion de pointe

DESSINÉ PAR : W.T	REF. CLIENT : -	REF. LASALLE : 001-278
----------------------	--------------------	---------------------------

ÉCHELLE : -	DATE : Août 2007	FIGURE : 14
----------------	---------------------	----------------

Accessibilité du couvert de glace en conditions futures

Gestion de pointe du 2 février pendant l'hiver 1989-1990



Interruption temporaire de l'accessibilité à cause du recul du couvert de glace

- Possibilité de traverser en motoneige pour les conditions présentes
- Possibilité de traverser en motoneige pour les conditions présentes et futures
- Possibilité de traverser en motoneige pour les conditions futures

Le Groupe Conseil LaSalle Inc.



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



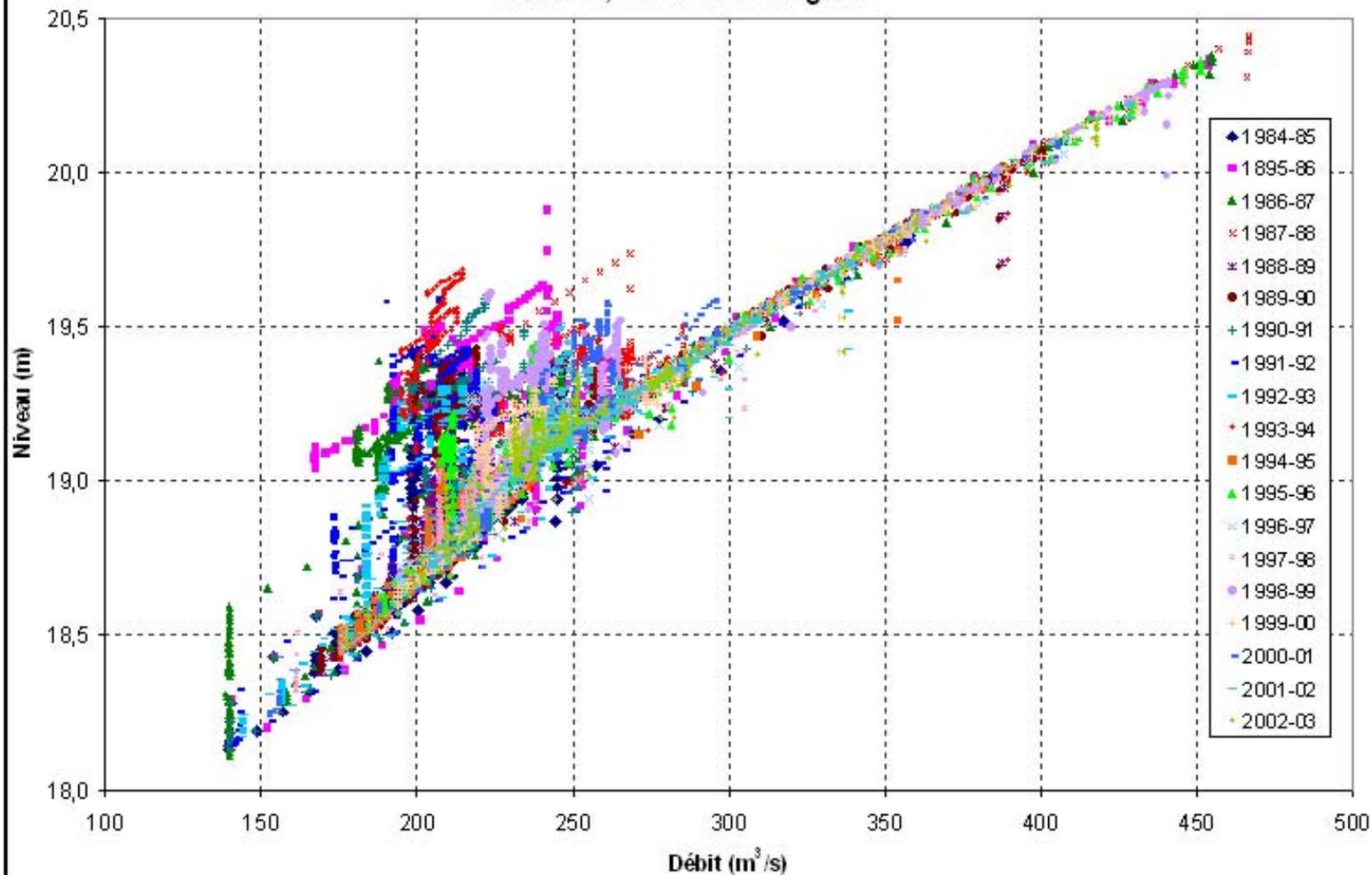
PROJET :
Projet du complexe de la Romaine
Étude du régime hydraulique
hivernal

