

3605524E



**Environnement
Canada**

Région du Québec

**Environment
Canada**

Quebec Region



**Gouvernement du Québec
Ministère de la Sécurité publique
Direction générale de la sécurité civile**

TC

S30

T41

Rapport 3

**Étude de modélisation du bassin
versant de la rivière Chaudière**

Rapport d'étape n° 3

Solutions aux inondations avec glace

Avril 1994



TECSULT

TecSult Inc.

experts-conseils / consultants

85, RUE STE-CATHERINE OUEST, MONTRÉAL (QUÉBEC) CANADA

Ce rapport a été préparé par les professionnels et le personnel technique du Groupe TECSULT dont les noms apparaissent ci-dessous:

- **Pierre R. Tremblay, ingénieur - Directeur de projet**
- **Ronald Anderson, ingénieur**
- **Joseph Chelico, ingénieur**
- **André Guala, ingénieur**
- **Sylvester Petryk, ingénieur**
- **Anne Battaglia, technicienne**
- **Gilles Papillon, technicien**
- **Anick Beauchamps, dessinatrice**
- **François Moisan, dessinateur**
- **Lucie Thériault, dessinatrice**
- **Renée Dalcourt, secrétaire**

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES ABRÉVIATIONS

1.0	INTRODUCTION	1-1
1.1	Mandat et objectifs de l'étude	1-1
1.2	Zone d'étude	1-1
1.3	Contenu du rapport	1-2
2.0	DESCRIPTION DES CONDITIONS DE FORMATION D'EMBÂCLE	2-1
2.1	Données et observations sur les couverts de glace	2-1
2.1.1	Études antérieures	2-1
2.1.2	Identification des zones d'embâcles	2-2
2.1.3	Zones d'embâcle problématiques	2-16
2.2	Critères généraux de conception des solutions	2-17
2.3	Principes des solutions	2-17
3.0	SOLUTION DE PROFILAGE DU CHENAL EN AVAL DE BEAUCEVILLE ET DE RÉTENTION DE LA GLACE SUR LE BRAS SAINT-VICTOR	3-1
3.1	Description de la solution	3-1
3.2	Données de base et critères de conception	3-2
3.2.1	Données utilisées	3-2
3.2.2	Critères de conception et hypothèses de calculs	3-5
3.3	Méthodes de calculs	3-7
3.4	Résultats d'analyse	3-10
3.5	Conception des travaux de profilage de la rivière	3-12

TABLE DES MATIÈRES (suite)

3.6	Conception des ouvrages de rétention des glaces sur la rivière Saint-Victor	3-13
3.7	Répercussions sur l'environnement	3-14
3.7.1	Description du milieu	3-15
3.7.2	Identification des impacts reliés à la construction, à la présence et à l'utilisation des ouvrages	3-18
3.8	Coût de la solution	3-22
4.0	SOLUTION PAR BARRAGE DE RÉTENTION DE LA GLACE EN AMONT DE BEUCEVILLE	4-1
4.1	Description de la solution	4-1
4.2	Données, critères et hypothèses de calculs	4-2
4.2.1	Données utilisées	4-2
4.2.2	Critères de conception et hypothèses de calculs	4-4
4.3	Méthodes de calculs hydrauliques	4-7
4.4	Description de l'aménagement	4-8
4.5	Mode de fonctionnement des ouvrages	4-10
4.6	Analyse des conditions de glace avec le barrage	4-12
4.7	Répercussions sur l'environnement	4-14
4.7.1	Description du milieu	4-14
4.7.2	Identification des impacts reliés à la construction, à la présence et à l'utilisation des ouvrages	4-17
4.8	Coûts de la solution	4-20
5.0	ÉLÉMENTS À CONSIDÉRER POUR LA CONCEPTION FINALE DE LA SOLUTION RETENUE	5-1

TABLE DES MATIÈRES (suite)

6.0	EFFETS DES SOLUTIONS AUX INONDATIONS EN EAU LIBRE SUR LES CONDITIONS DE GLACE	6-1
6.1	Solutions d'excavation	6-1
6.2	Solutions par endiguement et imperméabilisation	6-1
6.3	Solutions par barrage-réservoir	6-2

Annexe A Photographies

Annexe B Relevés bathymétriques au droit du batardeau au km 59,0

Annexe C Glossaire et terminologie de la glace

LISTE DES TABLEAUX

- 3.1 Bordereau des quantités et des coûts de construction, excavation et remblayage entre le Rocher et Beauceville**
- 3.2 Bordereau des quantités et des coûts de construction, ouvrages de rétention des glaces sur la rivière Bras Saint-Victor**
- 4.1 Fréquence des débits de crues à Beauceville**
- 4.2 Bordereau des quantités et des coûts de construction - Barrage de rétention de la glace à Beauceville**

LISTE DES FIGURES

- 2.1** Rivière Chaudière - Plan de localisation des tronçons avec embâcles
- 3.1** Étude de profilage du chenal en aval de Beauceville, profils d'écoulement en eau libre avec et sans remblayage, débit = 800 m³/s
- 3.2** Étude de profilage du chenal en aval de Beauceville - Hydrogrammes des niveaux d'eau de la crue de 1993 mesurés dans les villes entre Scott Junction et Beauceville
- 3.3-P** Solution aux inondations avec embâcles à Beauceville par profilage du fond et des berges du km 56,0 au km 60,5 - Vue en plan, profil en long et coupes (feuillet 1 de 2)
- 3.4-P** Solution aux inondations avec embâcles à Beauceville par profilage du fond et des berges du km 56,0 au km 60,5 - Vue en plan, profil en long et coupes (feuillet 2 de 2)
- 3.5-P** Ouvrages de rétention des glaces sur la rivière Bras Saint-Victor - Vue en plan et coupe
- 3.6** Diagramme adimensionnel de stabilité des couverts de glace
- 3.7** Étude de profilage du chenal en aval de Beauceville - Conditions en eau libre, vitesse d'écoulement et pente d'énergie, débit = 800 m³/s
- 3.8** Étude de profilage du chenal en aval de Beauceville - Niveau d'eau avec un couvert de 1 m d'épaisseur, débit = 800 m³/s
- 3.9** Étude de profilage du chenal en aval de Beauceville - Conditions hydrauliques et de stabilité d'un couvert de glace de 1 m d'épaisseur à l'amont du km 56,0, débit = 800 m³/s
- 3.10** Étude de profilage du chenal en aval de Beauceville - Conditions hydrauliques et de stabilité d'un couvert de glace de 1 m d'épaisseur à l'amont du km 57,53, débit = 800 m³/s
- 3.11** Étude de profilage du chenal en aval de Beauceville - Conditions hydrauliques et de stabilité d'un couvert de glace de 1 m d'épaisseur à l'amont du km 58,92, débit = 800 m³/s

LISTE DES FIGURES (suite)

- 3.12 Étude de profilage du chenal en aval de Beauceville - Conditions hydrauliques et de stabilité d'un couvert de glace de 1 m d'épaisseur à l'amont du km 59,57, débit = 800 m³/s
- 3.13 Étude de profilage du chenal en aval de Beauceville - Conditions hydrauliques et de stabilité d'un couvert de glace de 1 m d'épaisseur à l'amont du km 61,05, débit - 800 m³/s
- 4.1-1 Barrage de rétention de la glace à Beauceville - Plans et coupes
- 4.1-2 Barrage de rétention de la glace à Beauceville - Coupes
- 4.2 Étude du barrage de rétention de la glace à Beauceville - Fonctionnement du barrage de rétention de la glace au km 63,110 - Relations débits-niveaux
- 4.3 Étude du barrage de rétention de la glace à Beauceville - Profils du niveau d'eau et du couvert de glace - Embâcle concentré, $d_{50} = 1,50$ m, $Q = 1\ 000$ m³/s
- 4.4 Étude du barrage de rétention de la glace à Beauceville - Conditions hydrauliques et de stabilité du couvert de glace - Embâcle concentré, $d_{50} = 1,50$ m, $Q = 1\ 000$ m³/s
- 4.5 Étude du barrage de rétention de la glace à Beauceville - Profils du niveau d'eau et du couvert de glace - Embâcle étendu, $d_{50} = 0,75$ m, $Q = 1\ 400$ m³/s
- 4.6 Étude du barrage de rétention de la glace à Beauceville - Conditions hydrauliques et de stabilité du couvert de glace - Embâcle étendu, $d_{50} = 0,75$ m, $Q = 1\ 400$ m³/s
- 4.7 Étude du barrage de rétention de la glace à Beauceville - Relations débits-niveaux - Station MENVIQ 023426, Notre-Dame-des-Pins et Saint-Georges avec le barrage à Beauceville
- 4.8 Étude du barrage de rétention de la glace à Beauceville - Propriétés et infrastructures touchées par le rehaussement du niveau d'eau dans le bief amont du barrage

LISTE DES ABRÉVIATIONS

MENVIQ : Ministère de l'Environnement du Québec

MRN : Ministère des Richesses Naturelles du Québec

MLCP : Ministère des Loisirs, de la Chasse et de la pêche du Québec

DGSC : Direction Générale de la Sécurité Civile du Ministère de la Sécurité Publique

MAPAQ : Ministère de l'Agriculture, des Pêches et de l'Alimentation du Québec

1.0 INTRODUCTION

1.1 Mandat et objectifs de l'étude

L'étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière a été divisée en trois parties, tel que précisé dans les termes de référence :

- partie 1 : étude des effets du développement anthropique sur le comportement de la rivière ;
- partie 2 : étude des solutions aux inondations en eau libre ;
- partie 3 : étude des solutions aux inondations avec glace.

Après avoir présenté dans le rapport d'étape 2 les résultats de l'analyse des caractéristiques hydrauliques de la rivière en eau libre et les solutions aux inondations qui se produisent sous ces conditions, ce rapport décrit l'analyse des conditions de glace et les solutions élaborées pour éliminer les inondations dues aux embâcles.

Cette troisième partie de l'étude vise donc les objectifs suivants :

- identifier les zones d'embâcles ;
- suggérer des interventions qui pourraient minimiser la possibilité de formation d'embâcle ;
- évaluer les impacts en amont et en aval des interventions proposées.

1.2 Zone d'étude

La zone d'étude générale s'étend de Scott Jonction jusqu'à Saint-Georges. La zone d'étude des solutions pour les inondations avec embâcles a été limitée au tronçon compris entre l'embouchure de la rivière Bras Saint-Victor et Beauceville, une fois que les zones d'embâcles majeures ont été définies grâce aux informations recueillies lors de la crue de 1991 (réf. 1 et 2). En effet, sur ce tronçon de rivière, les inondations sont le plus souvent causées par des embâcles de glace.

La zone d'étude pour la modélisation hydraulique des conditions d'écoulement avec couvert de glace a toutefois été étendue de Saint-Joseph en aval (km 45), jusqu'à Notre-Dame-des-Pins en amont (km 68). La position des points d'intérêts le long de la rivière Chaudière est toujours indiquée par la distance mesurée en kilomètres depuis le pont de Saint-Lambert (km 0,0), comme sur les cartes du risque d'inondation.

1.3 Contenu du rapport

Le rapport contient, au chapitre 2, une description des conditions de formation des embâcles sur la rivière Chaudière ainsi que les critères généraux qui ont prévalu à la formulation des solutions présentées. Cette analyse a permis de déterminer les zones les plus touchées par les inondations avec embâcles.

Les chapitres 3 et 4 contiennent la description des deux solutions élaborées en vue de réduire les inondations causées par les embâcles de glace, au droit des zones les plus touchées par ce problème identifiées au chapitre 2.

Le chapitre 5 indique les études requises pour avancer la conception des solutions présentées en vue de leur réalisation éventuelle. Ce sujet fait l'objet d'un chapitre à part compte tenu des limites des modèles théoriques utilisés pour définir les solutions et de la nécessité de les valider par d'autres méthodes.

Le chapitre 6 traite des effets des solutions aux inondations en eau libre, décrites dans le rapport d'étape 2, sur les inondations causées par les embâcles de glace.

Un glossaire des principaux termes techniques utilisés dans le domaine des études de glace est présenté à l'annexe C. Nous avons également joint le glossaire présenté au rapport d'étape 2 qui contient la définition de certains termes utilisés dans ce rapport.

2.0 DESCRIPTION DES CONDITIONS DE FORMATION D'EMBÂCLE

2.1 Données et observations sur les couverts de glace

2.1.1 Études antérieures

La formation et l'évolution des couverts de glace sur la rivière Chaudière ont fait l'objet d'une étude importante au début des années soixante par le Ministère des Richesses Naturelles du Québec (MRN). Le rapport publié en 1965 (réf. 4) présente les résultats d'observations effectuées pendant les hivers 1963 et 1964 ainsi que les solutions proposées. Une de ces solutions était de construire le barrage de Sartigan en amont de Saint-Georges, pour retenir la glace provenant de la débâcle de la Haute-Chaudière. Cet ouvrage, inauguré en 1968, a permis d'éliminer, à toutes fins pratiques, les inondations causées par les embâcles de glace à Saint-Georges. L'article de Laganière et Larouche (réf. 10) présente une description du barrage de Sartigan et de son opération.

Les faits saillants du rapport du MRN, en ce qui concerne les embâcles, sont résumés ci-après. Nous omettons les passages sur les embâcles à Saint-Georges puisque ce problème n'existe plus :

- la débâcle en général se fait successivement de l'amont vers l'aval ;
- les glaces sont ralenties et s'échouent souvent dans le secteur du bassin Bégin (entre Notre-Dame-des-Pins et Saint-Georges) à cause des nombreuses îles et hauts-fonds qu'on y trouve ;
- après avoir été mis en mouvement très rapide dans le Rapide du Diable, les glaces sont ralenties dans le bassin situé au pied du rapide ;
- à environ 3 milles (5 kilomètres) en aval de Beauceville se trouve le Rocher qui constitue un point critique d'embâcle ;

2-2

- à environ 2 milles (3,5 kilomètres) en aval du Rocher, au voisinage de la rivière Saint-Victor, les glaces sont aussi souvent arrêtées. Le méandre (de la Chaudière), l'île (localisée au km 54,0 maintenant enlevée) et l'accumulation de la glace provenant de la Saint-Victor à son embouchure, contribuent à favoriser cette situation ;
- à Saint-Joseph, un embâcle se produit souvent, causé surtout par les hauts-fonds formés par la forte sédimentation de la rivière des Fermes (km 45,0).

En plus des observations sur les glaces, ce rapport contient un synopsis de l'état des connaissances théoriques de l'époque sur la formation des couverts de glace et de leur application au cas de la rivière Chaudière.

Un autre rapport, qui a été très utile pour la présente étude, est celui préparé par le groupe de travail sur les mesures d'intervention (embâcles) sur la rivière Chaudière, publié en février 1992 (réf. 2). Ce groupe de spécialistes du MSP et du MENVIQ et de représentants des villes a été formé, à la suite de la crue centennale survenue en 1991, dans le but d'« *identifier les lieux propices à la création d'embâcles et de fixer leur ordre de priorité d'intervention* ». La localisation des zones propices aux embâcles a été indiquée dans le rapport du groupe de travail sur huit plans à l'échelle de 1:10 000, couvrant le tronçon de la rivière Chaudière compris entre Saint-Lambert et le barrage Sartigan à l'amont de Saint-Georges.

2.1.2 Identification des zones d'embâcles

L'identification des zones d'embâcles provient du rapport du groupe de travail sur les embâcles (réf. 2) de même que des dossiers d'observations effectuées au cours des débâcles de 1992 et de 1993 par le personnel du MENVIQ de la direction régionale Chaudière-Appalaches.

Nous reproduisons ci-dessous les passages pertinents tirés du rapport du groupe de travail qui, nous le rappelons, décrit la situation du couvert de glace à la fin de février 1992 et les connaissances acquises par les participants au cours de

nombreuses années d'observations du comportement de la glace sur la rivière. La localisation des tronçons et des secteurs apparaît sur la figure 2.1.

► **Secteur n° 1**

Ce secteur débute au kilométrage 16, en haut des rapides localisés à l'aval de la municipalité de Scott, et se prolonge jusqu'au kilométrage 27, soit un kilomètre à l'amont du pont de Sainte-Marie. Quatre tronçons propices aux embâcles ont été localisés dans ce secteur. Les inondations dans ce secteur surviennent principalement lors de crues à l'eau libre. C'est un secteur à pente relativement faible entre les kilométrages 17 et 27, alors qu'à l'aval du kilométrage 17, la rivière coule en rapide jusqu'à Saint-Lambert.

• **Tronçon n° 1**

Localisation : il est localisé à l'aval du village de Scott, au kilométrage 16 et couvre une longueur d'environ 200 mètres.

Importance : cet embâcle a une récurrence approximative de trois ans et ne cause pas de gros problèmes ou des dommages importants. La grande majorité du temps, ce secteur se libère rapidement avant la débâcle, en raison de sa localisation dans un tronçon d'eau rapide.

• **Tronçon n° 2**

Localisation : il est localisé immédiatement à l'aval du village de Scott, au kilométrage 17 et couvre une longueur d'environ 250 mètres.

Importance : cet embâcle a une récurrence approximative de trois ans et ne cause pas de gros problèmes ou des dommages importants. L'utilisation de mesures lourdes pour briser ou couper ce couvert n'est pas justifiée car, dans la majorité des cas, il fond et se fracture rapidement, en raison de sa localisation dans un secteur d'eau rapide.

- **Tronçon n° 3**

Localisation : il est situé à l'extrémité amont de l'île où passe le pont de Scott, au kilométrage 18. L'embâcle se forme plus souvent sur la rive ouest de l'île.

Importance : l'embâcle ne cause pas de gros problèmes et se produit environ une fois tous les trois ans. La cause probable de cet embâcle est la présence de l'île qui diminue la section d'écoulement et forme ainsi un obstacle au libre passage des glaces. Comme la glace peut toujours passer dans le chenal « est » de la rivière, il n'est pas nécessaire d'intervenir avec des mesures lourdes¹ sur ce tronçon. L'usage de mesures pour favoriser une fonte plus rapide de son couvert pourrait se justifier, parce que les glaces ne peuvent pas causer de dommages à l'aval, en raison de la présence d'un long rapide immédiatement à l'aval de Scott.

- **Tronçon n° 4**

Localisation : il est situé à l'extrémité amont de l'île Perrot sise à la limite aval du territoire de Sainte-Marie, au kilométrage 21,4 et couvre une distance approximative de 100 mètres.

Importance : l'embâcle comme tel ne cause pas de problèmes importants puisqu'il ne se forme habituellement que dans le chenal « est » de la rivière. L'embâcle complet des deux chenaux autour de l'île a une récurrence d'environ 10 ans. Comme le secteur situé à l'aval se libère rapidement et qu'un des chenaux est dégagé la majorité du temps, des mesures « dites douces » pourraient être appliquées pour favoriser une fonte plus rapide du couvert sans pour autant le découper ou le briser.

1 On entend par « mesures lourdes » des méthodes comme le dynamitage ou l'emploi du « Watermaster » qui est une sorte de brise-glace utilisable sur des rivières de taille moyenne.

► **Secteur n° 2**

Ce secteur débute au kilométrage 27, à l'amont du pont de Sainte-Marie, et se termine au kilométrage 53 à la limite amont de la municipalité de Saint-Joseph-des-Érables. Il comprend donc la partie amont de la ville de Sainte-Marie et les municipalités de l'Enfant-Jésus (paroisse), Vallée-Jonction, Saint-Joseph-de-Beauce (paroisse) et ville de Saint-Joseph-de-Beauce. La pente dans ce secteur est faible, avec une zone de débordement très large à plusieurs endroits. Six (6) tronçons propices aux embâcles ont été localisés dans ce secteur. Les inondations dans les secteurs habités se produisent principalement lors de crues à l'eau libre et les dommages par les glaces se retrouvent surtout dans les zones de débordement localisées en secteur agricole. Toute intervention dans ce secteur doit éviter que les glaces causent des dommages supplémentaires à l'aval, surtout à Sainte-Marie, et il est important de ne pas favoriser le bris du couvert et son déplacement précoce.

• **Tronçon n° 1 (5)²**

Localisation : il est situé immédiatement à l'amont du pont de Sainte-Marie, au kilométrage 26,5, et couvre une distance qui varie entre 150 et 200 mètres.

Importance : les glaces ont tendance, tous les deux ou trois ans, à accrocher les piliers du pont, formant ainsi un embâcle à l'amont. Ce dernier ne cause habituellement pas de problèmes, puisque le gros des dommages à Sainte-Marie est causé par des crues à l'eau libre. Toutefois, comme pour les autres tronçons du secteur n° 1 situés à l'aval, il pourrait faire l'objet de mesures douces pour favoriser une fonte plus rapide du couvert. L'utilisation de mesures lourdes pour fractionner ou

2 Les chiffres entre parenthèses indiquent le numéro du tronçon utilisé dans le rapport du groupe de travail (réf. : 2).

découper le couvert n'est pas justifiée dans ce tronçon, car cela pourrait causer plus de dommages à l'aval.

- **Tronçon n° 2 (6)**

Localisation : il est localisé au kilométrage 30,4 à l'extrémité amont d'une île étroite dans les limites territoriales de la ville de Sainte-Marie.

Importance : cet embâcle ne présente pas un gros risque puisqu'il ne s'est formé qu'une seule fois en 25 ans. La présence de l'île et la diminution de la section d'écoulement pourraient expliquer sa formation. Comme ce tronçon est situé dans le secteur n° 2, qui est une zone à pente plus faible, et immédiatement à l'amont de Sainte-Marie, il est préférable de ne pas intervenir pour éviter de causer des dommages à l'aval, surtout que la récurrence de cet embâcle est très faible.

- **Tronçon n° 3 (7)**

Localisation : l'embâcle se forme immédiatement à l'amont du pont du CN à Vallée-Jonction, au kilométrage 37,5, et sur une longueur qui peut atteindre plus d'un kilomètre certaines années.

Importance : l'embâcle peut avoir une certaine importance s'il cède prématurément, car il pourrait causer des dommages dans la municipalité de Vallée-Jonction, en se déplaçant vers le pont-route situé immédiatement à un demi kilomètre à l'aval, la section d'écoulement à cet endroit étant plus étroite. Il est préférable qu'il demeure à cet endroit car, à un demi kilomètre à l'amont du pont, il existe une zone très large de débordement des eaux, sur la rive « est » de la rivière, qui peut recevoir les glaces sans causer de dommages. Pour assurer la stabilité de son pont, le CN installe plusieurs wagons sur le tablier durant la période de la crue printanière, puisque cet embâcle se forme presque tous les ans. Tous les intervenants municipaux, gouvernementaux et privés interrogés sont unanimes: il ne faut pas briser l'embâcle ou le couvert de glace à

cet endroit, car les dommages à l'aval, dans la municipalité de Vallée-Jonction, pourraient être considérables.

- **Tronçon n° 4 (8)**

Localisation : cet embâcle se forme habituellement entre les kilomètres 41 et 42, sur une longueur d'environ 500 mètres, soit à la hauteur d'une pointe s'avancant dans la zone de débordement, sur la rive « est » de la rivière, où sont construits des bassins d'épuration.

Importance : cet embâcle ne cause habituellement pas de dommage par refoulement des eaux, mais il peut alimenter, lorsqu'il cède, celui qui se forme à la hauteur du pont du CN à Vallée-Jonction. Comme il est situé dans le secteur n° 2, là où il est préférable de ne pas intervenir afin d'éviter des dommages plus importants à l'aval et, qu'en plus, il faut éviter de favoriser le bris de l'embâcle situé au pont du CN à Vallée-Jonction, il est préférable et justifié de laisser cet embâcle agir naturellement. Des photographies prises en hélicoptère lors de la débâcle du printemps 1991, à la hauteur de ce site, nous indiquent que ce tronçon était libre de tout embâcle au moment des événements désastreux de Beauceville.

- **Tronçon n° 5 (9)**

Localisation : à cet endroit, entre les kilomètres 43 et 44, il y a présentement (février 1992) un embâcle d'environ un demi kilomètre de long et de faible épaisseur. Il est probablement dû à l'augmentation des débits, suite aux pluies qui sont survenues au milieu de janvier 1992 et qui auraient fractionné le couvert.

Importance : l'embâcle ne se forme pas de façon régulière à cet endroit. Il n'est pas épais et le volume de glace additionnel par rapport au volume normal du couvert est minime. Il pourrait alimenter plus rapidement l'embâcle qui se forme habituellement à Vallée-Jonction, si on intervenait

pour l'affaiblir. Il est donc préférable de le laisser se comporter de façon normale. Les dommages qu'il peut causer se limitent aux terres agricoles situées dans la zone normale de débordement de la rivière.

- **Tronçon n° 6 (10)**

Localisation : cet embâcle se forme régulièrement à l'amont immédiat du pont de Saint-Joseph-de-Beauce, au kilométrage 46 et sur une longueur d'environ 200 à 300 mètres. L'embâcle se forme en raison des piliers du pont qui accrochent la glace.

Importance : cet embâcle ne cause pas de problème important, ni de dégâts sérieux, puisque l'eau à cet endroit peut contourner le chenal principal et emprunter la zone de débordement, très large, retrouvée sur la rive ouest et cela, malgré la présence de la route³ qui est assez basse pour laisser s'écouler l'eau. Habituellement, ce n'est pas un vrai embâcle qui se produit, mais plutôt le couvert de glace qui bloque au pont sur une grande distance. En raison de la très large zone de débordement à cet endroit, le couvert a tendance à résister plus longtemps, même sous de forts débits. Ce tronçon est situé dans le secteur n° 2 où il est préférable de ne pas intervenir en raison des dommages que cela pourrait causer à l'aval.

- **Secteur n° 3**

Ce secteur débute au kilométrage 53 et se termine au kilométrage 63, dans la ville de Beauceville. C'est le secteur où l'on a observé, récemment, le plus de dommages par embâcle. Trois (3) tronçons propices aux embâcles ont été localisés dans ce secteur, mais ce sont les glaces en provenance

3 Il s'agit de la route Lagueux menant au pont de Saint-Joseph à partir de la rive ouest de la rivière Chaudière. Cette route, à l'élévation 147,6 m, est surélevée de 2 m par rapport au niveau moyen du terrain dans la plaine inondable. Elle est submergée à des débits de crue supérieurs à 900 m³/s (crue moyenne annuelle) et constitue un obstacle à l'écoulement de l'eau à travers la plaine inondable.

de l'amont qui causent le plus de dommages dans le secteur habité de Beauceville. À l'aval, le secteur comprend une zone tampon très large, longue d'environ 3 km, à faible pente et non habitée. Immédiatement après cette zone, le secteur est caractérisé par une zone d'environ 6 km de long, où des bouchons de glace se produisent et font refouler l'eau jusqu'à Beauceville, empêchant ainsi la glace en provenance de l'amont de circuler librement. Ces bouchons sont causés par des embâcles précoces et des couverts de glace extrêmement épais et résistants.

- **Tronçon n° 1 (11)**

Localisation : cet embâcle se forme régulièrement au confluent de la rivière Saint-Victor avec la rivière Chaudière, entre les kilométrages 53 et 54, sur une longueur approximative de 500 mètres.

Importance : cet embâcle se forme régulièrement, mais ne semble pas causer de problèmes. Il est souvent alimenté par les glaces en provenance de la rivière Saint-Victor. En janvier 1992, une accumulation de glace s'est formée sur cette dernière rivière, à quelques centaines de mètres à l'amont de son embouchure. La rivière Saint-Victor charrie beaucoup de sédiments, qu'elle dépose en partie à son embouchure dans la rivière Chaudière, ce qui pourrait favoriser la formation d'embâcles à cet endroit. Comme tel, l'embâcle est localisé dans un secteur agricole où il ne cause pas de dommages aux zones habitées.

- **Tronçon n° 2 (12)**

Localisation : cet embâcle se forme régulièrement entre les kilomètres 57 et 58, immédiatement à l'amont de la courbe surnommée le « Rocher », ceci sur une longueur de plusieurs centaines de mètres. Il est situé dans la municipalité de Saint-François-Ouest. Présentement, (février 1992) on retrouve une accumulation d'environ un kilomètre de glace, qui résulte d'un écrasement du couvert de glace, suite aux pluies du milieu de janvier 1992. Des sondages de la glace, du frasil et de l'épaisseur d'eau

ont été effectués dans la première semaine du mois de février 1992, pour vérifier l'importance de cette accumulation de glace.

Importance : cet embâcle et les couverts de glace très épais situés à son amont ont un effet très important sur les dommages qui peuvent survenir à Beauceville, car ils forment un bouchon solide. Ceci entraîne un refoulement des eaux jusqu'à cette municipalité, diminue les vitesses de l'eau à cet endroit et favorise ainsi l'effet destructeur des glaces lorsque ces dernières arrivent en provenance des tronçons amont. La cause probable de cet embâcle pourrait être le couvert de glace en aval, entre les kilométrages 55 et 57, qui est très épais et très dur, et qui empêche les glaces provenant de l'amont de descendre, d'où leur empilement et la formation d'embâcle. La zone située à l'amont de cet embâcle, qui s'étend jusqu'au pont de Beauceville, présente également des couverts de glace très épais et résistants qui font un bouchon en période de débâcle. Ce bouchon empêche les glaces en provenance des tronçons à l'amont de Beauceville de circuler librement. Il est de la plus grande importance d'intervenir dans ce secteur d'environ 6 kilomètres. Comme, immédiatement à l'aval de la pointe du Rocher, la rivière Chaudière coule dans un secteur plus tranquille dont la zone de débordement est très large, ceci favorise l'accumulation et la dispersion des glaçons en provenance de l'amont, sans causer de problèmes à l'aval.

- **Tronçon n° 3 (13)**

Localisation : à l'occasion, un embâcle se forme à l'extrémité amont de l'île où passe le pont-route de la municipalité de Beauceville au kilométrage 62. Cet embâcle se forme sur une longueur d'environ une centaine de mètres. Actuellement (février 1992), une accumulation de glace est présente et a dû se former lors de la hausse de débits, suite aux pluies de la mi-janvier 1992.

Importance : cet embâcle peut avoir une importance lorsque les glaces des tronçons amont se libèrent en période de débâcle. Il peut freiner le

passage des glaces, au niveau des deux chenaux qui entourent l'île, et favoriser leur étalement dans les zones habitées, occasionnant ainsi des dommages importants aux structures. Des sondages dans cette zone d'accumulation ont été effectués dans la première semaine de février 1992 pour vérifier l'épaisseur des couverts, la présence ou non de frasil et la hauteur du chenal d'écoulement des eaux.

► **Secteur n° 4**

Ce secteur débute au kilomètre 63 dans la ville de Beauceville et se termine, à l'aval du barrage de Sartigan, au kilométrage 80. Il comprend donc les municipalités de Saint-François-de-Beauce, Notre-Dame-des-Pins, Notre-Dame-de-la-Providence⁴ et Saint-Georges (est et ouest). Six (6) tronçons propices aux embâcles ont été localisés dans ce secteur. Les dommages dans ce secteur surviennent principalement à Saint-Georges, lors de crues à l'eau libre, mais on observe aussi des effets de glace lorsque des embâcles se produisent à la hauteur du pont. Dans les autres municipalités, les inondations résultent des crues à l'eau libre et les seuls dommages par les glaces se produisent dans la zone de débordement.

• **Tronçon n° 1 (14)**

Localisation : cet embâcle se forme régulièrement à l'extrémité amont de l'île aux Peupliers, au kilométrage 64. Il s'accumule habituellement sur une longueur d'environ 200 à 300 mètres.

Importance : cet embâcle peut causer des dommages importants à l'aval, surtout à Beauceville, mais il ne cause pas de dommages à l'endroit où il se forme, à l'exception des terres agricoles situées dans la zone naturelle de débordement. Il est plus important d'agir dans le secteur entre Beauceville et la pointe du Rocher, qu'à cet endroit, car on risque d'aggraver la situation à Beauceville si on facilite la destruction

4 Cette municipalité est officiellement désignée sous le nom de Notre-Dame-des-Pins.

prématurée de cet embâcle. Il est important que cet embâcle demeure le plus longtemps possible sur place, afin de favoriser le départ des glaces, les glaçons en provenance de l'amont peuvent alors circuler librement dans le chenal principal de la rivière, à la hauteur de Beauceville, sans causer de dommages aux structures.

- **Tronçon n° 2 (15)**

Localisation : cet embâcle se forme régulièrement à l'extrémité amont de l'île aux Oies, entre les kilomètres 68 et 69 et à environ 100 mètres à l'aval du pont de la municipalité de Notre-Dame-des-Pins. Il couvre une longueur d'environ 100 mètres. Actuellement (février 1992), une accumulation de glace est présente. Elle a dû se former lors de la hausse des débits, suite aux pluies de la mi-janvier 1992.

Importance : cet embâcle ne cause pas de problèmes locaux, mais peut alimenter les embâcles situés à l'aval lorsqu'il cède. De par sa situation, il est donc important de ne pas favoriser son départ par des mesures d'affaiblissement. Pour les mêmes raisons énumérées pour le tronçon 14, il est préférable que cette accumulation de glace demeure le plus longtemps possible sur place.

- **Tronçon n° 3 (16)**

Localisation : ce très petit embâcle se forme à l'embouchure de la rivière Famine, au kilométrage 76, à l'extrémité amont de la petite île qui existe à cet endroit.

Importance : cet embâcle ne présente pas de gros problèmes et ne cause pas de dommages aux structures. Il peut retarder quelque peu la descente des glaces en provenance de l'amont, mais il cède très rapidement sous leur pression. Il est important de le laisser réagir naturellement, afin qu'il n'accélère pas le départ des autres embâcles situés plus à l'aval.

- **Tronçon n° 4 (17)**

Localisation : ce très petit embâcle se forme immédiatement à l'amont de l'embouchure de la rivière Famine, au kilométrage 76 et il couvre une longueur d'environ 100 mètres.

Importance : cet embâcle ne présente pas de gros problèmes et ne cause pas de dommages aux structures. Il peut retarder quelque peu la descente des glaces en provenance de l'amont, mais il cède très rapidement sous leur pression. Pour les mêmes raisons invoquées pour le tronçon n° 16, puisqu'il est situé presque au même endroit, il est important de garder cet embâcle sur place le plus longtemps possible et de le laisser agir naturellement.

- **Tronçon n° 5 (18)**

Localisation : cet embâcle se forme occasionnellement à l'amont du pont-route de Saint-Georges, au kilométrage 77,5, principalement sur la rive « est » de la rivière.

Importance : cet embâcle résulte des glaces qui accrochent la structure du pont. Il peut causer des dommages importants aux habitations et aux structures situées dans le secteur de la 1^{ère} Avenue, s'il est alimenté par du frasil et s'il perdure. Il serait avantageux de libérer et d'enlever la glace dans les parties amont et aval du pont sur la rive « est », ce qui diminuerait la possibilité d'accrochage au pont pour les glaces en provenance de l'amont. La débâcle dans la ville de Sainte-Georges survient habituellement avant la débâcle des tronçons inférieurs, et les embâcles qui se forment à la hauteur du pont de Saint-Georges et à l'amont s'échouent vers Notre-Dame-des-Pins ou un peu plus à l'aval.

- **Tronçon n° 6 (19)**

Localisation : cet embâcle se forme habituellement en hiver (et non au printemps), au kilométrage 79 à l'amont de Saint-Georges.

Importance : cet embâcle, qui résulte d'une forte accumulation de frasil en provenance des rapides de Saint-Martin, peut causer des dommages en rehaussant les niveaux d'eau de façon appréciable à la hauteur du secteur commercial de la 1^{ère} Avenue à Saint-Georges. Une telle accumulation se produit lorsque les rapides sont à découvert, et suite à une succession de réchauffement des températures, précipitations de pluies et chute subséquente importante de températures. Le frasil ainsi formé s'accumule et s'écrase pour former ce qu'on appelle un embâcle sec. Présentement (février 1992), les rapides de Saint-Martin sont recouverts de glace et il n'y a pas de formation de frasil. De plus, les quantités de glace situées entre l'aval du barrage de Sartigan et Saint-Georges ne sont pas très importantes. Au stade actuel, il n'est donc pas justifié d'intervenir dans ce tronçon.

Le rapport du groupe de travail sur les embâcles a servi à définir un plan d'intervention en vue d'affaiblir, briser et morceler les couverts de glace, de même que les embâcles pouvant être causés lors de la débâcle de 1992. Suite à la réalisation du plan d'intervention, un rapport a été préparé pour présenter et évaluer les résultats des mesures utilisées sur les différents tronçons retenus (réf. 3).

Nous retenons principalement de ce rapport le passage concernant l'effet du dynamitage effectué sur le tronçon 4 (12) à Beauceville. On y rapporte en effet (réf. 3, page 16) :

« Aucun effet bénéfique n'a été observé dans les zones qui n'ont été que dynamitées. Le secteur sous la tour d'Hydro-Québec (kilomètre 58,7) a encore présenté, lors de la débâcle, un certain blocage des glaces. La cause pourrait être la présence de batardeaux dans le lit de la rivière à cet endroit mais, sans étude préalable (étude de modélisation), il serait

hasardeux de procéder à leur enlèvement. Le risque d'aggraver la situation à l'amont et à l'aval est beaucoup trop élevé. »

Cette observation a été confirmée lors de la débâcle de 1993 où on a constaté que l'embâcle principal ayant causé des inondations à Beauceville s'est formé entre les km 58 et 59. Les observations, faites lors de la débâcle de 1993 par le personnel de la direction régionale Chaudière-Appalaches du MENVIQ, permettent de préciser les zones de formation des embâcles à Beauceville. Trois points ont été observés pour la formation de l'embâcle, tel qu'établi par la description des événements résumée ci-après (F. Beaulieu, ingénieur, communication personnelle) :

- le niveau d'eau commence à monter rapidement à Beauceville dans la journée de samedi 10 avril (figure 3.2) ;
- vers 20 h 00 le 10 avril, les glaçons en provenance de la débâcle du couvert entre Notre-Dame-des-Pins et Saint-Georges, s'arrêtent une première fois au km 60,9, le niveau d'eau est alors de 151,8 m ;
- un peu plus tard dans la soirée, elles se remettent en mouvement pour descendre entre les km 59 et 60, le niveau d'eau continue à monter ;
- le couvert bouge encore dans la nuit de samedi à dimanche pour s'arrêter au km 58,5. À ce moment le couvert s'étend sur 2 km, soit jusqu'au km 60,5. À 9 h 00 le matin de Pâques, le niveau d'eau atteint 153,5 m ;
- les glaces demeurent en place le dimanche 11 avril toute la journée. La zone du Rocher est alors libre de glace (eau claire)⁵ alors qu'un couvert

5 Cette observation est intéressante car elle démontre que l'embâcle ne s'est pas déplacé jusqu'au Rocher et que le couvert de glace à cet endroit a débâclé avant le relâchement de l'embâcle localisé en amont au km 58,5. Rappelons qu'un chenal avait été excavé au milieu de mars dans le couvert de glace le long des rives au droit du Rocher. Cette intervention visait à faciliter le détachement du couvert d'avec les rives à cet endroit et donc de faciliter sa débâcle. Il semble que ces travaux aient été efficaces pour libérer le couvert au Rocher. Ils n'ont cependant pas permis d'empêcher la formation de l'embâcle en amont.

partiel s'étend sur la rivière en aval jusqu'à Saint-Joseph. Le niveau maximum de 153,7 m est atteint vers 22 h 00, dimanche ;

- le mardi 13 avril vers 17 h 00, les glaces ont débloquent et sont descendues. Le niveau d'eau à Beauceville s'est abaissé progressivement de 1 m le lundi 12 avril et de 2 m le mardi 13 avril.

2.1.3 Zones d'embâcle problématiques

L'examen fait par le groupe de travail sur les mesures d'intervention, ainsi que les observations réalisées au cours des débâcles de 1992 et 1993, démontrent que le secteur compris entre Saint-Joseph et Beauceville est celui où se produisent les embâcles créant des inondations appréciables. En particulier, le tronçon compris entre les km 58 et 61 est celui où se forme, à chaque année, un embâcle pouvant produire des inondations très dommageables à Beauceville. Les observations des débâcles de 1992 et 1993 semblent donc confirmer une modification du régime des glaces dans le secteur de Beauceville en ce qui concerne les zones de formation d'embâcles. Rappelons que l'analyse des conditions d'écoulement *en eau libre a démontré que le seuil d'inondation à Beauceville, qui est de 152,4 m, correspond à un débit de 1 600 m³/s, soit à une crue de 200 ans.*

Les embâcles de glace créent donc des rehaussements de niveau d'eau dont l'ampleur ne peut être prédite uniquement par la connaissance du débit de la rivière, comme c'est le cas pour les inondations se produisant en eau libre. À titre d'exemple, la crue d'avril 1993 a atteint un débit de pointe de 1 300 m³/s à Saint-Lambert, ce qui correspond à une récurrence de 3 ans. Le débit maximum a été estimé à 1 120 m³/s, à Beauceville en se basant sur les débits mesurés à Sartigan et sur la rivière Famine. Le niveau d'eau maximum a atteint l'élévation de 153,7 m à Beauceville, soit un rehaussement de 2,4 m (8.7 pi) par rapport aux conditions en eau libre pour le même débit.

Les conditions d'écoulement avec glace sur le tronçon de la rivière Chaudière à l'endroit de la ville de Beauceville méritent donc une attention particulière dans la recherche d'une solution aux inondations pour cette ville.