TITRE : Conditions futures
avec les 4 aménagements
Accessibilité du couvert de glace
pendant la gestion de pointe

DESSINÉ PAR : W.T	REF. CLIENT : -	REF. LASALLE : 001-278
----------------------	--------------------	---------------------------

ÉCHELLE : -	DATE : Août 2007	FIGURE : 15
----------------	---------------------	----------------

**Niveaux d'eau à la sortie de la Romaine-1
au PK-51,5 avec effets de glace**



Le Groupe Conseil LaSalle Inc.



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

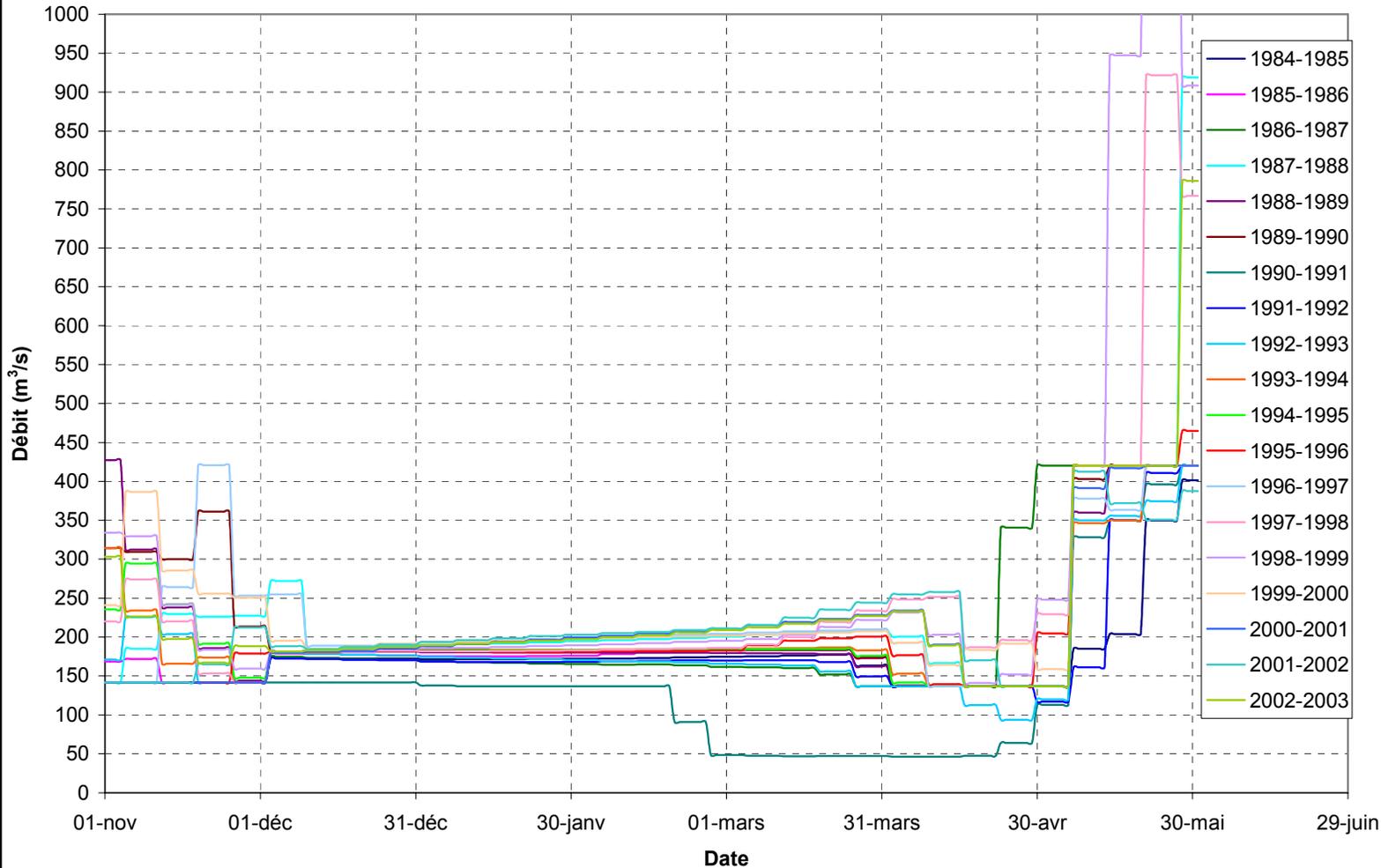


PROJET :