2.2 Critères généraux de conception des solutions

Dans son analyse sur les mesures d'intervention, le groupe de travail avait basé ses recommandations sur les deux critères suivants :

- ***« diminuer ou atténuer les dommages dans les secteurs habités où les embâcles sont susceptibles de se produire, en utilisant la zone de débordement (plaine inondable) comme zone tampon pour recevoir les glaces ;***
- ***s'assurer que les interventions choisies, tout en réduisant ou supprimant les dommages à un endroit donné, ne les transféreront pas à un autre site situé à l'aval. »***

Suite à l'analyse des conditions d'embâcles, le groupe de travail mentionnait qu'***« Il est important que les embâcles qui se forment dans ce secteur (entre le km 63 à l'amont de Beauceville et le barrage Sartigan) demeurent le plus longtemps possible sur place, afin de permettre au secteur 3 (entre Saint-Joseph et Beauceville) de se libérer préalablement ».***

Nous croyons, comme le groupe de travail, que ces principes doivent être retenus pour l'élaboration de solutions permanentes au problème des inondations causées par les embâcles à Beauceville.

2.3 Principes des solutions

Il est clair que les embâcles à Beauceville sont formés par la glace provenant de la débâcle du tronçon amont compris entre Beauceville (km 60) et Saint-Georges (km 78). Une bonne partie du couvert de glace de ce tronçon, soit celui d'environ 12 km (km 66 à 78) se déplace donc en bloc vers l'aval, passe dans le Rapide-du-Diable où il est brisé en glaçons pouvant atteindre 3 à 5 m de côté et s'accumule à l'aval de Beauceville entre les km 58 et 60, soit sur une distance de 2 km seulement. L'épaisseur du couvert peut donc facilement y atteindre 4 à 5 m d'épaisseur. La glace bloque la section d'écoulement et forme un embâcle. De façon à pouvoir forcer son passage à

travers l'embâcle, l'eau doit avoir plus d'énergie. Celle-ci provient du rehaussement du niveau d'eau au bord frontal amont de l'embâcle⁶. L'augmentation de la pente du plan d'eau entre l'amont et l'aval de l'embâcle permet à l'eau de vaincre la résistance à l'écoulement causée par cette obstruction et de s'écouler à travers celle-ci. Éventuellement, la pression causée par cette charge hydraulique provoque l'entraînement des glaçons et la dislocation de l'embâcle.

Principe n° 1 : Faciliter la débâcle du couvert de glace et des embâcles en aval de Beauceville

Si nous revenons à l'analyse des conditions de formation des embâcles à Beauceville, nous constatons que cette ville marque la limite amont du tronçon des eaux mortes. Ce tronçon est caractérisé par la pente très faible (pente = 0,16 m/km) du fond de la rivière. En amont de Beauceville, la pente du fond augmente sur une courte distance dans le rapide où elle est 12 fois plus élevée (pente = 2 m/km). Elle diminue sur le tronçon compris entre Notre-Dame-des-Pins et Saint-Georges bien qu'elle demeure néanmoins 3 fois plus élevée que sur le tronçon des eaux mortes (pente = 0,50 m/km). L'analyse des conditions d'écoulement lors des crues montre que la pente de la ligne d'eau suit la même tendance.

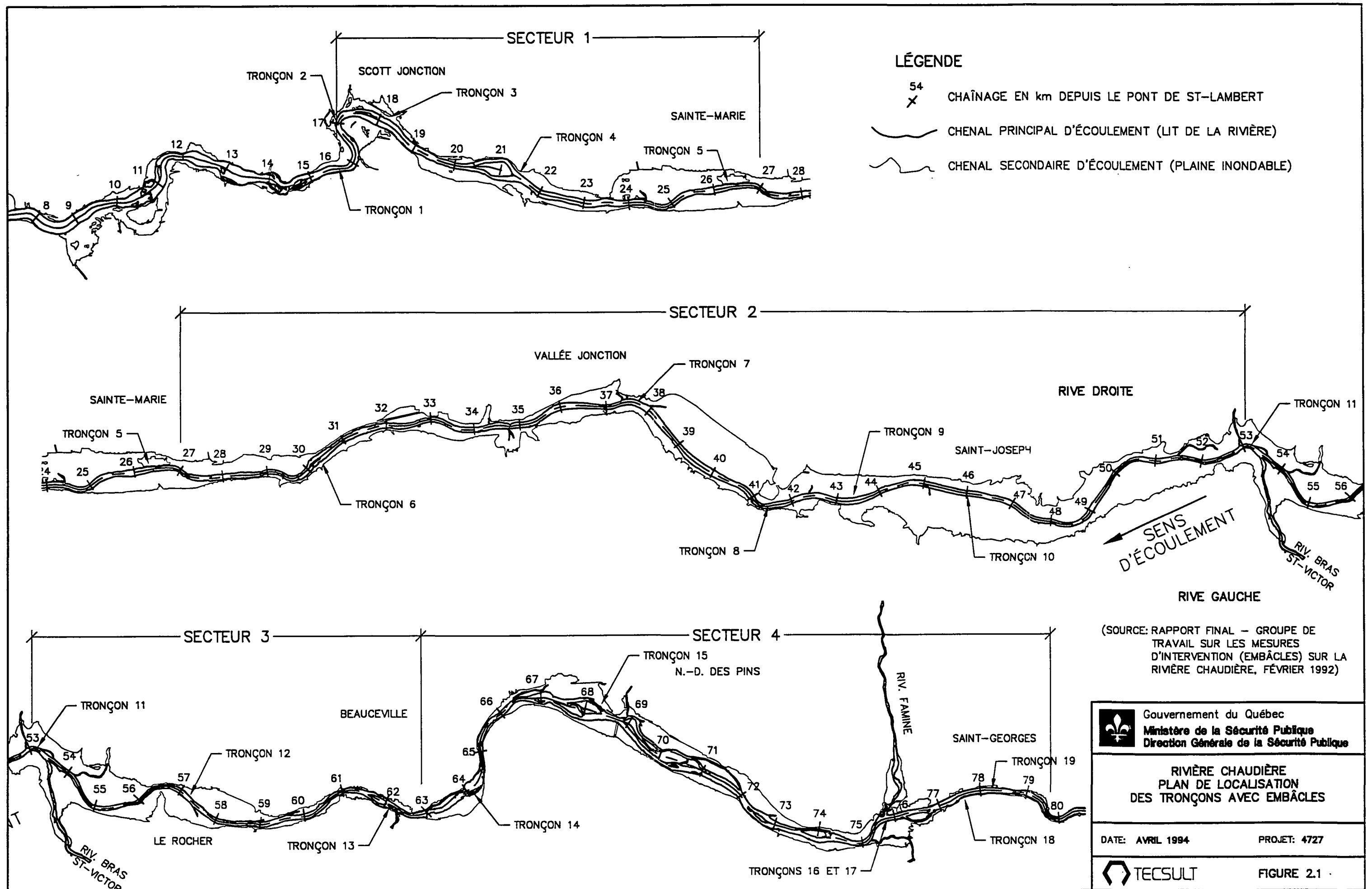
L'examen des conditions d'écoulement à la débâcle montre que le couvert de glace est généralement encore en place entre le Rocher et Beauceville, lorsque les glaçons arrivent en masse de la débâcle du tronçon amont. À ce moment, le mouvement du couvert de glace est généralement amorcé en aval de Saint-Joseph (km 46). En particulier, les observations du printemps 1993 révèlent que le tronçon du Rocher (km 55 à 57) était libre de glace au moment du plus fort de l'embâcle à Beauceville localisée au km 58,5. Ce secteur a historiquement été considéré comme l'endroit où le couvert de glace était retenu, ce qui causait les embâcles. Il semble, à la lumière des observations des dernières années, que les conditions favorisant le maintien du couvert de glace prévalent maintenant sur un tronçon plus étendu soit du km 56 au km 60, ce qui peut expliquer la recrudescence des embâcles et des inondations à Beauceville.

⁶ La définition des mots gras et soulignés apparaît aux glossaires de l'annexe C.

Il est donc nécessaire d'examiner ces conditions, afin d'élaborer une solution visant à favoriser le déplacement du couvert de glace en aval de Beauceville avant et pendant l'embâcle. En créant des conditions favorisant ce mouvement, le rehaussement du niveau d'eau serait limité car l'écoulement du débit serait assuré à travers l'embâcle. La modification du régime d'écoulement impliquerait entre autres des changements à la géométrie du chenal. Cette solution est expliquée au chapitre 3.

Principe n° 2 : Retenir la glace et les embâcles en amont de Beauceville

Une des solutions possible est de retenir en amont de Beauceville la glace provenant du tronçon de 12 km situé en amont du Rapide-du-Diable. Cette rétention des glaçons doit donc pouvoir se faire à un endroit où elle ne causera pas d'inondation, ou n'augmentera pas le risque d'inondation par rapport à la situation y ayant prévalu historiquement. En d'autres termes, cette solution consiste à déplacer et à contrôler l'embâcle en amont de Beauceville. Cette solution est analysée au chapitre 4.



3.0 SOLUTION DE PROFILAGE DU CHENAL EN AVAL DE BEAUCEVILLE ET DE RÉTENTION DE LA GLACE SUR LE BRAS SAINT-VICTOR

3.1 Description de la solution

L'examen des conditions d'écoulement avec glace indique que les embâcles se forment en aval immédiat de Beauceville, là où les vitesses d'écoulement sont les plus faibles. Historiquement, de telles conditions existaient au droit du Rocher, entre les km 55 et 57 tel que rapporté par Triquet (réf. 4). La présence d'un méandre de la rivière à cet endroit peut également contribuer à retenir le couvert de glace et à stabiliser les embâcles. Les relevés bathymétriques récents ont révélé la présence d'une fosse entre les km 58 et 59. À cet endroit, on constate donc une augmentation de la section transversale de la rivière et une diminution des vitesses d'écoulement. Ces conditions favorisent la stabilité du couvert de glace et la formation d'embâcles.

L'examen des dossiers du MENVIQ révèle que des travaux importants de profilage du chenal ont été réalisés par le MRN entre les km 56 et 61 dans les années soixante. Les relevés bathymétriques récents indiquent que le fond du chenal a été abaissé de 0,5 à 2,0 m par rapport au radier du chenal réalisé par le MRN entre les km 58 et 59, tel que montré à la figure 3.1. Selon les informations recueillies auprès de la direction régionale du MENVIQ, cet abaissement résulterait de travaux d'extraction du gravier.

L'objectif principal de la solution présentée ici est de modifier le profil du chenal principal d'écoulement, pour rendre la pente hydraulique relativement uniforme et pour augmenter la vitesse d'écoulement entre les km 55,94 et 59,57. Cet objectif peut être atteint en remblayant le fond du chenal sur ce tronçon. Cette solution de profilage implique aussi l'excavation des îlots et des zones de rétrécissement du chenal entre les km 58,6 et 59,2 de façon à enlever les obstacles contribuant physiquement à stabiliser les embâcles ou à favoriser leur formation. La conception de ces travaux est expliquée à la section 3.5.

De même, elle implique la construction de deux ouvrages simples pour retenir la glace sur la rivière Saint-Victor. Ces ouvrages ont pour objectif de retarder la descente

3-2

de la glace dans la Chaudière jusqu'au moment où la débâcle se termine sur celle-ci en aval du Rocher. De cette façon il est possible d'éviter qu'une accumulation de glace formée à l'embouchure dans la rivière Chaudière ne cause d'augmentation du niveau d'eau et une réduction des vitesses d'écoulement en amont, deux conditions qui retardent la débâcle du couvert de glace en aval de Beauceville. La conception de ces ouvrages est expliquée à la section 3.6.

L'étude effectuée démontre qu'avec ces travaux, la rivière débâclera systématiquement du Rocher vers l'amont. Pour atteindre ce but, la débâcle doit d'abord se produire en aval ce qui provoque un abaissement du niveau d'eau au Rocher et entraîne une débâcle subséquente vers l'amont jusqu'à Beauceville. Une fois le couvert débâclé à l'aval de Beauceville, l'arrivée des glaçons provenant de l'amont ne peut causer d'embâcles et de rehaussements importants des niveaux d'eau.

Nous présentons, dans les sections qui suivent, l'analyse théorique sur laquelle repose l'élaboration de cette solution.

3.2 Données de base et critères de conception

3.2.1 Données utilisées

3.2.1.1 Bathymétrie et topographie

Nous avons analysé les conditions en eau libre et avec glace entre Saint-Joseph (km 45,845) et Beauceville (km 61,445). Au total, 36 sections transversales furent utilisées à partir de données bathymétriques provenant de relevés effectués par le MRN dans les années soixante et par la firme GPR International en avril et mai 1993. Nous avons également utilisé les sondages faits en août 1993 par le MENVIQ, au droit de la zone d'extraction de gravier localisée au km 58,2 (Frédéric Beaulieu, ingénieur, communication personnelle).

La topographie des berges et de la plaine d'inondation provient des cartes du risque d'inondation de 1979 à l'échelle du 1:5 000, dont les contours sont à intervalle de 0,5 m.

3.2.1.2 Débits et niveaux d'eau

L'analyse repose sur les données de débits et de niveaux d'eau enregistrés lors de la crue du printemps de 1993. Les débits à Beauceville ont été évalués par transposition des débits mesurés à la station Sartigan (MENVIQ 023429) au moyen de l'équation suivante :

$$Q_{(SITE)} = \left(\frac{A_{SITE}}{A_{STATION}} \right) Q_{STATION} \quad (1)$$

dans laquelle :

Q_{SITE} , A_{SITE} = débit (m^3/s) et aire du bassin versant (km^2) au site

$Q_{STATION}$, $A_{STATION}$ = débit (m^3/s) et aire du bassin versant (km^2) à la station de mesure

Les débits horaires enregistrés à Sartigan et à Saint-Lambert (MENVIQ 023402) ont été utilisés pour calculer les débits aux autres endroits d'intérêt le long de la rivière Chaudière au moyen de l'équation (1).

Les niveaux d'eau pendant la crue proviennent des relevés effectués par les municipalités qui nous ont été communiqués par la direction régionale du MENVIQ. La figure 3.2 montre les niveaux mesurés à Beauceville, Saint-Joseph, Vallée Jonction et Sainte-Marie.

3.2.1.3 Débits de débâcle

Les débits de débâcle sur les tronçons de rivière en amont et en aval de Beauceville sont basés sur les valeurs mesurées lors de la débâcle de 1993. Ainsi, pour les conditions météorologiques (température, précipitation) du printemps 1993, les débits de débâcle sont tels qu'indiqués ci-après :

- en amont de Beauceville pour un couvert statique de glace : $670 \text{ m}^3/\text{s}$;
- entre Beauceville et le Rocher pour la débâcle d'un embâcle: $> 1\,120 \text{ m}^3/\text{s}$.

3.2.1.4 Conditions de glace et niveaux d'eau dans l'embâcle à Beauceville

Les relevés du niveau d'eau au Rocher et à Beauceville et les observations lors de l'embâcle de 1993 ont révélé les conditions suivantes :

- l'embâcle principal était localisé entre les km 58,5 et 60,5 ;
- les relevés pendant l'embâcle indiquent (voir figure 3.2) :

le 11 avril 1993 à 6 h 30

- le niveau d'eau au Rocher est de 149,5 m ;
- le débit de la rivière est estimé à $790 \text{ m}^3/\text{s}$;
- un couvert partiel de glace recouvre la rivière entre Saint-Joseph et le Rocher ;
- des conditions d'eau libre prévalent dans le tronçon du Rocher (km 55 à 57).

le 11 avril 1993 à 22 h 00

- le niveau d'eau maximum à Beauceville est de 153,7 m ;
- le débit de la rivière est estimé à $1\,120 \text{ m}^3/\text{s}$ en se basant sur la transposition des débits mesurés à Sartigan.

L'analyse des observations de l'embâcle et des niveaux d'eau entre les km 58,5 et 60,5 permet de déduire les conditions suivantes pour un débit de $1\,120 \text{ m}^3/\text{s}$:

- a) le volume de glace dans l'embâcle est évalué par calculs à $875\,000 \text{ m}^3$ de glaçons morcelés ;
- b) la dénivelée entre l'amont et l'aval de l'embâcle est de 3,3 m ;

- c) le rehaussement du niveau d'eau en amont immédiat de l'embâcle dû à la glace est de 2,7 m ;
- d) la vitesse moyenne calculée en dessous de l'embâcle est de 2,1 m/s ;
- e) le rehaussement du niveau d'eau à Beauceville dû à la glace est de 2,4 m.

3.2.2 Critères de conception et hypothèses de calculs

- 1) Les valeurs suivantes ont été prises pour le coefficient de Manning « n » dans les calculs des pertes de charge par frottement :
 - a) la rugosité du fond de la rivière est estimée entre 0,025 et 0,030 ;
 - b) la rugosité du couvert de glace est estimée :
 - pour un couvert thermique (fissuré) à 0,025 ;
 - pour un couvert épaissi par l'accumulation de glaçons à 0,035.
- 2) L'épaisseur nominale d'un couvert mince (thermique) à la débâcle est estimée entre 0,6 et 1,0 m.
- 3) Pour l'embâcle de 1993, on suppose une porosité de 35 %. Cette valeur est conforme à la porosité moyenne pour un matériau granulaire grossier uniforme (30-40 %).
- 4) Pour le profilage de la rivière, soit le remblayage du fond et l'excavation des îlots et de certaines parties des rives, la conception des modifications à la géométrie du chenal est basée sur les critères suivants (voir figures 3.3-P⁷ et 3.4-P) :

⁷ Les figures sont placées à la fin du chapitre sauf celles indiquées par un -P qui sont en pochette.

- la vitesse d'écoulement et la pente d'énergie devraient être relativement uniformes de façon à assurer une débâcle du couvert de glace débutant au Rocher et progressant vers Beauceville ;
- les rétrécissements vers l'aval devraient être très graduels pour réduire les pertes de charge et favoriser l'écoulement de la glace.

5) Pour la conception des ouvrages simples de rétention des glaçons sur la rivière Saint-Victor, montrés à la figure 3.5-P, les critères suivants ont été utilisés :

- l'espacement entre les pieux est conçu pour retenir des blocs relativement gros ; la taille minimale des blocs à retenir est de 1,5 m (réf. 4) ;
- le facteur de sécurité pour la force d'impact des blocs de glace est réduit par rapport aux critères utilisés pour la conception des piliers de pont parce qu'une déflexion en tête est acceptée. La résistance en compression de la glace pour une débâcle précoce (glace plus solide) est considérée égale à 1 400 kPa (200 lb/po²) ;
- la hauteur des pieux est conçue pour un débit de crue d'une période de retour de 2 ans évalué à 170 m³/s ;
- pour des débits plus forts que 1:2 ans, les glaçons pourraient dépasser les pieux puisque, sous de tels débits, la débâcle dans la rivière Chaudière serait terminée en aval du Rocher et que celle-ci serait libre de glace ;
- la vitesse de conception pour l'enrochement au radier de la structure est de 3 m/s. Le diamètre correspondant de l'enrochement est $d_{50} = 0,4$ m pour éviter l'érosion du fond de la rivière sous l'embâcle. Ces valeurs ont été calculées par les méthodes du U.S. Bureau of Reclamation (réf. 5) ;
- le volume des glaçons à retenir en amont du site 1, montré sur la figure 3.5-P, est estimé par calculs à 200 000 m³ ;

- en amont du site 2 (voir localisation sur la figure 3.5-P), les glaçons sont retenus en rivière à une pente relativement faible de 0,88 m/km. Le volume de glace à retenir n'a pas été calculé parce qu'avec une pente aussi faible, il n'y aura pas de formation d'embâcle à cet endroit.

3.3 Méthodes de calculs

L'étude de cette solution nécessite la détermination des caractéristiques hydrauliques de l'écoulement en eau libre ainsi qu'avec un couvert de glace. Le logiciel HEC-2 a été utilisé parce qu'il permet de calculer, au droit des 36 sections transversales, les niveaux d'eau ainsi que les autres caractéristiques requises, soit :

- la vitesse moyenne d'écoulement ;
- la largeur en surface, la profondeur et l'aire d'écoulement ;
- la pente d'énergie ;
- les débits dans le chenal principal et la plaine d'inondation.

De plus, en spécifiant l'épaisseur et la rugosité (coefficient « n » de Manning) du couvert de glace à chaque section, le programme permet aussi de calculer :

- la pente d'énergie ;
- la vitesse moyenne d'écoulement sous le couvert de glace ;
- le volume de glace dans le couvert ;
- le critère de stabilité à l'écrasement selon la méthode de Pariset.

La théorie de Pariset et al. (réf. 6) sur l'écrasement du couvert sous l'effet de la poussée dynamique des glaces est principalement utilisée pour préciser la stabilité d'un couvert de glace dans la rivière Chaudière et en amont des deux ouvrages de rétention de la glace sur la rivière Saint-Victor. Pour une épaisseur donnée et une profondeur moyenne d'écoulement, le facteur de stabilité « X » est calculé par l'équation suivante :

$$X = \frac{Q^2}{C^2 B H^4} = \frac{Q^2}{C^2 (B H) H^3} \leq 2,8 \times 10^{-3} \quad (2)$$

où :

X = facteur de stabilité, sans dimension

Q = débit d'écoulement dans le chenal principal (le modèle HEC-2 donne aussi les débits dans les plaines d'inondation) (L^3/T)

C = coefficient de rugosité de Chezy ($L^{1/2}/T$)

B = largeur de la section d'écoulement en dessous du couvert (L)

H = profondeur moyenne d'écoulement incluant la partie submergée du couvert (L)

Lorsque $X \leq 2,8 \times 10^{-3}$, l'embâcle est stable pour les valeurs du rapport t/H comprises à l'intérieur de la courbe en forme de cloche montrée sur la figure 3.6. Celle-ci montre la relation entre le critère de stabilité (X) et l'épaisseur (t) du couvert de glace. La courbe en forme de cloche marque donc la limite d'un couvert de glace stable. On note que si pour une aire d'écoulement donnée, le produit « BH » est constant, cela implique que la stabilité du couvert diminue lorsque la largeur augmente ou que la profondeur diminue. L'exemple ci-dessous démontre ce principe :

$$Q = 1\,000 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$C = 35 \text{ (couvert rugueux)}$$

$$n = 0,035$$

$$B = 100 \text{ m}$$

$$t/H =$$

$$0,33$$

$$X = 2,8 \times 10^{-3}$$

Si on résout l'équation pour H, on trouve :

$$H = 7,35 \text{ m}$$

$$\text{Donc, } B \times H = 735 \text{ m}^2$$

Si on modifie la géométrie de la rivière de telle sorte que la largeur (B) augmente à 150 m (492 pi), alors la profondeur (H) doit diminuer à 4,9 m pour conserver le produit « BH » constant à 735 m². Le critère de stabilité devient alors :

$$X = 9,4 \times 10^{-3} > 2,8 \times 10^{-3}$$

Pour cette valeur de X, le couvert n'est plus stable et s'écrasera sous l'effet de la poussée des glaçons provenant de la débâcle d'un couvert venant de l'amont. Cet écrasement se poursuivra jusqu'à ce que l'obstruction à l'écoulement causée par l'embâcle soit telle que la profondeur d'écoulement (H) au bord frontal amont augmentera sous l'effet des pertes de charge. De cette façon, grâce au rehaussement du niveau d'eau, la valeur du critère de stabilité revient à $X = 2,8 \times 10^{-3}$. Pour ce faire, la profondeur (H) devra atteindre 6,6 m, soit un rehaussement du niveau d'eau de 1,7 m (6,6 m - 4,9 m).

L'effet sera l'inverse si on augmente la profondeur d'écoulement (H). Dans ce cas, le couvert sera plus stable puisque le dénominateur de l'équation (2) augmentera et la valeur du critère de stabilité diminuera sous la valeur critique. Si la profondeur augmente suffisamment, le couvert de glace peut devenir stable, même en présence d'un embâcle. La figure 3.6 montre que pour un facteur de stabilité inférieur à $2,8 \times 10^{-3}$, un couvert de glace peut demeurer stable même en devenant plus épais (rapport $t/H > 0,4$) lorsque la profondeur d'écoulement (H) est plus élevée. C'est la situation qui se produit au droit de la fosse localisée entre les km 58 et 59 à l'aval de Beauceville.

Dans l'étude des embâcles, nous avons également considéré deux autres relations de base essentielles, pour confirmer la stabilité d'un couvert évaluée par l'équation (2).

Il s'agit des relations concernant :

- la juxtaposition des glaçons au bord frontal amont : cette relation (réf. 7) précise la stabilité de la partie amont du couvert sous l'effet de la poussée statique de la glace ;

- l'érosion et l'accumulation des glaçons sous le couvert de glace : la relation de Meyer-Peter (réf. 7) précise la vitesse limite d'entraînement des blocs de glace en dessous d'un embâcle.

Nous référons les lecteurs aux deux documents indiqués pour les explications sur ces concepts et les méthodes de calculs utilisées pour les analyser.

3.4 Résultats d'analyse

Cette section du rapport présente les résultats de l'étude théorique qui a été effectuée afin de trouver des solutions pour faciliter la débâcle de la rivière Chaudière de l'aval du Rocher vers l'amont jusqu'à Beauceville. Les conditions de débâcle ont été analysées pour les débits de 600, 800 et 1 000 m³/s. Ces valeurs correspondent à la fourchette des débits pour lesquels la débâcle se produit de Saint-Joseph à Beauceville pour les différentes conditions du couvert de glace. Les figures 3.3-P et 3.4-P montrent la localisation des sections entre les km 56 et 61,4 qui sont utilisées dans le modèle HEC-2. Les figures 3.7 à 3.13 donnent les résultats de l'analyse des conditions de débâcle entre la jonction des tributaires Calway/Saint-Victor et Beauceville. Le débit est de 800 m³/s à Beauceville et de 980 m³/s entre Saint-Joseph et les trois tributaires Calway/Saint-Victor/Des Plantes. Ce débit de 800 m³/s correspond au débit naturel de débâcle en aval du Rocher. La débâcle du couvert en aval du Rocher est nécessaire pour faire abaisser le niveau d'eau d'environ 0,8 m, et pour commencer la débâcle en amont du Rocher vers Beauceville. C'est pourquoi il est essentiel d'éviter que la glace provenant de la rivière Saint-Victor s'accumule dans la rivière Chaudière et y provoque un rehaussement du plan d'eau.

La figure 3.1 montre les profils des niveaux d'eau et des « thalwegs » avec et sans remblayage pour un débit de 800 m³/s en eau libre. Le remblayage réduit la section d'écoulement ce qui augmente les vitesses et provoque une légère remontée du niveau d'eau de 0,14 m à Beauceville en condition d'eau libre (sans glace). Ce rehaussement n'entraîne pas d'inondations.

La figure 3.7 montre les vitesses d'écoulement en rivière dans le chenal principal, ainsi que les pentes d'énergie en eau libre, avec et sans remblayage. On note

que le remblayage cause une augmentation de la vitesse d'écoulement et des pentes d'énergie dans la zone du Rocher et vers l'amont entre les km 56 et 58,7 ce qui favorise la débâcle. C'est dans cette zone que les embâcles ont tendance à se former.

La figure 3.8 donne le profil des niveaux d'eau et des « thalwegs » d'un couvert de glace d'une épaisseur de 1,0 m avec et sans remblayage. Une épaisseur de 1 m est l'épaisseur maximum typique du couvert que l'on retrouve à la fin de l'hiver en aval de Beauceville sans embâcle. Dans ce cas, le niveau d'eau à Beauceville a été calculé à 152,0 m avec remblayage et 151,8 m sans remblayage. Ces niveaux sont nettement inférieurs au niveau maximum d'inondation de 153,7 m enregistré avec embâcle en 1993.

Les figures 3.9 à 3.13 montrent, pour un débit de 800 m³/s et après remblayage, la débâcle séquentielle de l'aval vers l'amont d'un couvert de glace typique de 1 m d'épaisseur sur le tronçon situé entre le Rocher (km 56) et Beauceville (km 61,2).

La figure 3.9 démontre les effets du remblayage sur les profils des vitesses d'écoulement, des pentes d'énergie et des coefficients de stabilité. On note que le coefficient de stabilité est inférieur à $2,8 \times 10^{-3}$ partout sans remblayage, on aurait donc un couvert de glace stable. Ce coefficient est supérieur à $2,8 \times 10^{-3}$ avec le remblayage en aval du km 57,53. C'est pourquoi nous estimons qu'un relâchement du couvert de glace est prévu avec le remblayage entre les km 56,15 et 57,53. Sans ce remblayage, un embâcle dans la zone du Rocher est théoriquement stable, ce qui correspond avec les observations des années passées.

Les coefficients de stabilité calculés sont sécuritaires avec le modèle HEC-2 puisque la profondeur « H » est prise entre la surface d'eau et le « thalweg ». L'analyse conventionnelle utilise la profondeur moyenne pour la valeur de « H ». Aussi, la largeur « B » est prise au niveau d'eau plutôt qu'à la base du couvert, ce qui est la valeur utilisée dans l'analyse conventionnelle. En diminuant ainsi la largeur et en augmentant la profondeur, la valeur calculée du critère de stabilité (X) diminue légèrement, ce qui correspond à un couvert plus stable qu'en nature d'où une certaine marge de sécurité pour les calculs.

Les résultats montrés aux figures 3.7 à 3.13 sont calculés avec dix-sept (17) sections transversales. On note que sept (7) de ces sections ont été relevées par GPR et une (1) par le MENVIQ en 1993, mais les dix (10) autres sections viennent des relevés de 1963, tel que montré à la figure 3.1. La comparaison des relevés de 1963 et de 1993 montre qu'il y a peu de changement dans la bathymétrie de la rivière ailleurs que dans les zones d'exploitation de gravier. Les derniers relevés du MENVIQ, faits à l'été 1993, ont montré que la différence la plus importante se trouve au km 58,9 où le niveau du fond est environ 2,0 m plus bas qu'en 1963. Dans le cas où la solution de profilage serait retenue, des relevés additionnels seront nécessaires dans ce secteur pour en finaliser l'étude et la conception.

3.5 Conception des travaux de profilage de la rivière

Les figures 3.3-P et 3.4-P montrent la conception préliminaire des travaux de profilage. Cette conception est basée sur les résultats d'analyse présentés à la section 3.4. Il y a trois types de travaux recommandés pour cette solution visant à contrôler les embâcles.

- 1) **Le rehaussement du fond** de la rivière sur une distance d'environ 3,6 km (tronçon entre les km 55,94 et 59,57). Tel que montré sur les figures, le « thalweg » doit être rehaussé jusqu'à un maximum de 3,0 m dans la zone d'exploitation du gravier, là où les relevés bathymétriques de 1993 ont démontré une modification importante du lit de la rivière depuis les relevés de 1963. Pour le rehaussement, des matériaux tout venant pourraient être utilisés avec au-dessus une couche d'enrochement contenant des agrégats d'un diamètre moyen d_{50} de 0,15 m afin de protéger le fond contre l'érosion par des courants présentant des vitesses calculées de 2,5 m/s. Ces vitesses peuvent être produites lors de la formation et du relâchement des embâcles. Le volume total du remblai a été calculé à 365 000 m³ à partir de neuf sections provenant des relevés bathymétriques de 1963 et de 1993, tel que montré sur la figure 3.1.
- 2) **L'excavation** est recommandée, entre les km 58,6 et 59,2, pour enlever les îlots et les grosses roches et pour profiler les rives. La largeur minimum au

niveau du radier est de 110 m tel que montré sur la figure 3.4-P. Avec ces excavations, on évite la possibilité de la prise d'embâcle, en amenant une stabilité du couvert de glace supérieure à celle calculée théoriquement.

3) Le profilage des rives en aval du Rocher : pour éviter les problèmes, il faut que la débâcle en amont du Rocher survienne après la débâcle et l'abaissement du niveau d'eau en aval du Rocher, et ceci même pour un débit aussi faible que 600 m³/s. Comme cette valeur est inférieure au débit de la débâcle du tronçon de rivière en amont de Beauceville, qui est estimé à 670 m³/s selon les observations de 1993, il faut donc encourager la débâcle en aval du Rocher et ne pas intervenir en amont de Beauceville afin d'y favoriser une débâcle. Les observations et les calculs montrent que la débâcle se produit quand les glaces sortent du chenal dans la plaine d'inondation. Les figures 3.3-P et 3.4-P indiquent que les travaux suivants sont aussi recommandés le long des rives, entre Beauceville et Saint-Joseph afin de libérer les berges du chenal principal de toute obstruction pouvant retenir le couvert de glace en place :

- enlèvement des bourrelets de terre ;
- enlèvement des arbres/arbustes.

En général, le profil moyen du terrain devrait rester le même qu'actuellement, de façon à minimiser les coûts des travaux et l'impact sur l'utilisation agricole de ces terrains. La localisation précise des zones d'intervention, devra être délimitée après des observations détaillées de la débâcle sur ce tronçon.

3.6 Conception des ouvrages de rétention des glaces sur la rivière Saint-Victor

L'embouchure de la rivière Saint-Victor avec la Chaudière est au km 53,4. Certaines années, la Saint-Victor débâcle et de gros blocs de glace sont entraînés par le courant dans la rivière Chaudière. Si la rivière Chaudière n'est pas encore débâclée, il y a un embâcle qui se forme à l'embouchure de la rivière Saint-Victor. Ces embâcles rehausse le niveau d'eau en aval du Rocher, ce qui retarde d'autant plus la débâcle dans

le chenal principal de la rivière Chaudière y compris la débâcle des embâcles entre le Rocher et Beauceville.

La figure 3.5-P montre la conception d'un ouvrage simple de rétention des glaces, qui pourrait empêcher le transport de gros blocs de la Saint-Victor dans la Chaudière, surtout à la suite d'une débâcle précoce de la première. Deux sites ont été prévus afin de retenir temporairement la glace venant de la débâcle sur la Saint-Victor. Le premier est au km SV-0,5⁸ et le deuxième est en amont des rapides au km SV-10,4. À chaque site, les glaçons sont retenus par des pieux circulaires en acier remplis de béton, espacés de 5 m. L'espacement entre les pieux, les forces d'impact des glaçons et la taille de l'enrochement requis sont calculés selon les critères et les méthodes de calculs décrits aux sections précédentes.

Ce type d'ouvrage retient la glace par la formation d'un pont de glace et d'un embâcle lorsque les glaçons arrivent en masse et se bloquent entre les pieux.

Il est à noter que l'ouvrage au site 2 (km SV-10,4) sert à retenir les glaçons qui pourraient venir du tronçon amont caractérisé par une pente d'écoulement assez faible. La nécessité de cet ouvrage devra être ré-évaluée au moyen d'observation et de calculs additionnels faisant appel à des relevés bathymétriques sur cette rivière.

3.7 Répercussions sur l'environnement

Nous avons procédé à l'identification et à l'évaluation préliminaire des principaux impacts sur le milieu des ouvrages faisant partie de la solution présentée dans ce chapitre. Cette analyse repose sur l'examen des données disponibles recueillies principalement auprès du MENVIQ et du MLCP.

⁸ SV-05 veut dire au km 0,5 de la rivière Saint-Victor. Le chaînage est compté à partir de la rivière Chaudière (km 0,0).

3.7.1 Description du milieu

Identification de la zone d'étude

La zone d'étude couvre la rivière Chaudière entre la limite sud de la ville de Saint-Joseph et la limite amont de la zone des travaux (km 60,0). La zone d'étude comprend le chenal principal et la plaine inondable. La ville de Saint-Joseph n'est pas comprise dans la zone d'étude. L'ouvrage de rétention de la glace localisé au km SV-0,5 est situé dans la plaine inondable de la rivière Chaudière. La zone d'étude ne comprend pas la zone de l'ouvrage de rétention localisé au site 2 sur la rivière Saint-Victor parce qu'aucune donnée n'a été recueillie sur ce site difficile d'accès.

Nature du lit de la rivière

La rivière et la plaine inondable font partie de l'unité de paysage 13 tel que montré sur la figure 3.1-P du rapport d'étape 1. Les principaux dépôts de surface sont constitués de till (35 %), de dépôts fluviaux (26 %) et de dépôts fluviaux glaciaires (19 %).

Le lit de la rivière est constitué principalement de sable et de gravier. Des affleurements de roc peu étendus sont visibles le long de la berge au Rocher (km 56,5) et à l'aval de Beauceville (km 58, 59 et 61). Les photos apparaissant à l'annexe A montrent la nature du lit de la rivière et des berges entre le Rocher et Beauceville.

Végétation aquatique

La végétation aquatique est peu abondante dans ce secteur de la rivière Chaudière. Un inventaire sommaire en septembre 1993 n'a permis d'identifier que quelques herbiers peu denses à proximité des rives et près des embouchures des tributaires. Les espèces n'ont toutefois pas été identifiées. Les fichiers du MENVIQ sur les plantes rares ne montrent pas la présence d'espèces rares ou menacées dans ce secteur.

Faune et habitats aquatiques

Benthos

Aucune donnée récente n'est disponible dans la zone d'étude. Le MENVIQ a prélevé en 1976 des échantillons sur deux stations dans la rivière, juste en amont et en aval de Sainte-Marie. Les organismes identifiés sont pour la plupart du type tolérant à la pollution, les turbificidés y sont très abondants. En se basant sur le fait que la qualité de l'eau ne s'était pas améliorée depuis 1976, Roche concluait en 1985, que le peuplement benthique de la rivière n'aurait pas été modifié durant cette période dans le secteur de Sainte-Marie. La même conclusion est probablement valable pour les secteurs Saint-Joseph et Beauceville.

Poissons

Paquet et al (réf. 13) ont inventorié la rivière entre Saint-Joseph et Saint-Georges à l'aide de filets et de seines. Entre juin et septembre 1976, 19 espèces de poissons ont été identifiées et dénombrées. Les poissons appartenant à la famille des cyprinidés étaient les mieux représentés avec sept espèces et 65 % des captures. Les auteurs mentionnent que les cyprinidés auraient dû être encore plus abondants compte tenu des caractéristiques de la rivière et de l'effort d'échantillonnage.

La présence de salmonidés serait accidentelle dans la rivière Chaudière, du moins sur ses cours moyen et inférieur. Ces poissons originent vraisemblablement de tributaires de la rivière en aval de Scott. L'Omble-de-Fontaine et la Truite arc-en-ciel sont récoltés à l'occasion par les pêcheurs sportifs fréquentant la rivière. Le Maskinongé, la Perchaude, le Doré et l'Achigan sont un attrait pour plusieurs pêcheurs locaux.

Les frayères

Les données du MLCP datant de 1976 révèlent la présence de frayères d'Achigan à petite bouche dans la rivière Chaudière entre la jonction de la rivière Saint-Victor et Beauceville. Une frayère de Doré jaune a aussi été localisée au pied du Rapide du Diable (km 64,0).

Il faut mentionner que des opérations d'extraction de gravier ont pris place dans la zone d'étude jusqu'en 1990 (F. Beaulieu, ingénieur, MENVIQ, communication personnelle) à l'aval de Beauceville (km 58 à 59) et en amont de Beauceville (km 63 à 64). Ces opérations d'excavation couvraient la rivière sur presque toute sa largeur et ont probablement eu des répercussions sur les zones de frayères identifiées en 1976.

Habitat et faune semi-aquatique et terrestre

Les rives et les berges de la rivière Chaudière sont relativement peu perturbées entre l'embouchure de la rivière Saint-Victor (km 53,0) et le Rocher (km 55). Les activités agricoles dominent dans cette zone et elles ont depuis longtemps modifié le milieu humide habituellement important pour la faune. Le drainage de surface y est important et contribue à assécher les terres rapidement au printemps après la décrue. La végétation arbustive et boisée y est presque absente. Ces conditions rendent ce milieu peu propice au développement de la faune.

En amont du Rocher, jusqu'à Beauceville, les berges et la plaine inondable sont très perturbées par les infrastructures et les activités industrielles et commerciales. Cette partie de la zone d'étude est peu favorable au développement de la faune.

Milieu humain

Le territoire compris dans la zone d'étude comprend dans sa partie sud, la ville de Beauceville et la municipalité de Saint-François ouest. L'occupation des sols de l'unité de paysage 13 indique qu'environ 25 % de la zone est urbanisée, 60 % constituée de terres agricoles et de friches, 10 % de boisé et 5 % d'eau (la rivière). Les activités agricoles, commerciales et industrielles sont donc importantes dans la zone d'étude. À proximité de la rivière, la plupart des terres sont en culture, principalement pour le foin. Les activités commerciales sont concentrées à Beauceville, particulièrement le long de la rue Renaud qui longe la rivière du côté « est ». Ces activités sont donc très sérieusement affectées par les inondations. Les principales industries sont localisées en dehors de la plaine inondable.

**3.7.2 Identification des impacts reliés à la construction,
à la présence et à l'utilisation des ouvrages**

3.7.2.1 Généralités

Les impacts sont identifiés pour les principales composantes des projets, activités ou structures, en fonction des composantes les plus sensibles de l'environnement de chacun des sites. Les impacts potentiels identifiés sont sommairement décrits et évalués au moyen de critères qualitatifs. Cette méthode permet de mettre en évidence les perturbations les plus significatives et de juger de leur sévérité.

L'impact sera qualifié de faible, de moyen et de fort. Un impact faible est peu dérangeant pour l'écosystème, les composantes du milieu ne sont pas affectées ou ne le sont que légèrement. Dans un tel cas, la superficie affectée est généralement faible et la perturbation est de courte durée. L'intensité de l'impact est moyen lorsque l'on juge que la perturbation affecte de façon significative les composantes du milieu; de même, le fonctionnement de l'écosystème pourra être affecté sans toutefois mettre en péril l'existence même de l'écosystème. Un impact fort est délétère pour l'écosystème. Ce type d'impact détruit une partie importante des composantes de l'écosystème et affecte de façon irréversible son fonctionnement.