Projet du complexe de la Romaine
Étude du régime hydraulique
hivernal pour 19 hivers

TITRE : Conditions futures
avec les 4 aménagements
Niveaux d'eau à la sortie de la
Romaine-1 pour les 19 hivers

DESSINE PAR : W.T	REF. CLIENT : -	REF. LASALLE : 001-278
ECHELLE : -	DATE : Août 2007	FIGURE : 16

Hydrogramme des 19 hivers en conditions futures (Romaine-2 seule)



Le Groupe Conseil LaSalle Inc.



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



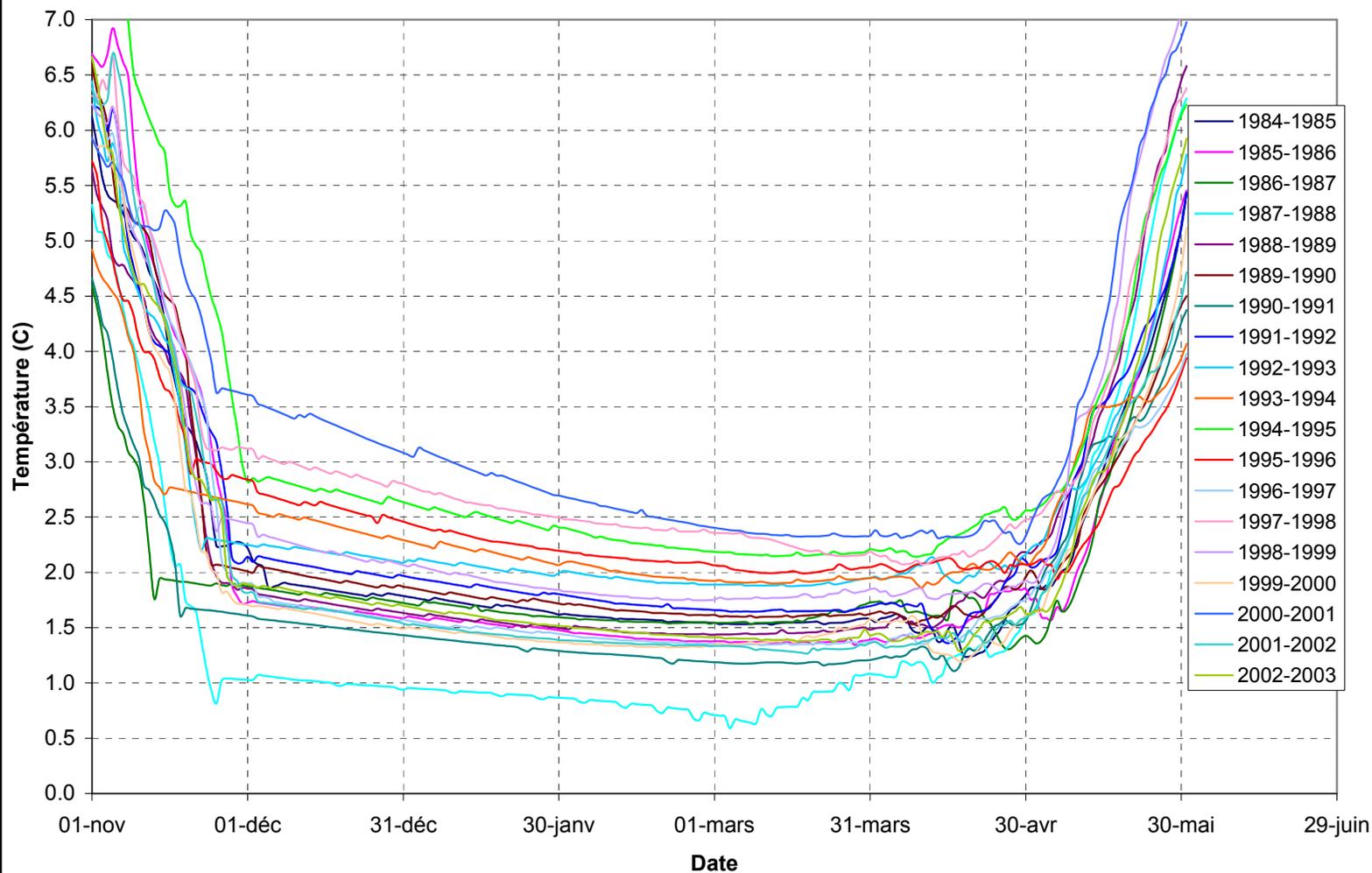
PROJET :
Projet du complexe de la Romaine
Étude du régime hydraulique
hivernal pour 19 hivers