3.7.2.2 Impacts associés aux activités de chantier et aux travaux dans la rivière

La solution présentée dans cette section comprend les travaux suivants :

- rehaussement du niveau du fond par remblayage sur une distance de 3,6 km (km 55,94 à 59,57). Le volume de matériaux est de 365 000 m³ ;
- l'excavation d'îlots entre les km 58,6 et 59,2. Le volume de ces excavations est peu élevé (5 000 m³) ;
- le profilage des rives par l'enlèvement de bourrelets entre Saint-Joseph et Beauceville (km 48 à 59). Le volume de terrassement a été estimé à 250 000 m³ ;

- la construction de deux ouvrages de rétention de la glace sur la rivière Saint-Victor.

Les travaux de chantier impliquent l'utilisation d'une machinerie lourde (pelles excavatrices, camions et bulldozers) en opération dans le lit de la rivière, sur les berges et les chemins d'accès. Le remblayage du fond de la rivière exigera la construction de rampes d'accès et de remblais temporaires parallèles à l'axe de la rivière. Les rampes d'accès à la terre ferme sont requises à tous les kilomètres. Les remblais et les rampes seront enlevées au fur et à mesure de la progression des travaux. La construction peut se faire sur une période d'environ 6 mois débutant après la crue de printemps. Comme les travaux sont répartis à plusieurs endroits, ils peuvent être effectués simultanément par des équipes différentes. Les répercussions sur le milieu humain seront liées aux activités de chantier principalement le bruit, la poussière et la circulation des camions sur les routes principales longeant la rivière des deux côtés. Les exploitations agricoles seront touchées là où les travaux de terrassement seront effectués pour aplanir les bourrelets le long de la rivière. Il faut considérer qu'une bande de terrain d'environ 50 m en moyenne peut être touchée par ces travaux le long des berges. Les terres agricoles touchées par les travaux devront être remises en état.

Les activités de construction seront des sources de perturbations des milieux aquatiques et riverains. On anticipe des émissions de poussière, une compaction possible des sols sur les berges, le piétinement et le bris de la végétation riveraine par endroits, le dérangement de la faune terrestre, semi-aquatique et aquatique et la perte temporaire d'habitats.

Les répercussions sur le milieu humain sont considérées faibles compte tenu du caractère temporaire de ces perturbations et de la faible étendue des zones touchées par les travaux. En ce qui concerne le milieu biophysique, les inventaires datent de près de 20 ans, il est donc difficile d'évaluer les répercussions. Les inventaires indiquent cependant l'absence d'espèces rares ou menacées dans ces zones.

3.7.2.3 Impacts associés à la présence des ouvrages

Nouveau lit de la rivière Chaudière

Le rehaussement du lit de la rivière amènera une modification des conditions d'écoulement en eau libre et avec couvert de glace. En eau libre, on observera une augmentation des vitesses d'écoulement en période de crue d'environ 15 à 20 % entre les km 56 et 58,5 et une diminution de 10 % de ce point vers l'amont jusqu'au km 61,5. Ces conditions entraîneront une légère hausse des niveaux d'eau d'environ 0,10 m (4 pouces) sur ce tronçon. Cette augmentation ne causera pas d'inondation en eau libre à Beauceville. L'augmentation des vitesses sera trop faible pour provoquer l'érosion des berges.

Les calculs des conditions d'écoulement, avec un couvert de 1 m d'épaisseur, typique de celui existant sur ce tronçon en fin d'hiver, montrent que les niveaux d'eau augmentent entre 0,25 et 0,50 m à un débit de 800 m³/s (voir figure 3.8). Les niveaux d'eau demeurent inférieurs à la cote d'inondation à Beauceville.

En éliminant les fosses, le remblayage du lit aura pour effet d'uniformiser la section et de diminuer les profondeurs moyennes d'écoulement à faible débit entre les km 57 et 59. Les calculs des conditions d'écoulement en eau libre à un faible débit de 50 m³/s indiquent que la profondeur moyenne diminuera de 1 à 2 m sur le tronçon où le remblayage est fait. Elle sera d'environ 1,60 m dans la courbe du rocher (km 56 à 57) mais demeurera à moins de 0,50 m au km 57 pour augmenter à environ 1,0 m jusqu'au km 59 (au lieu de 1,25 m). En amont du km 59, la profondeur sera légèrement plus élevée qu'en conditions actuelles (+0,10 à + 0,30 m). Les vitesses d'écoulement augmenteront d'environ 0,30 m/s à 0,50 m/s dans la zone remblayée. Visuellement, la rivière devrait présenter un aspect plus agréable puisque les zones exondées au droit des batardeaux apparaissant sur les photos (voir annexe A) devraient disparaître.

Il sera possible, lors de la conception finale, de modeler le radier de la rivière pour augmenter la profondeur d'écoulement en période d'étiage et s'assurer d'une forme stable et esthétique du chenal dans la zone remblayée.

Effets des travaux sur le mouvement de la glace et l'érosion des berges

Tel que mentionné au rapport d'étape 1 (chapitre 6), l'attaque répétée de la glace et de l'eau en raison des hauts niveaux d'eau atteints au printemps lors des crues importantes est le principal facteur d'érosion modelant la configuration et la pente des berges de la rivière Chaudière. La solution présentée dans ce chapitre favorisera la débâcle du couvert à l'aval du Rocher à des niveaux d'eau légèrement inférieurs aux niveaux actuels. En amont du Rocher, la débâcle du couvert se fera également à des niveaux inférieurs même en présence des glaçons provenant de la débâcle du tronçon en amont de Beauceville. Avec des niveaux d'eau plus bas, la quantité de glace s'écoulant sur les berges diminuera en amont du Rocher. Il est cependant difficile à ce stade des études de prédire si la quantité de glace s'échouant sur les berges augmentera en aval du Rocher. À notre point de vue, les bourrelets peuvent contribuer à réduire la quantité de glace s'échouant dans la plaine inondable. La baisse du niveau d'eau dans la Chaudière résultant de la rétention de la glace sur la Saint-Victor devrait favoriser le maintien du couvert de glace dans le chenal. Globalement, il ne devrait pas y avoir d'augmentation importante de la quantité de glaçons transportés par l'écoulement dans la plaine inondable et ce malgré l'arasement des bourrelets. Les modifications au régime d'écoulement ne seront pas suffisantes pour avoir un impact sur la dynamique actuelle de l'érosion des berges par la glace sur la rivière Chaudière.

L'ouvrage localisé à l'embouchure (km SV-0,5) de la rivière Saint-Victor est conçu pour retenir la glace dans cette rivière. Sa forme en L vise à réduire l'accumulation des blocs de glace dans la plaine inondable. Un rehaussement du niveau d'eau est à prévoir en amont suite à la formation d'un embâcle derrière les pieux. Leur hauteur a été limitée à la cote 150,0 de façon à permettre à une partie des glaçons de passer par dessus lorsque le débit dépasse celui de la crue moyenne annuelle. De cette façon, on limite le rehaussement du plan d'eau en amont et les répercussions sur les résidences (peu nombreuses) localisées en bordure de la rivière. Une étude plus détaillée sera requise pour évaluer le rehaussement des niveaux d'eau pour différents volumes de glace dans l'embâcle. Des relevés bathymétriques et des observations des conditions de débâcle devront être faits sur la rivière Saint-Victor pour fournir les données requises pour une telle étude.

3.8 Coût de la solution

Les coûts des travaux pour la réalisation de cette solution sont indiqués aux tableaux 3.1 et 3.2. Les principaux coûts sont reliés au remblayage du lit de la rivière. En ce qui concerne les excavations pour le reprofilage des rives, il s'agit des travaux requis pour enlever les bourrelets et les arbres le long des rives qui retiennent le couvert dans le chenal principal. Nous avons supposé que les matériaux excavés des bourrelets seraient étendus sur les terrains. La quantité indiquée est un ordre de grandeur, car la délimitation des zones à excaver doit reposer sur des observations faites sur le terrain, afin de déterminer les endroits où le couvert reste accroché aux rives au cours de la débâcle.

Le coût total de l'ensemble des travaux proposés est évalué à environ 9 373 000 \$. Ces coûts ne comprennent que les coûts de construction et excluent les montants requis pour les déboursés suivants :

- les servitudes, droits de passage, etc. ;
- les honoraires (arpenteurs, notaires, avocats, ingénieurs) ;
- les frais d'intérêt pendant la construction ;
- les mesures de remédiation des répercussions sur l'environnement ;
- les taxes ;
- les coûts d'opération et d'entretien annuels.

TABLEAU 3.1**ÉTUDE DE MODÉLISATION DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE****BORDEREAU DES QUANTITÉS ET DES COÛTS DE CONSTRUCTION**
EXCAVATION ET REMBLAYAGE ENTRE LE ROCHER ET BEAUCEVILLE

TRONCON LE ROCHER – BEAUCEVILLE			
Activités	Prix unit.	Quantité	Coût
– Mobilisation / Démobilisation	150 000\$	1 forfait	150 000\$
– Excavation et reprofilage des rives	5\$	255000 m³	1 275 000\$
– Remblayage du fond	15\$	365000 m³	5 475 000\$
Contingences (15%)			1 035 000\$
TOTAL			7 935 000\$

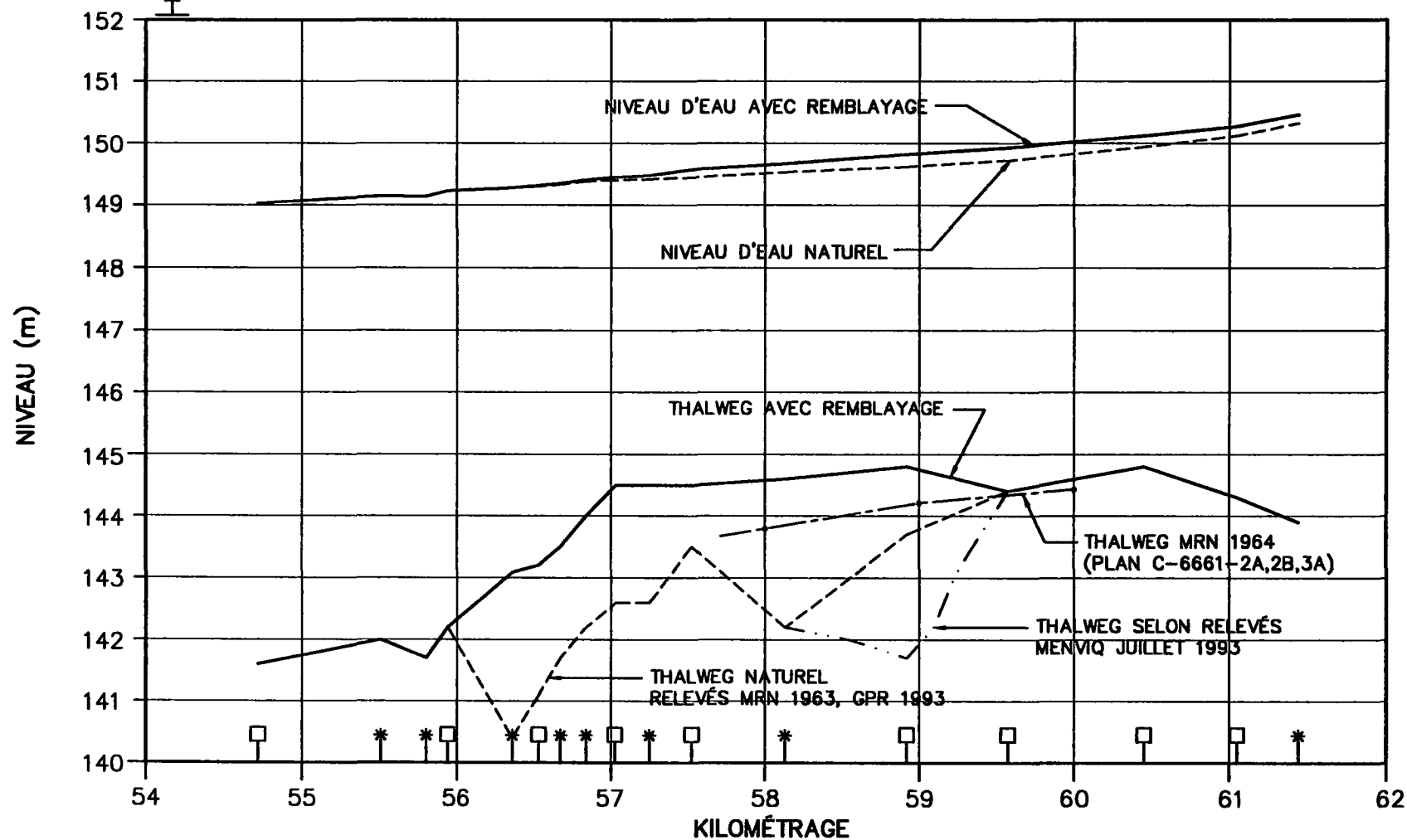
TABLEAU 3.2**ÉTUDE DE MODÉLISATION DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE****BORDEREAU DES QUANTITÉS ET DES COÛTS DE CONSTRUCTION**
OUVRAGES DE RÉTENTION DES GLACES SUR LA RIVIÈRE BRAS ST-VICTOR

RIVIÈRE BRAS ST-VICTOR			
Activités	Prix unit.	Quantité	Coût
– Mobilisation / Démobilisation	50 000\$	1 forfait	50 000\$
<u>SITE 1</u>			
– Excavation	10\$	7000 m³	70 000\$
– Enrochement	20\$	4500 m³	90 000\$
– Pieu tubulaire 800 mm Ø			
– Frontal	20 000\$	13 unités	260 000\$
– Latéral	12 000\$	23 unités	276 000\$
<u>SITE 2</u>			
– Excavation	10\$	4500 m³	45 000\$
– Enrochement	20\$	3000 m³	60 000\$
– Pieu tubulaire 800 mm Ø			
– Frontal	20 000\$	20 unités	400 000\$
– Latéral	12 000\$	0 unité	0\$
Contingences (15%)			188 000\$
TOTAL			1 439 000\$

NOTATION POUR L'ANNÉE DE RELEVÉ DES SECTIONS:

* - SECTION TRANSVERSALE RELEVÉS PAR GPR EN 1993

□ - SECTION TRANSVERSALE RELEVÉS PAR LE MRN EN 1963



RIVIÈRE CHAUDIÈRE
ÉTUDE DE PROFILAGE DU CHENAL
EN AVAL DE BEAUCEVILLE

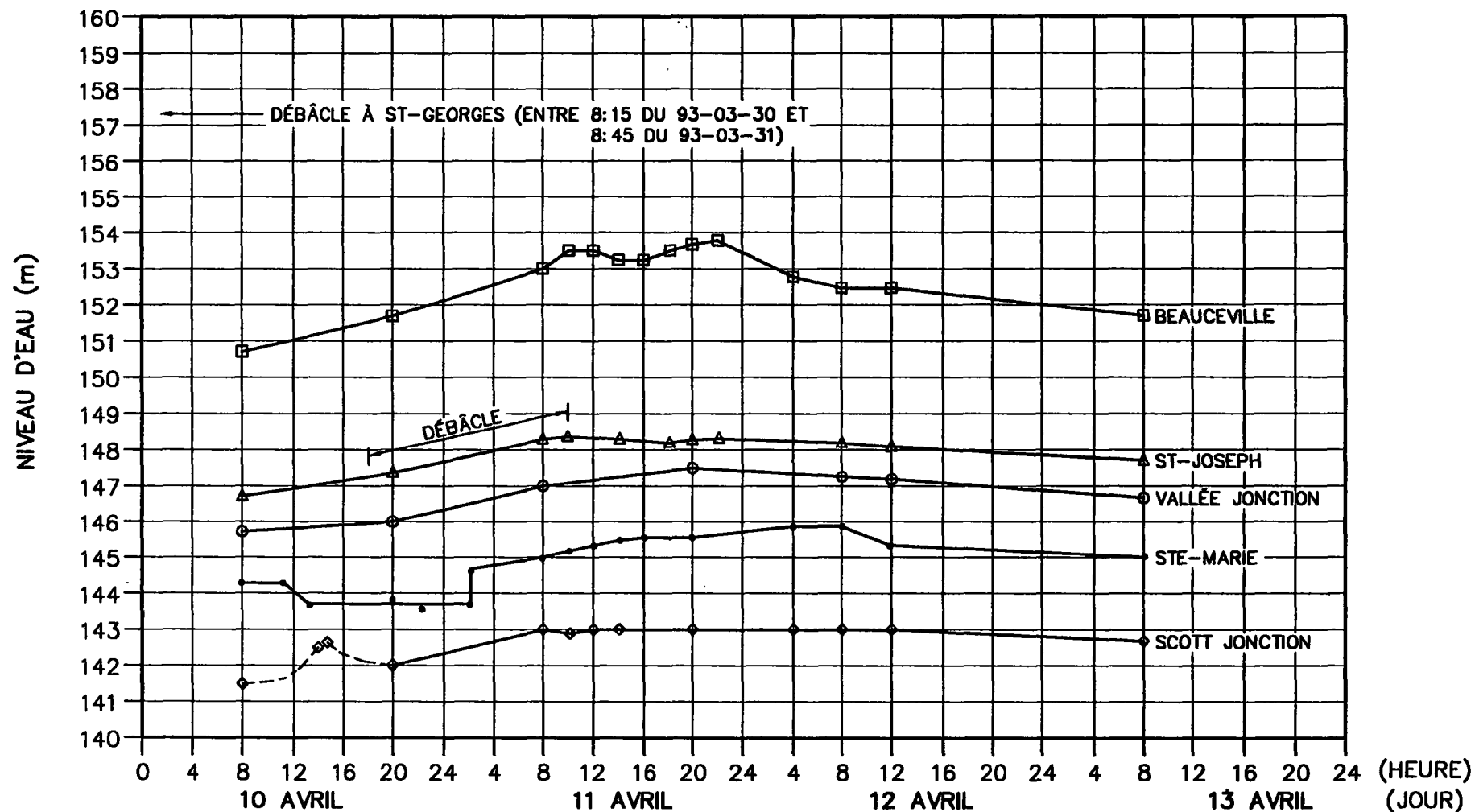
PROFILS D'ÉCOULEMENT EN EAU LIBRE
AVEC ET SANS REMBLAYAGE
DÉBIT = 800 m³/s



PROJET: 4727

DATE: DÉCEMBRE 1993

FIGURE: 3.1



SOURCE: MENVIQ-DIRECTION RÉGIONALE
CHAUDIÈRE-APPALACHE

RIVIÈRE CHAUDIÈRE
ÉTUDE DE PROFILAGE DU CHENAL
EN AVAL DE BEAUCEVILLE

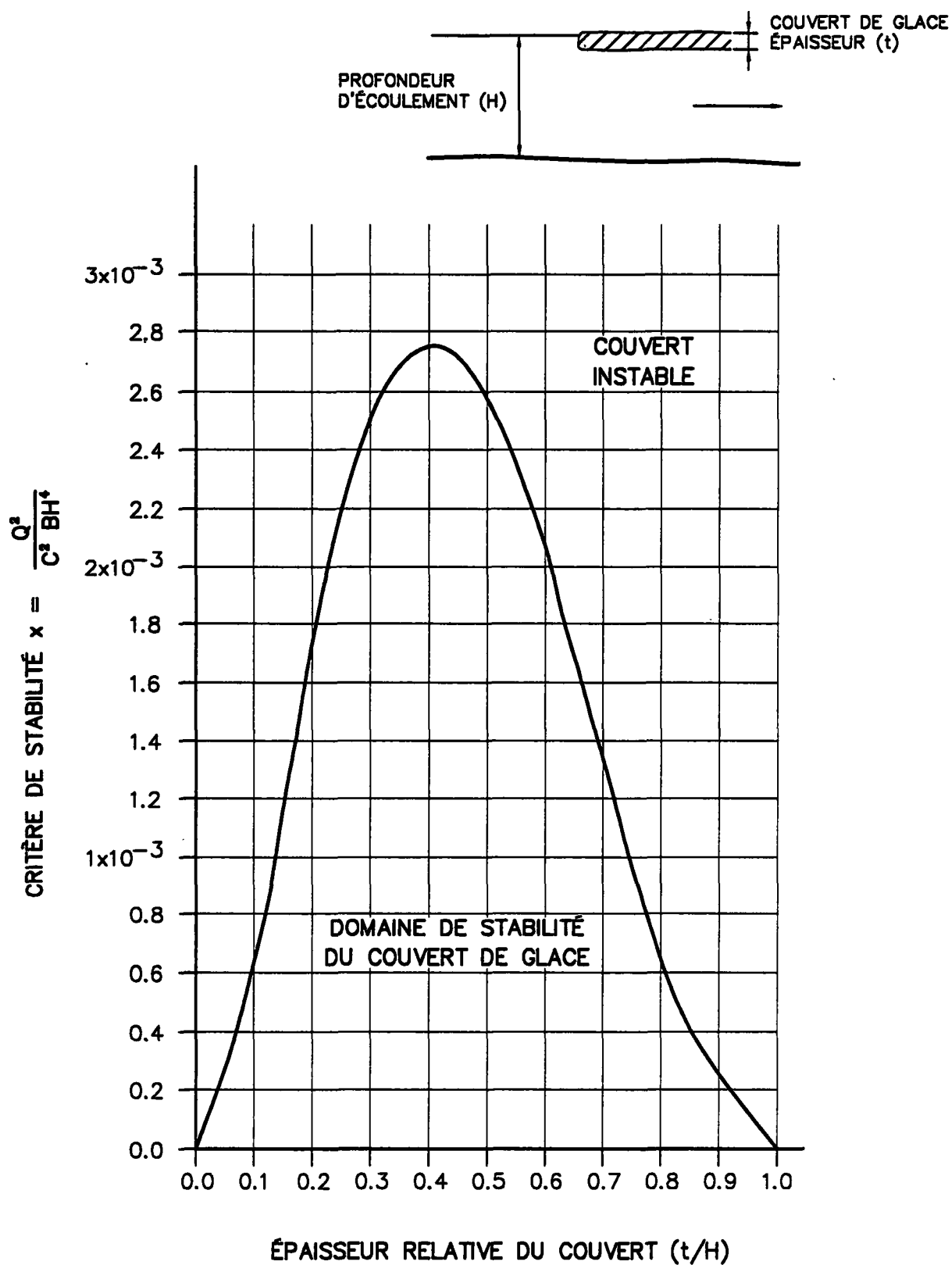


PROJET: 4727

HYDROGRAMMES DES NIVEAUX D'EAU DE LA
CRUE DE 1993 MESURÉS DANS LES VILLES
ENTRE SCOTT JONCTION ET BEAUCEVILLE

DATE: DÉCEMBRE 1993

FIGURE: 3.2



RIVIÈRE CHAUDIÈRE
ÉTUDE DE PROFILAGE DU CHENAL
EN AVAL DE BEAUCEVILLE

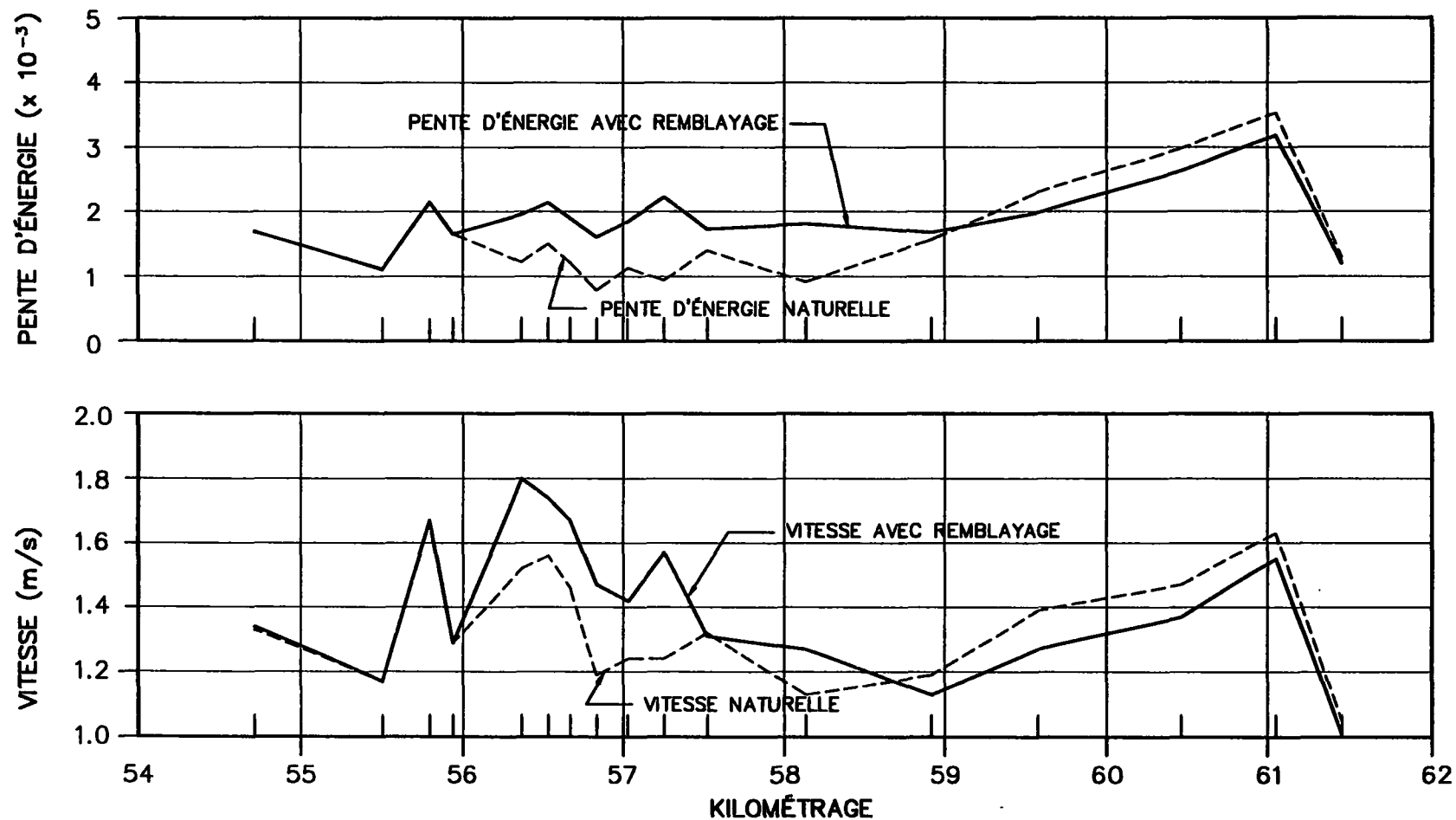
DIAGRAMME ADIMENSIONNEL
DE STABILITÉ
DES COUVERTS DE GLACE



PROJET: 4727

DATE: DÉCEMBRE 1993

FIGURE: 3.8



RIVIÈRE CHAUDIÈRE
ÉTUDE DE PROFILAGE DU CHENAL
EN AVAL DE BEAUCEVILLE

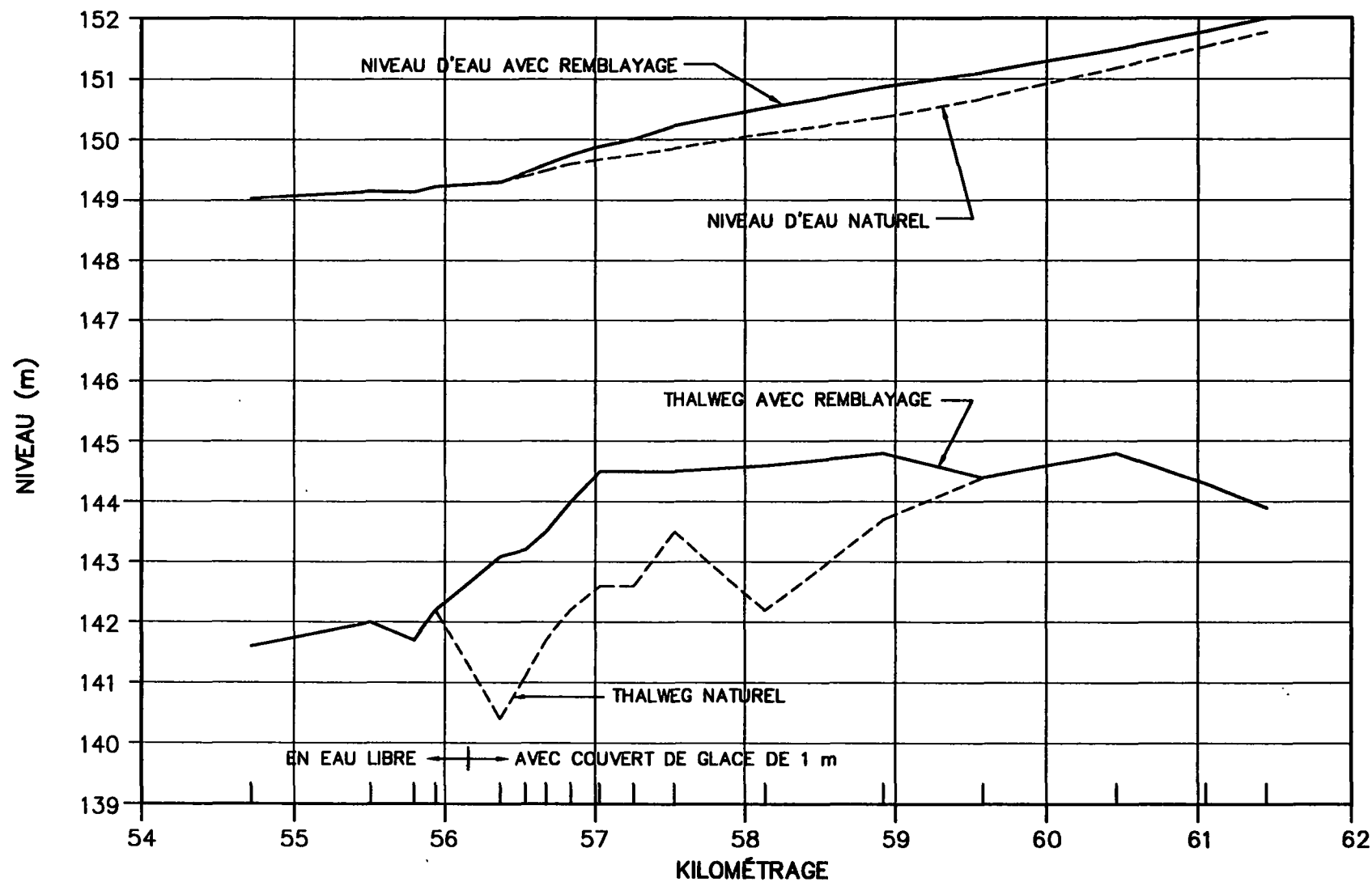


PROJET: 4727

CONDITIONS EN EAU LIBRE
VITESSE D'ÉCOULEMENT ET PENTE D'ÉNERGIE
DÉBIT = 800 m³/s

DATE: DÉCEMBRE 1993

FIGURE: 3.7



RIVIÈRE CHAUDIÈRE
ÉTUDE DE PROFILAGE DU CHENAL
EN AVAL DE BEUCEVILLE

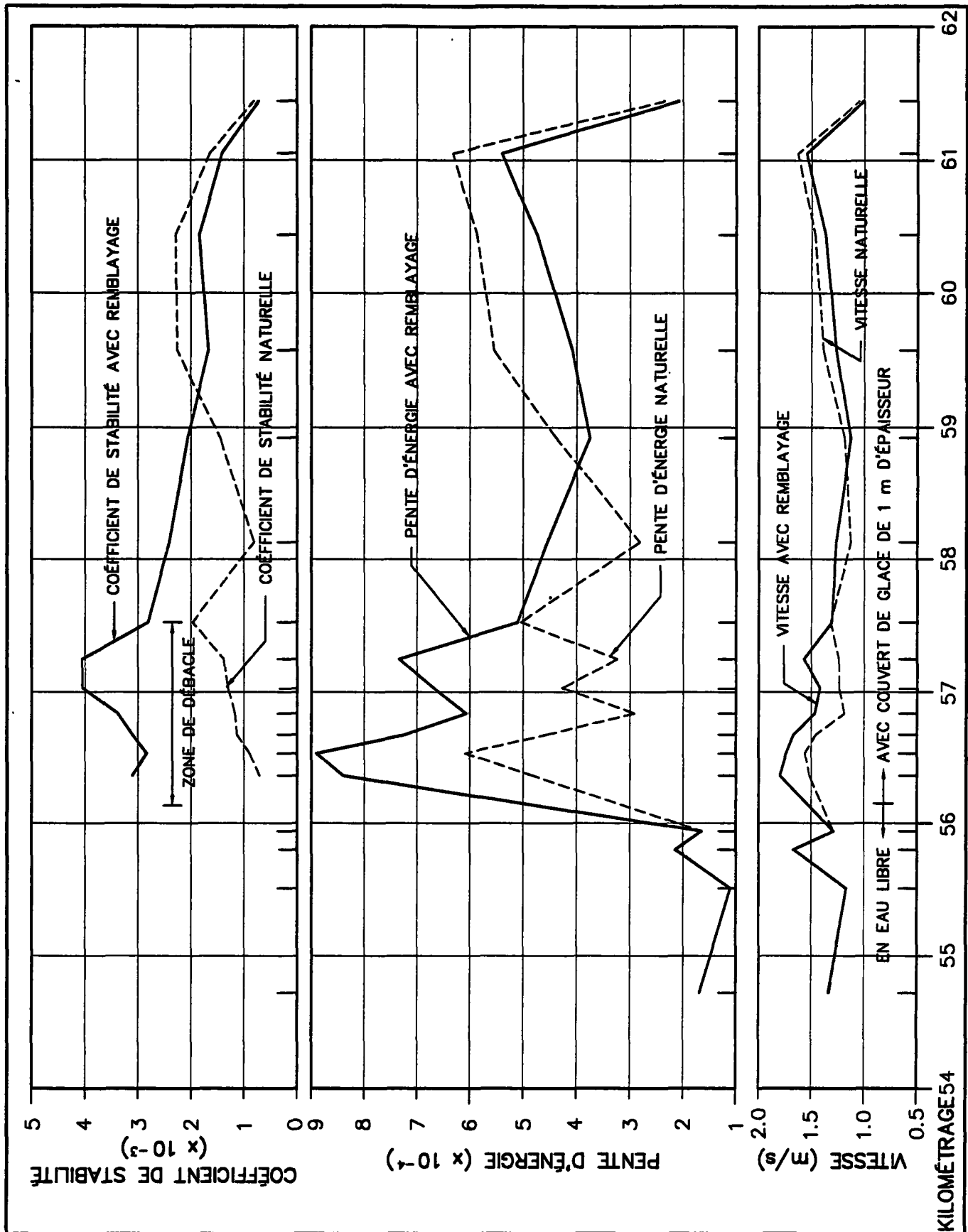
NIVEAU D'EAU
AVEC UN COUVERT DE 1 m D'ÉPAISSEUR
DÉBIT = 800 m³/s



PROJET: 4727

DATE: DÉCEMBRE 1993

FIGURE: 3.8



RIVIÈRE CHAUDIÈRE
ÉTUDE DE PROFILAGE DU CHENAL
EN AVAL DE BEAUCEVILLE

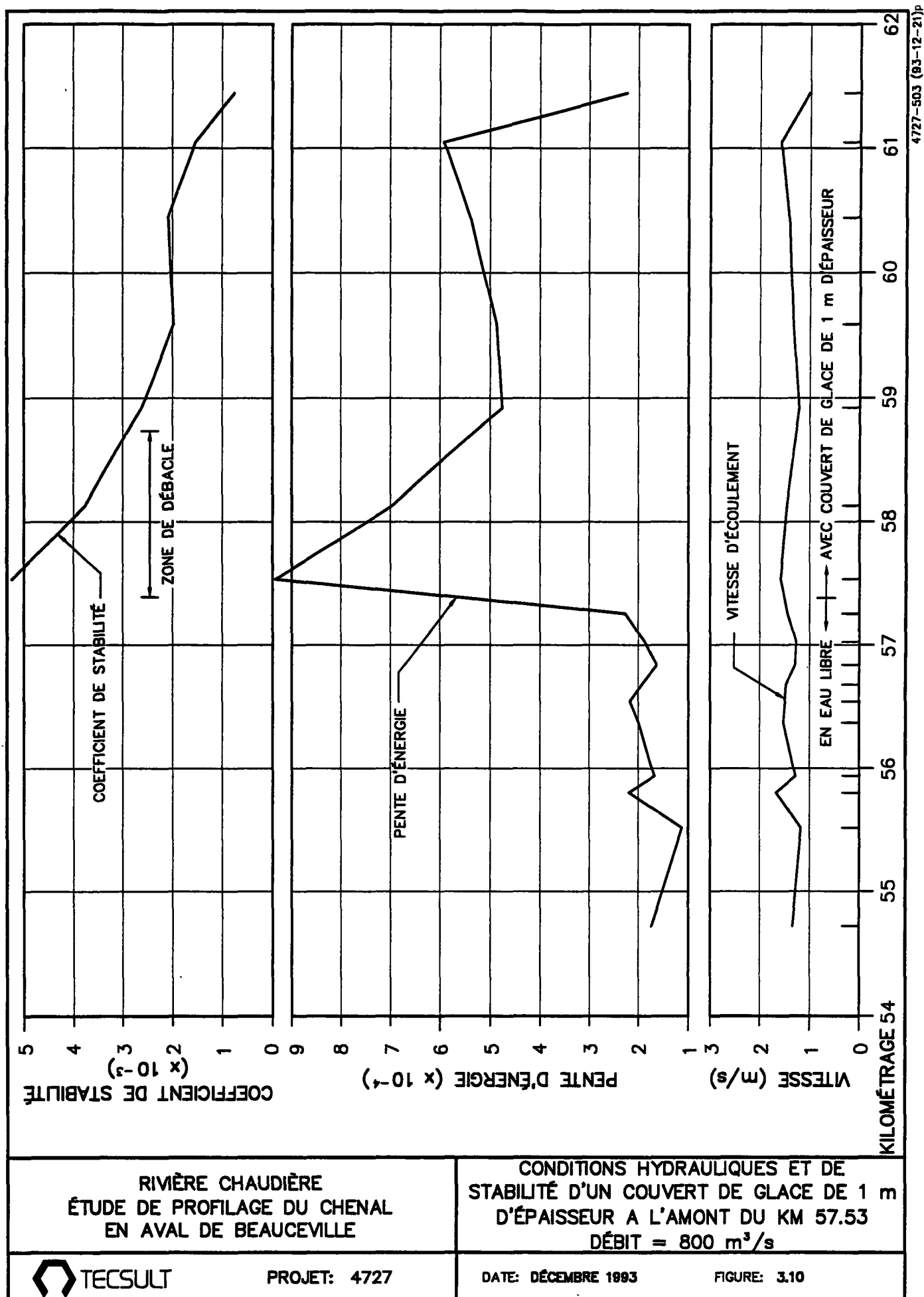
CONDITIONS HYDRAULIQUES ET DE
STABILITÉ D'UN COUVERT DE GLACE DE 1 m
D'ÉPAISSEUR A L'AMONT DU KM 56.0
DÉBIT = 800 m³/s