TITRE : Conditions futures
avec Romaine-2 seule
Débits de la rivière au PK-51,5
au cours des 19 hivers

DESSINÉ PAR : W.T	REF. CLIENT : -	REF. LASALLE : 001-278
----------------------	--------------------	---------------------------

ÉCHELLE : -	DATE : Août 2007	FIGURE : 17
----------------	---------------------	----------------

Température de l'eau pour les 19 hivers au PK-84 en conditions futures (Romaine-2 seule)



Le Groupe Conseil LaSalle Inc.
 9620, rue Saint-Patrick
 LaSalle, Québec
 Canada, H8R 1R8



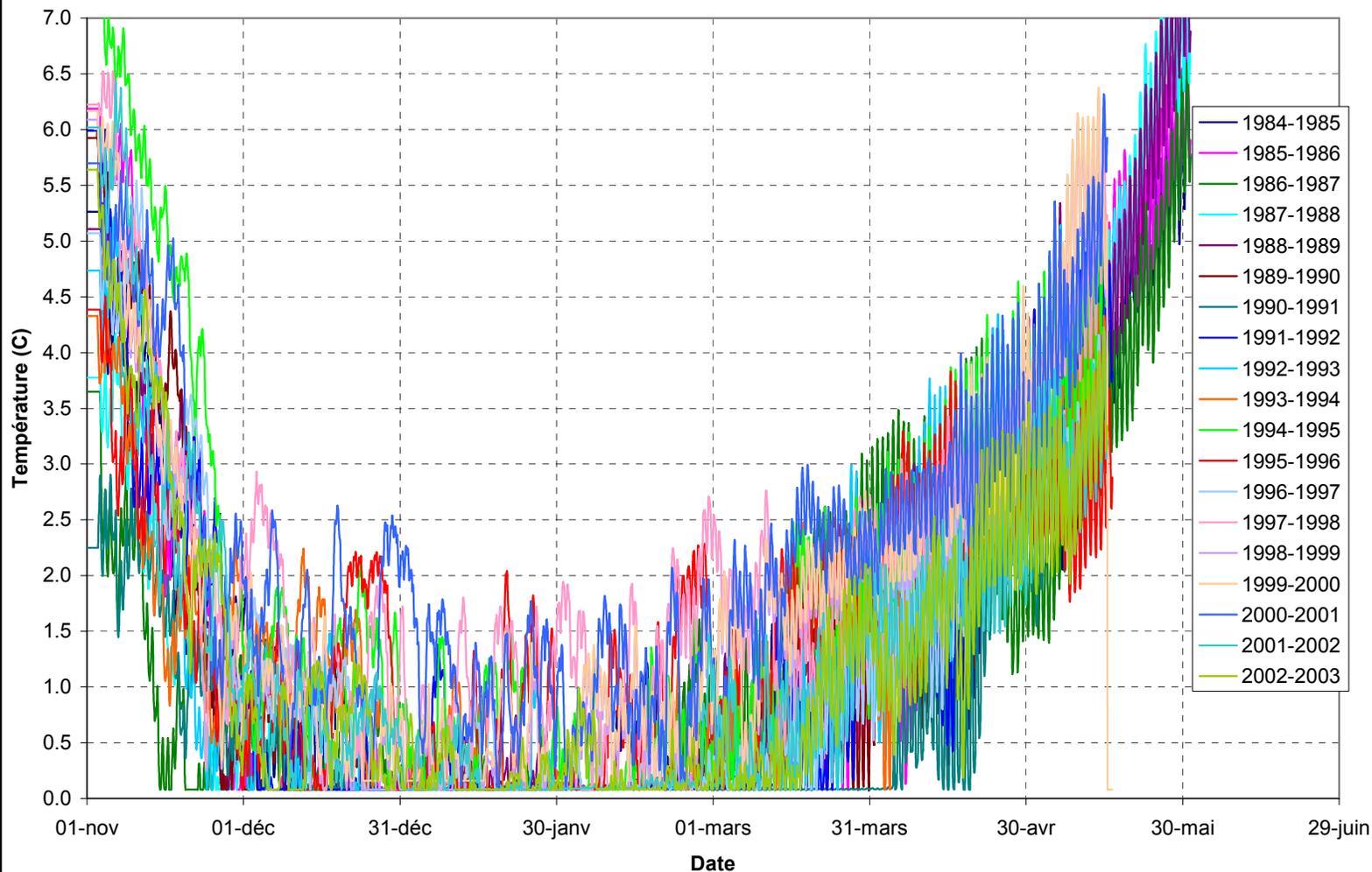
Hydro Québec

PROJET :
 Projet du complexe de la Romaine
 Étude du régime hydraulique
 hivernal pour 19 hivers

TITRE : Conditions futures
 avec Romaine-2 seule
 Températures de l'eau au PK-84
 au cours des 19 hivers