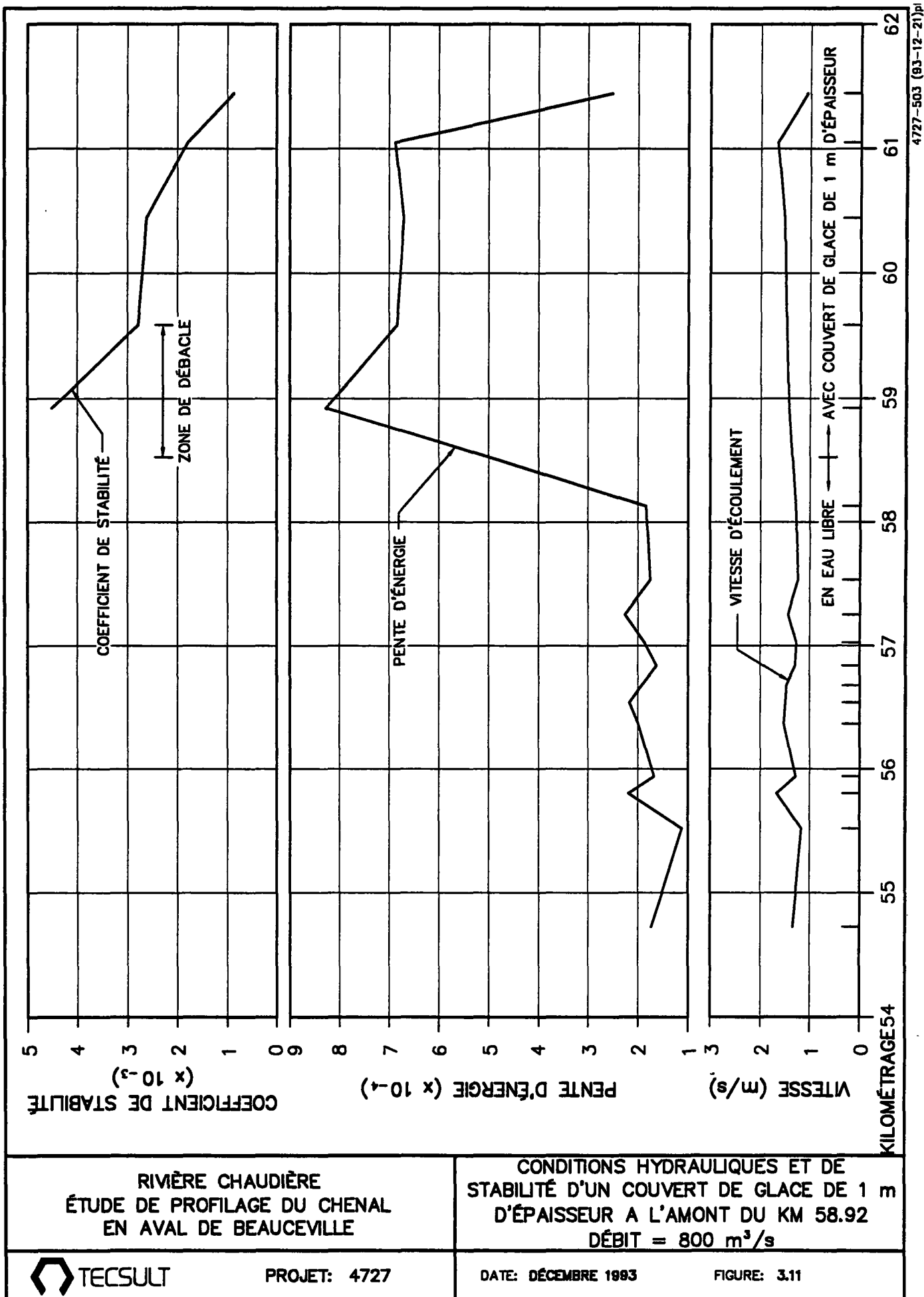


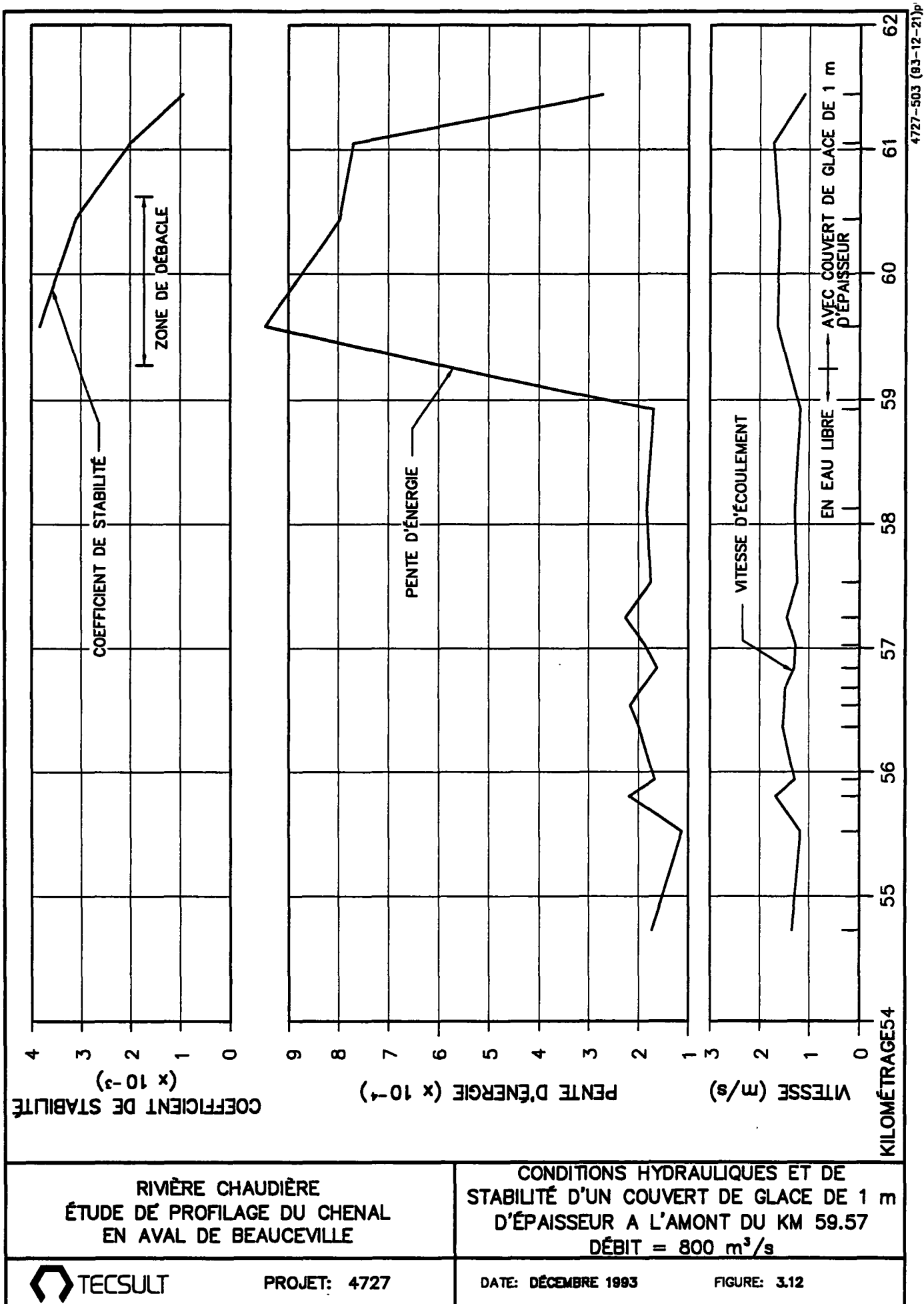
PROJET: 4727

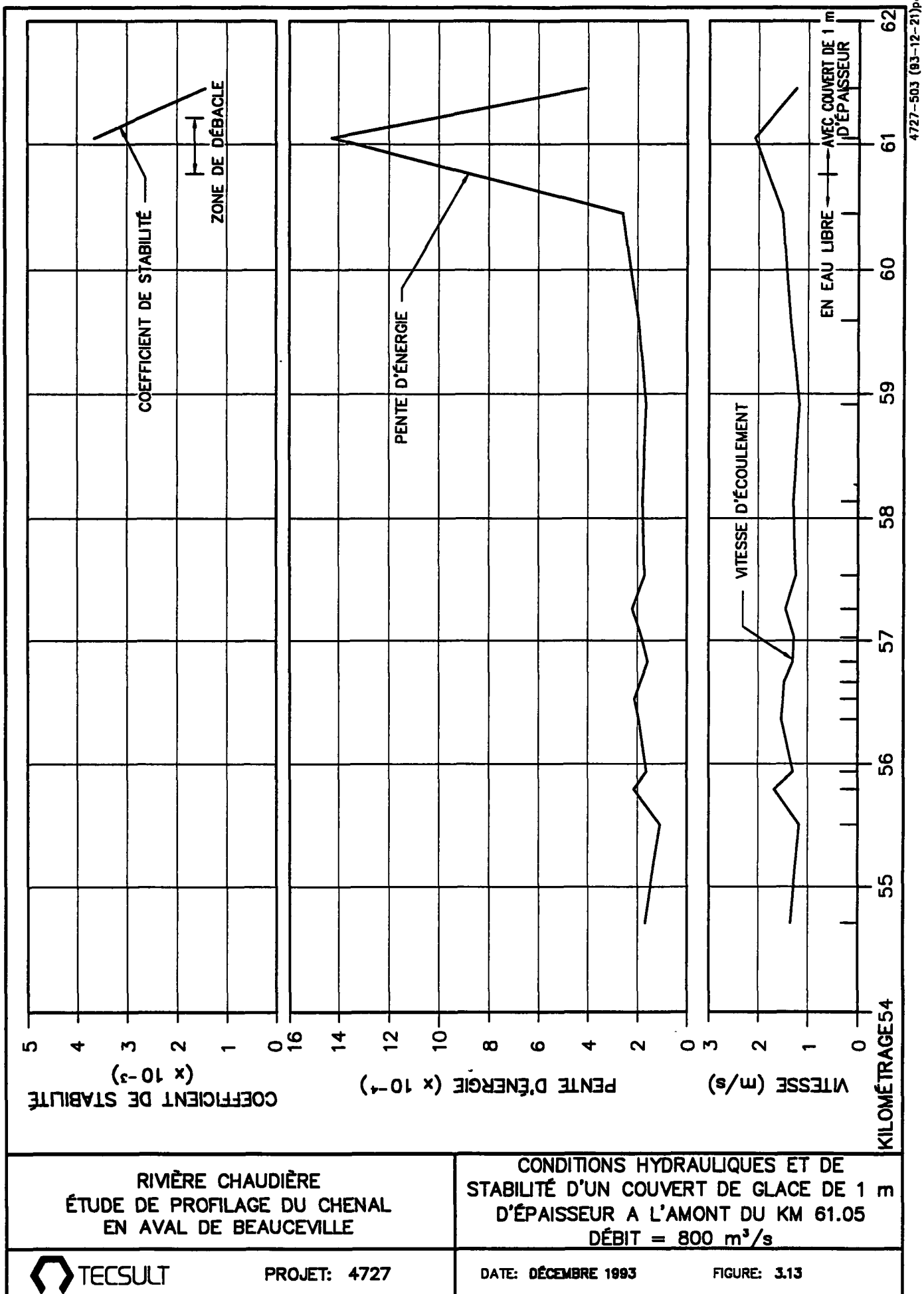
DATE: DÉCEMBRE 1993

FIGURE: 3.9









4.0 SOLUTION PAR BARRAGE DE RÉTENTION DE LA GLACE EN AMONT DE BEAUCEVILLE

4.1 Description de la solution

Les embâcles responsables des inondations à Beauceville résultent de l'accumulation, contre le couvert en place, des glaçons (blocs de glace) provenant principalement de la débâcle du tronçon compris entre le Rapide du Diable (km 64) et Saint-Georges (km 79 +/-).

La débâcle sur ce tronçon précède toujours celle du tronçon en aval de Beauceville, parce que la pente hydraulique de la rivière y est supérieure à celle sur le tronçon en aval de Beauceville et que les autres conditions (largeur, profondeur) y sont également moins favorables pour le maintien d'un couvert stable sous l'effet d'une augmentation du débit. Cette situation est d'ailleurs semblable à celle qui prévalait à Saint-Georges avant la construction du barrage de Sartigan. Le rôle de cet ouvrage est justement de retenir la glace provenant de la rivière Chaudière en amont de Saint-Georges pour éviter la formation d'embâcles en aval et les inondations qu'elles peuvent provoquer. Depuis la construction du barrage de Sartigan, ce problème n'existe plus à Saint-Georges.

La solution décrite dans cette section, présente l'aménagement d'un barrage constitué d'une section centrale déversante en béton, flanquée de digues, pour retenir les glaçons en amont de Beauceville, jusqu'à un débit de 1 400 m³/s. Au-delà de cette valeur, les glaçons sont relâchés progressivement vers l'aval, sans la possibilité de former un embâcle, compte tenu du fait qu'à ce débit, la débâcle du couvert de glace existant en aval de Beauceville s'est déjà produite.

L'ouvrage de rétention de la glace est montré sur les figures 4.1-1 et 4.1-2. Il est localisé au km 63,11, soit à environ 1 km en amont du pont de Beauceville. Les sections qui suivent présentent les données, les critères, les méthodes ainsi que les résultats des calculs ayant conduit au choix de la localisation et de la conception de l'ouvrage proposé.

4-2

4.2 Données, critères et hypothèses de calculs

4.2.1 Données utilisées

4.2.1.1 Bathymétrie et topographie

Les caractéristiques hydrauliques de l'écoulement en eau libre et avec couvert de glace ont été évaluées au moyen de 28 sections transversales comprises entre Beauceville (km 61,445) et Notre-Dame-des-Pins (km 68,610). Seize de ces sections ont été tracées à partir de relevés bathymétriques effectués en 1993 par GPR International Ltée, le reste provient des sections relevées dans les années soixante par le MRN. La topographie des berges et de la plaine d'inondation provient des cartes du risque d'inondation à l'échelle du 1:2 000, dont les contours sont à intervalle de 0,5 m.

4.2.1.2 Débits de crue

Les débits de crue et leur fréquence ont été évalués à Beauceville, à partir des débits mesurés de 1969 à 1992 à la station 023429 située à 0,1 km en aval du barrage Sartigan. Cette station a été choisie, compte tenu de la période d'enregistrement plus longue qu'à la station 023426 (1965-1981) située à 4,7 km en amont de Beauceville. Les débits de la station 023429 ont été majorés par le rapport de la superficie des bassins versants pour les transposer à Beauceville. Les débits obtenus ont été ajustés en transposant les débits pour les mêmes fréquences obtenues de l'analyse des données de la station 023402 à Saint-Lambert (période 1915-1991). Le tableau 4.1 indique les fréquences des débits de crue estimées à Beauceville, à partir des calculs faits en utilisant la loi de distribution de log Pearson III.

4.2.1.3 Débits de débâcle

Les débits de débâcle sur les tronçons en amont et en aval de Beauceville sont basés sur les valeurs mesurées lors de la débâcle de 1993. Ainsi, pour les conditions météorologiques (température, précipitation) du printemps, les débits de débâcle sont tels qu'indiqués au ci-après :

Tableau 4.1 Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière Fréquences des débits de crues à Beauceville	
Fréquence	Débit (m³/s)
1/4 ans	1 000
1/10 ans	1 140
1/100 ans	1 485
1/500 ans	1 690
1/10 000 ans	2 500

Notes: 1) Le débit de la crue décamillénale (1:10 000 ans) est basé sur la valeur de 3 500 m³/s à Saint-Lambert lors de la crue du 31 juillet 1917 [3 500 x 0,72].

2) Les débits de crues sont évalués en transposant les valeurs obtenues aux stations de Saint-Lambert (023402) et de Sartigan (023429).

4-4

- En amont de Beauceville pour un couvert de glace statique : 670 m³/s
- Entre Beauceville et le Rocher pour la débâcle d'un embâcle : > 1 120 m³/s

4.2.1.4 Volumes de glace à la débâcle

Le volume de glace venant de l'amont de Beauceville (km 63,16) est évalué à 1,58 millions de mètres cubes (m³) en considérant 85 % de la superficie du plan d'eau jusqu'au barrage Sartigan et une épaisseur moyenne du couvert de 0,60 m. Nous supposons que 15 % du volume du couvert de glace demeure sur les rives ou dans les chenaux secondaires des îles où l'écoulement est trop faible pour transporter la glace. Cette hypothèse a été vérifiée par des observations sur place faites en février 1993, après une première débâcle survenue au début de janvier.

Ce volume ne tient pas compte de la glace provenant de tributaires comme la Famine ou la Pozer. Ce volume est considéré faible compte tenu de la largeur restreinte de ces cours d'eau.

L'embâcle qui a causé les inondations à Beauceville au printemps de 1993, s'étendait du km 58,5 au km 60,5 selon les observations faites par le MENVIQ. Nous évaluons le volume de glaçons dans cet embâcle à 875 000 m³.

4.2.2 Critères de conception et hypothèses de calculs

4.2.2.1 Critères hydrauliques sur les conditions de glace

- 1) Les valeurs suivantes ont été prises pour le coefficient de Manning « n » dans les calculs des pertes de charge par frottement :
 - a) la rugosité du fond de la rivière est estimée à 0,035 ;

b) la rugosité du couvert de glace est estimée :

- pour un couvert mince d'une épaisseur inférieure à 1,5 m : entre 0,025 et 0,030 ;
- pour un couvert épais formé d'une accumulation de glaçons à 0,035.

2) L'épaisseur nominale d'un couvert thermique de glace à la débâcle est estimée à 0,60 m en se basant sur les sections en travers mesurées par le MENVIQ en 1992 et 1993. L'épaisseur d'un couvert thermique augmente pendant l'hiver, à cause du refroidissement par l'air de l'eau sous la glace. Elle diminue au printemps sous l'effet du réchauffement de l'eau et de l'air.

3) La taille des blocs de glace pour les études d'érosion et d'accumulation des glaçons transportés sous le couvert est basée sur l'expérience du concepteur. Les vitesses d'entraînement sont calculées par la méthode de Meyer-Peter (réf. 7) :

- pour la débâcle d'un couvert partiellement pourri (affaibli par le rayonnement solaire) la dimension moyenne des glaçons est $d_{50} = 0,75$ m et la vitesse d'entraînement $v_u = 1,6$ m/s. Un couvert pourri est un couvert qui a commencé à fondre sous l'effet du réchauffement de l'air et des rayons du soleil ;
- pour la débâcle précoce d'un couvert sain (solide), $d_{50} = 1,5$ m et $v_u = 2,3$ m/s. Un couvert est sain lorsque la glace n'a pas encore commencé à fondre.

4) La stabilité mécanique des couverts de glace a été évaluée grâce aux hypothèses et aux critères suivants :

- les observations de 1993 ont permis d'évaluer le débit de débâcle en rivière d'un couvert thermique ;

- pour les couverts formés d'accumulation de glaçons, les conditions de stabilité reposent :
 - pour l'écrasement du couvert sur la méthode de Pariset et al. (réf. 6) ;
 - pour la vitesse d'érosion/déposition des glaçons sur la théorie de Meyer-Peter (réf. 7).
- 5) La porosité d'un couvert formé d'accumulation de glaçons est estimée à 35 %. Cette valeur est conforme à la porosité moyenne pour un matériau granulaire grossier uniforme (30-40 %).

4.2.2.2 Critères de conception du barrage de rétention des glaces

- 1) Les critères concernant les niveaux d'eau en amont du barrage sont les suivants :
 - le rehaussement du niveau d'eau ne devrait pas causer d'inondations importantes ni entraîner des travaux additionnels considérables pour la protection des propriétés existantes en amont ;
 - le niveau d'eau maximum en amont :
 - pour un débit de 1 400 m³/s (avec glace) : 155,0 m
 - pour un débit de 1 725 m³/s (sans glace) : 155,0 m
 - pour un débit extrême de 2 500 m³/s (crue décennale) : 156,4 m.
- 2) Le coefficient de débit pour la conception des seuils « déversant » : 2,0 m^{1/2}/s. Ensuite, les corrections pour les effets de submergence, pour les pertes d'approche dues aux piliers et les autres facteurs sont considérées.
- 3) Les poussées d'impact de la glace contre le mur de rétention et la vanne d'évacuation : selon les critères de la Société d'Énergie de la Baie James (réf. 8).

- 4) La conception du bassin de dissipation repose sur les critères du U.S. Bureau of Reclamation (réf. 5).
- 5) La crête du barrage est fixée à 158 m, en tenant compte des valeurs suivantes pour la revanche :
 - valeur minimum normale : 3,0 m
 - valeur pour le débit extrême : 1,6 m.

4.2.2.3 Autres critères

Les critères pour la conception du barrage et de la digue sont ceux normalement utilisés par Tecsuit pour des évacuateurs de crue et des digues réalisés pour la SEBJ et Hydro-Québec. Ces critères concernent les aspects géotechniques (épaisseur, type, granulométrie des matériaux, injection et traitement du roc de fondation) et structuraux (cas de chargement, facteurs de sécurité, etc.).

4.3 Méthodes de calculs hydrauliques

La conception d'un ouvrage de rétention de la glace doit être basée sur la vérification par calculs des conditions hydrauliques en eau libre et avec couvert de glace, résultant de la présence et de l'opération de l'ouvrage sous différentes conditions. Les élévations du plan d'eau, les débits et les vitesses d'écoulement doivent être calculés pour différentes géométries des passages hydrauliques, afin de s'assurer de respecter les critères de conception indiqués à la section 4.2. Les calculs des profils d'écoulement ont été effectués au moyen du logiciel HEC-2, qui permet de tenir compte de la présence d'un couvert de glace dont l'épaisseur et la longueur sont déterminées par le volume de glace provenant de la débâcle du tronçon amont et des conditions dictant sa stabilité. Ces conditions sont évaluées pour chacune des géométries étudiées :

- l'écrasement du couvert sous l'effet des poussées de glace et des vitesses d'écoulement est analysé au moyen de la méthode de Pariset et al (réf. 6) ;

- le transport et l'accumulation des glaçons sous le couvert de glace, pour différentes dimensions des glaçons et vitesses d'écoulement, sont évalués selon la méthode de Meyer-Peter (réf. 7).

Ces calculs sont effectués à partir des caractéristiques hydrauliques déterminées au moyen du logiciel HEC-2, en se servant des méthodes décrites dans les références indiquées.

Les calculs hydrauliques permettent ainsi de déterminer :

- la longueur du seuil requis pour le débit de conception ;
- l'élévation de la crête permettant d'emmagasiner le volume de glace tout en respectant le niveau maximum fixé à l'amont (i.e., sans causer d'inondation en amont de l'ouvrage).

Une fois ces dimensions définies, les cartes topographiques sont examinées pour déterminer l'emplacement permettant de satisfaire l'implantation de l'ouvrage, ainsi que les autres critères de localisation, tels que :

- présence de roc pour les fondations ;
- absence d'infrastructure ou de bâtiment dans la retenue.