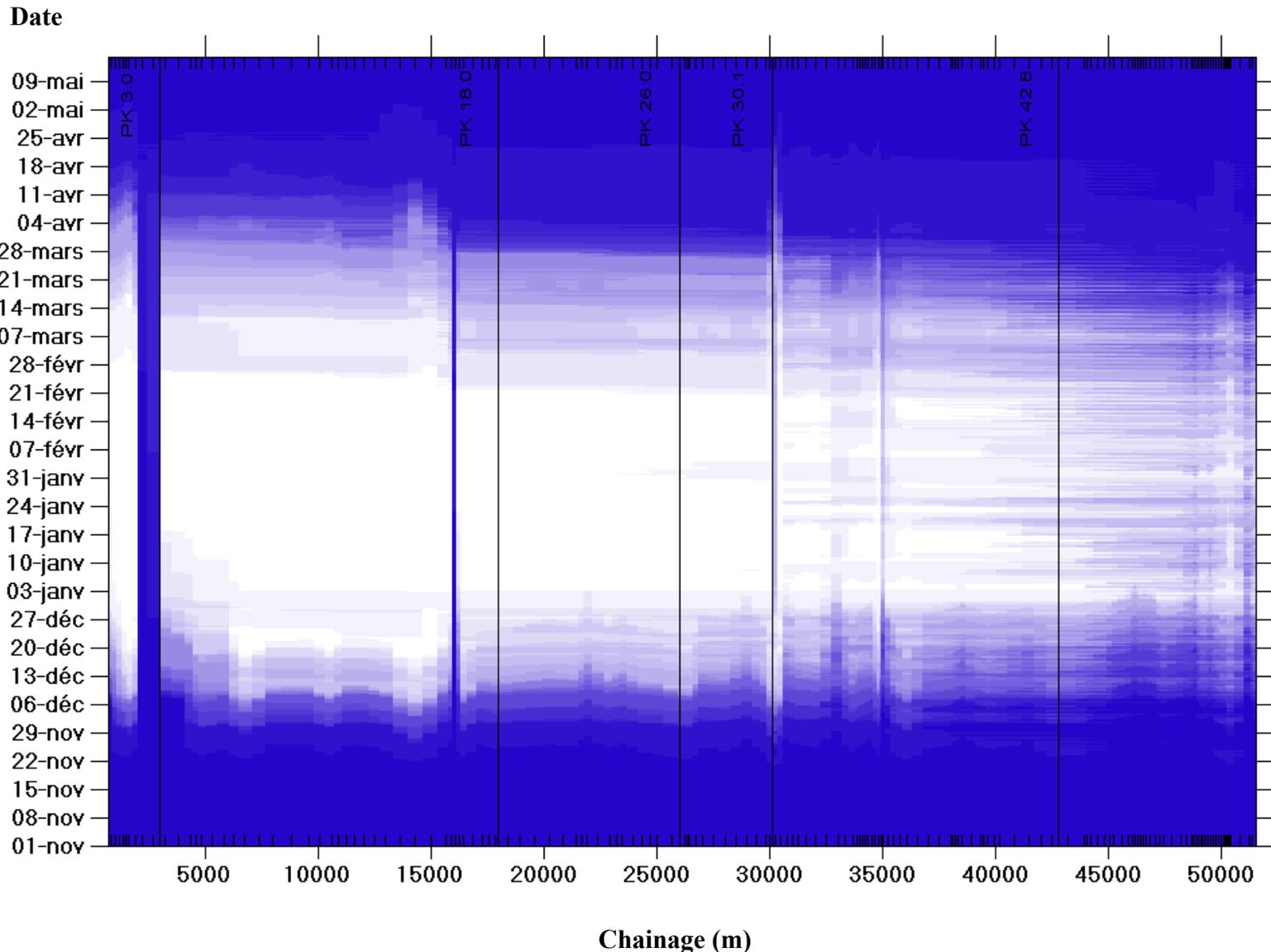
DESSINÉ PAR : W.T	REF. CLIENT : -	REF. LASALLE : 001-278
ÉCHELLE : -	DATE : Août 2007	FIGURE : 18

Température de l'eau pour les 19 hivers au PK-51,5 en conditions futures (Romaine-2 seule)

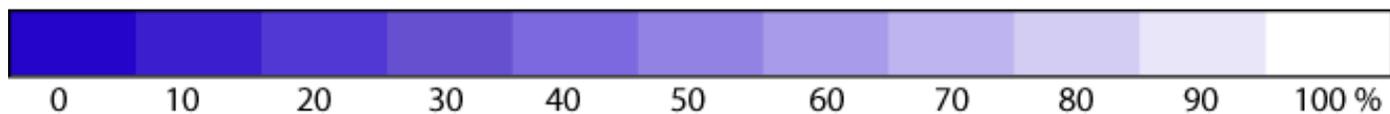


Le Groupe Conseil LaSalle Inc.		
	9620, rue Saint-Patrick LaSalle, Québec Canada, H8R 1R8	
		
PROJET : Projet du complexe de la Romaine Étude du régime hydraulique hivernal pour 19 hivers		
TITRE : Conditions futures avec Romaine-2 seule Températures de l'eau au PK-51,5 au cours des 19 hivers		
DESSINÉ PAR : W.T	REF. CLIENT : -	REF. LASALLE : 001-278
ÉCHELLE : -	DATE : Août 2007	FIGURE : 19

Accessibilité du couvert de glace en conditions futures pour les 19 hivers



Accessibilité:



Le Groupe Conseil LaSalle Inc.



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



PROJET :
Projet du complexe de la Romaine
Étude du régime hydraulique
hivernal pour 19 hivers

TITRE : Conditions futures
avec Romaine-2 seule
Accessibilité du couvert de glace
au cours des 19 hivers

DESSINÉ PAR : W.T	REF. CLIENT : -	REF. LASALLE : 001-278
ÉCHELLE : -	DATE : Août 2007	FIGURE : 20