4.4 Description de l'aménagement

Le barrage de rétention de la glace est localisé au km 63,11, soit environ à 1 km en amont du pont de Beauceville, au droit d'une zone où le socle rocheux est exposé dans le lit de la rivière. À partir de cet endroit vers l'amont, la plaine inondable est plus large sur une distance de 1,5 km, jusqu'au pied du Rapide du Diable, de sorte que le bief amont du barrage peut recevoir un volume de glace important sans causer de rehaussement trop élevé du plan d'eau.

Les dessins 4.1-1 et 4.1-2 montrent la vue en plan et les coupes types du barrage. Le mode de fonctionnement est décrit à la section 4.5. La longueur totale du barrage est de 276 m.

L'aménagement comprend les éléments principaux suivants :

- deux sections de digue en sable avec noyau de moraine (149 m de longueur en crête) ;
- trois sections de seuil déversant, en béton, conçues pour retenir les glaçons et en même temps évacuer la plus grande partie du débit de crue (128,5 m incluant les piliers) ;
- une vanne de fond pour évacuer les débits normaux d'hiver ;
- une passe pour les glaces, équipée avec une vanne wagon pour évacuer les glaçons dans des conditions extrêmes de crue.

La digue en sable et gravier est d'une conception classique et comprend un noyau de moraine pour son étanchéité. L'enrochement utilisé comme perré, est conçu pour résister à la poussée des blocs de glace en amont du barrage.

La coupe A-A du dessin 4.1-2 montre la conception du pertuis de fond. La section d'écoulement est de 4 m x 4 m, ce qui laisse passer un débit de 64 m³/s avec une dénivellation de 1,0 m.

Le seuil fixe comprend les éléments principaux suivants :

- une zone où la rivière est excavée jusqu'à un niveau de fond de 143,50, pour diminuer la vitesse maximum d'approche à 1,2 m/s avec un champ de glace en amont ;
- un seuil déversant de forme standard avec une crête au niveau 151,00. Le seuil fixe est composé de 12 passes, donnant une longueur totale de 94,5 m pour l'écoulement. Une dalle de béton ancrée au roc est située dans le prolongement des coursiers ;
- un bassin creusé dans le roc conçu pour dissiper l'énergie du ressaut hydraulique en aval.

La passe à glace est conçue pour évacuer les glaçons en amont quand le débit total dépasse 1 400 m³/s. Elle comprend les éléments suivants, montrés sur la figure 4.1-2 :

- un radier d'approche au niveau 148,5 pour produire une vitesse minimum de 3,3 m/s aux nez des piliers ;
- un seuil déversant de forme standard au niveau 149,50 avec un coursier et une dalle en béton ;
- un bassin de dissipation conventionnel.

Les glaçons sont retenus dans le bief par un mur fixé au parapet et aux piliers. Ce mur est conçu pour résister à l'impact des glaçons et aux poussées d'un couvert de glace morcelé.

4.5 Mode de fonctionnement des ouvrages

Le mode de fonctionnement de l'aménagement comprend la manipulation de seulement deux vannes: la vanne de fond et la vanne de la passe pour évacuer les glaçons. Le seuil fixe commence à débiter lorsque le niveau d'eau dépasse la crête (151,00 m).

Le fonctionnement de cet aménagement est différent de celui du barrage de Sartigan en ce sens que les glaçons s'accumulent non pas seulement à l'extrémité amont de sa retenue mais sur toute la longueur et la largeur de celle-ci.

La variation des niveaux d'eau en amont et en aval de l'aménagement en fonction des débits est montrée à la figure 4.2. En aval, la courbe 1 donne la variation en eau libre et la courbe 2 donne la variation avec un couvert de glace d'une épaisseur de 0,6 m correspondant à celui qui se forme au cours de chaque hiver. La courbe 3 donne la variation du niveau d'eau dans le bief amont, en fonction du débit et de l'état de l'ouverture des deux vannes.

Le mode de fonctionnement est décrit ci-après, en fonction de la période de l'année :

- 1) pendant la saison estivale : les deux vannes sont ouvertes pour conserver les niveaux d'eau en amont à peu près les mêmes que ceux qui existent actuellement. Un rehaussement de 1 à 1,5 m est possible pour les débits dépassant $100 \text{ m}^3/\text{s}$;
- 2) en hiver : les deux vannes restent ouvertes à moins qu'il y ait une crue d'hiver importante. Dans ce cas, les deux vannes sont fermées (si le débit dépasse $400 \text{ m}^3/\text{s}$) pour éviter le passage des glaçons et la formation d'embâcles en aval de l'aménagement. Ensuite, elles sont ré-ouvertes quand le débit baisse sous $400 \text{ m}^3/\text{s}$ et qu'il n'y a plus de risque de débâcle en amont de l'aménagement ;
- 3) pendant la crue de printemps : au début de la crue de printemps, les vannes sont ouvertes. Elles sont fermées quand le débit dépasse $400 \text{ m}^3/\text{s}$; nous évaluons que la débâcle pourrait commencer à partir de ce débit. Elles restent fermées pour retenir la glace jusqu'au débit de $1\,400 \text{ m}^3/\text{s}$. Pour ce débit, on estime qu'il n'y a plus d'embâcle en aval de Beauceville, ni de possibilité de former un embâcle avec la glace venant de l'amont. Donc, la passe à glace est ouverte pour un débit plus grand que $1\,400 \text{ m}^3/\text{s}$. Finalement, la vanne de fond est ouverte à partir d'un fort débit de crue de $1\,750 \text{ m}^3/\text{s}$ pour minimiser les niveaux d'eau en amont. Avec la crue décennale de $2\,500 \text{ m}^3/\text{s}$, le niveau d'eau en amont serait de 156,4. On note que le débit de la crue de 1/500 ans est de $1\,690 \text{ m}^3/\text{s}$, et donc en pratique la vanne de fond resterait fermée jusqu'au départ des glaces. Ensuite, pour n'importe quel débit, les deux vannes sont ouvertes au début de la saison estivale de façon à maintenir des conditions d'écoulement en eau libre en amont du barrage les plus semblables à celles qui existent actuellement.

4.6 Analyse des conditions de glace avec le barrage

Les ouvrages ont été conçus en fonction des données de base, des critères de conception, des hypothèses de calculs hydrauliques ainsi que des conditions de couvert de glace décrites précédemment. Cette section présente les résultats de l'analyse des conditions de glace qui existeraient en amont de Beauceville une fois le barrage construit.

Le débit entraînant la débâcle est principalement fonction de l'épaisseur du couvert de glace et de sa résistance. La résistance diminue avec la quantité du rayonnement solaire et le nombre de degré-jours de fonte. Donc, une crue précoce causée par des pluies abondantes en mars produit une débâcle avec un couvert de glace sain et résistant, alors qu'une crue résultant d'une fonte de neige lente avec beaucoup de jours ensoleillés, produit la débâcle d'un couvert de glace affaibli (pourri) donc une débâcle relativement tranquille. Au début du printemps, nous évaluons que le couvert de glace est stable jusqu'au débit minimum de 400 m³/s marquant le début de la débâcle. En se basant sur les observations, le débit de la débâcle de 1993 a été estimé à 670 m³/s en amont du Rapide du Diable. Nous évaluons que le débit maximum d'une débâcle précoce avec un couvert sain est de 1 000 m³/s.

Deux cas doivent donc être considérés dans l'analyse des effets du barrage sur les niveaux d'eau : celui d'une débâcle précoce et celui d'une débâcle normale.

- Cas n° 1 : Débâcle précoce, embâcle concentré

Les figures 4.3 et 4.4 montrent le profil des conditions hydrauliques et du couvert de glace à l'amont du barrage pour un débit de 1 000 m³/s. Dans ce cas, nous considérons l'arrivée dans le bief du barrage de glaçons de bonnes dimensions (1,5 m de côté en moyenne), qui forment un embâcle concentré (court et épais) caractérisé par une vitesse d'entraînement (érosion/accumulation) de 2,3 m/s.

Dans ce cas, le barrage pourrait retenir dans cet embâcle un volume de glace maximum de $1,76 \times 10^6 \text{ m}^3$ ⁹. Le niveau d'eau atteindrait alors 158,1 m au droit de la station 023426 du MENVIQ localisée au km 66,38.

Une débâcle précoce cause les plus forts rehaussements des niveaux d'eau parce que les pertes de charge sont fonction de la vitesse d'écoulement sous l'embâcle et de la rugosité du couvert de glace. Or, lors d'une débâcle précoce, la glace est encore solide de sorte que le couvert se brise en blocs plus gros qui ont une meilleure résistance à l'entraînement. La vitesse requise pour les déloger et les entraîner est donc supérieure. De plus, la glace solide produit des blocs aux arêtes vives, qui une fois enchevêtrés dans un embâcle, en augmentent la rugosité.

- Cas n° 2 : Débâcle tardive, embâcle étendue

La longueur de l'embâcle augmente s'il est formé de blocs de glace plus petits résultant d'une débâcle plus tardive. Dans ce cas, le couvert de glace a été affaibli par le rayonnement solaire et les températures plus élevées de l'air. La glace a commencé à fondre ce qui diminue sa résistance. La débâcle tardive produira donc des blocs de dimensions inférieures à ceux d'une débâcle précoce. Ces glaçons plus petits forment un embâcle étendu parce qu'ils ne peuvent rester stables sous des vitesses aussi élevées que les gros glaçons produits par une débâcle précoce.

Les figures 4.5 et 4.6 montrent le profil des conditions hydrauliques calculé pour un débit de $1\,400 \text{ m}^3/\text{s}$ avec un embâcle étendu dans le bief du barrage. Ce débit correspond à une période de retour de près de 100 ans tel qu'indiqué au tableau 4.1. Ces calculs ont été effectués en considérant des blocs d'une dimension moyenne de 0,75 m dont la vitesse limite d'entraînement dans l'embâcle est de 1,6 m/s. Dans ce cas, le barrage pourrait retenir un volume de glace de $2,15 \times 10^6 \text{ m}^3$. Le niveau d'eau

⁹ 10^6 = millions

atteint au droit de la station 023426 du MENVIQ (km 66,38) ne serait alors que de 157,4 m.

Tel que mentionné précédemment, au-delà d'un débit de 1 400 m³/s, la passe à glace est ouverte pour évacuer des glaçons vers l'aval. À ce débit, la débâcle du couvert de glace présent à Beauceville s'est déjà produite. Malgré l'ouverture de la passe à glace, nous estimons qu'une bonne partie des glaçons accumulés dans le bief du barrage y demeureront pour fondre sur place.

4.7 Répercussions sur l'environnement

4.7.1 Description du milieu

Identification de la zone d'étude

La zone d'étude couvre la rivière Chaudière entre le pont de Beauceville (km 61,8) et le pont de Notre-Dame-des-Pins (km 68,8). La zone d'étude comprend le chenal principal d'écoulement et la plaine inondable de même que la ville de Beauceville en rive « est » et en rive « ouest ».

Nature du lit de la rivière

La rivière et la plaine inondable sont constitués de sable, de gravier et de roc. Celui-ci affleure par endroits entre le pont de Beauceville et le pied du Rapide du Diable (km 64) et recouvre presque entièrement la rivière dans le rapide (km 64 à 65).

Végétation aquatique

La végétation aquatique est peu abondante dans ce secteur de la rivière Chaudière. Un inventaire sommaire en septembre 1993 n'a permis d'identifier que quelques herbiers peu denses à proximité des rives et près des embouchures des tributaires. Les espèces n'ont toutefois pas été identifiées. Les fichiers du MENVIQ sur

les plantes rares ne montrent pas la présence d'espèces rares ou menacées dans ce secteur.

Faune et habitats aquatiques

Benthos

Aucune donnée récente n'est disponible dans la zone d'étude. Le MENVIQ a prélevé en 1976 des échantillons sur deux stations dans la rivière, juste en amont et en aval de Sainte-Marie. Les organismes identifiés sont pour la plupart du type tolérant à la pollution, les turbificidés y sont très abondants. En se basant sur le fait que la qualité de l'eau ne s'était pas améliorée depuis 1976, Roche concluait en 1985, que le peuplement benthique de la rivière n'aurait pas été modifié durant cette période dans le secteur de Sainte-Marie. La même conclusion est probablement valable pour les secteurs Saint-Joseph et Beauceville.

Poissons

Paquet et al (réf. 13) ont inventorié la rivière entre Saint-Joseph et Saint-Georges à l'aide de filets et de seines. Entre juin et septembre 1976, 19 espèces de poissons ont été identifiées et dénombrées. Les poissons appartenant à la famille des cyprinidés étaient les mieux représentés avec sept espèces et 65 % des captures. Les auteurs mentionnent que les cyprinidés auraient dû être encore plus abondants compte tenu des caractéristiques de la rivière et de l'effort d'échantillonnage.

La présence de salmonidés serait accidentelle dans la rivière Chaudière, du moins sur ses cours moyen et inférieur. Ces poissons originent vraisemblablement de tributaires de la rivière en aval de Scott. L'Ombre-de-Fontaine et la Truite arc-en-ciel sont récoltés à l'occasion par les pêcheurs sportifs fréquentant la rivière. Le Maskinongé, la Perchaude, le Doré et l'Achigan sont un attrait pour plusieurs pêcheurs locaux.

Les frayères

Les données d'inventaire du MLCP datant de 1976 indiquent la présence de frayères d'Achigan à petite bouche de Beauceville à Notre-Dame-des-Pins ainsi que de Doré jaune au pied du Rapide du Diable au km 64,0.

Des opérations d'extraction de gravier ont eu cours jusqu'en 1990 du km 63 au km 64 sur presque toute la largeur de la rivière. Une entreprise serait encore en exploitation en amont du rapide en rive « est », de la rivière dans la région de Notre-Dame-des-Pins (km 67.0). Ces opérations ont probablement eu des répercussions sur les zones de frayères identifiées en 1976.

Habitat et faune semi-aquatique et terrestre

Les rives de la rivière sont passablement perturbées de Beauceville jusqu'au pied du rapide (km 62 à 64,5) et en amont du rapide (km 66.5) jusqu'à Notre-Dame-des-Pins (km 68.8) à cause des opérations d'extraction de gravier dans la plaine inondable. On y observe plusieurs bancs de sable et de gravier, des chemins d'accès, des batardeaux et des zones décapées. Elles sont peu perturbées dans le rapide (km 64.5 à 66.5). La plaine inondable est sillonnée de fossés creusés pour permettre le drainage rapide des terrains après la crue de façon à permettre la reprise de l'exploitation des gravières.

Le territoire de la zone d'étude n'est donc pas favorable au développement d'habitats pour la faune semi-aquatique et terrestre.

Millieu humain

Le territoire de la zone d'étude comprend dans sa partie nord, la ville de Beauceville et dans sa partie sud la municipalité de Notre-Dame-des-Pins. Le territoire est occupé presque entièrement par des occupations résidentielles, commerciales ou industrielles (extraction du gravier). Les activités économiques sont omni présentes dans la zone d'étude.

4.7.2 Identification des impacts reliés à la construction, à la présence et à l'utilisation des ouvrages

4.7.2.1 Généralités

Les impacts sont identifiés pour les principales composantes des projets, activités ou structures, en fonction des composantes les plus sensibles de l'environnement de chacun des sites. Les impacts potentiels identifiés sont sommairement décrits et évalués au moyen de critères qualitatifs. Cette méthode permet de mettre en évidence les perturbations les plus significatives et de juger de leur sévérité.

L'impact sera qualifié de faible, de moyen et de fort. Un impact faible est peu dérangeant pour l'écosystème, les composantes du milieu ne sont pas affectées ou ne le sont que légèrement. Dans un tel cas, la superficie affectée est généralement faible et la perturbation est de courte durée. L'intensité de l'impact est moyen lorsque l'on juge que la perturbation affecte de façon significative les composantes du milieu; de même, le fonctionnement de l'écosystème pourra être affecté sans toutefois mettre en péril l'existence même de l'écosystème. Un impact fort est délétère pour l'écosystème. Ce type d'impact détruit une partie importante des composantes de l'écosystème et affecte de façon irréversible son fonctionnement.

4.7.2.2 Impacts associés aux activités de chantier et aux travaux dans la rivière

La construction du barrage de rétention de la glace à Beauceville nécessitera l'aménagement de routes d'accès au km 63.1 de chaque côté de la rivière entre les routes existantes et la zone des travaux. La longueur de ces routes serait de moins de 200 m. Le barrage sera construit en deux étapes au cours d'une seule année. La construction débutera au printemps après le passage de la crue par l'aménagement d'un batardeau en rive « ouest » permettant d'exécuter à sec la première moitié du barrage. L'écoulement se fait alors par la moitié « est » de la rivière. Une fois terminée la construction de la moitié « ouest » du barrage, le batardeau est déplacé du côté « est » pour la construction de la deuxième moitié du barrage. L'écoulement se fait alors par la vanne de fond et la passe à glace.

Les travaux impliquent le dynamitage du roc, l'excavation du lit et le dégagement des abords limité aux rives immédiates de l'ouvrage. La zone des travaux s'étendra sur une longueur de moins de 150 m et sur toute la largeur de la rivière (environ 300 m).

Les travaux causeront les répercussions suivantes sur le milieu humain: augmentation du bruit, de la poussière et de la circulation de véhicules lourds sur les routes principales. Plusieurs résidences sont situées à moins de 300 m de la zone des travaux, de sorte que des mesures spéciales devront être prises pour diminuer ces répercussions et les rendre acceptables à la population.

Les travaux causeront une perte d'habitats permanente pour la faune aquatique, particulièrement si des frayères existent dans la zone des travaux.

Des inventaires devront être réalisés dans la zone des travaux pour déterminer la présence ou non de frayères et évaluer les répercussions de l'ouvrage sur les poissons.

4.7.2.3 Effets de l'aménagement sur les niveaux d'eau en amont de Beauceville

Tel que mentionné à la section 4.2.2.2, l'aménagement au km 63,11 est conçu pour éviter des inondations en amont de Beauceville. La figure 4.3 montre le profil du niveau d'eau à un débit de 1 000 m³/s pour un embâcle concentré dans la retenue du barrage. Cette condition, résultant d'une débâcle précoce, est la plus sévère en ce qui concerne le rehaussement du plan d'eau dans le bief amont du barrage. L'examen de la carte topographique au 1:20 000 indique que quinze (15) bâtiments se trouvent sous le niveau 160 m dans la retenue du barrage. Ces bâtiments devront être, soit immunisés, soit endigués, pour éviter d'être touchés par l'eau ou la glace. Le rang du Bord de l'eau, marque la limite, en rive « ouest », du bief du barrage sur une distance de 1,5 km. De même, du côté « est », le chemin du Président Kennedy (route 173) est sous le niveau de 160 m sur une distance d'environ 0,5 km. Par mesure de précaution, le niveau de ces routes devrait toujours se situer à un minimum de 3 m au-dessus du niveau maximum de l'eau et des glaces calculé dans le bief amont du barrage. Des sections de routes

principales d'une longueur d'environ 2 km devraient donc être rehaussées, tel que montré sur la figure 4-8.

La figure 4.7 montre les relations débit-niveau, avec ou sans le barrage, aux deux points de référence suivants :

- à la station 023426 (km 66,38) en tête du Rapide du Diable ;
- au km 68,61 en aval du pont à Notre-Dame-des-Pins.

Les calculs des profils d'écoulement montrent que, pour un embâcle concentré retenu dans le bief amont du barrage, un rehaussement du plan d'eau de 1,6 m se produit à la tête du rapide (station 023426) à un débit de 1 000 m³/s. Le niveau d'eau atteint est de 158,0 m ce qui correspond à celui de la crue vicennale en eau libre montré sur les cartes du risque d'inondation. À ce niveau, il est nécessaire de procéder à l'endiguement des bâtiments montrés sur la figure 4.6 apparaissant dans le rapport d'étape 2. Ces bâtiments se trouvent en rive « est », dans la plaine inondable au droit du km 67,37.

Le rehaussement du plan d'eau s'atténue rapidement vers l'amont. Les calculs indiquent qu'il n'est plus que de 0,4 m au pont de Notre-Dame-des-Pins, sous les mêmes conditions, tel que montré sur la figure 4.7.

On peut déduire de ces calculs que, pour le débit maximum de 1 400 m³/s avec un embâcle concentré, le niveau d'eau ne dépassera pas 159,0 m à la station 023426 et environ 159,5 m à Notre-Dame-des-Pins. Dans cette localité, ces niveaux requièrent les mesures de protection contre les inondations indiquées à la section 4.5.3.7 du rapport d'étape 2, soit la construction d'une digue pour protéger trois bâtiments et le rehaussement de quatre maisons.

En amont de Notre-Dame-des-Pins, le rehaussement du niveau d'eau provoqué par l'embâcle dans le barrage à Beauceville devient négligeable et l'écoulement demeure à l'intérieur de la limite de la crue vicennale en eau libre montrée sur les cartes du risque d'inondation. Aucun bâtiment n'est touché par le niveau d'eau entre Notre-Dame-des-Pins et Saint-Georges.

Dans cette dernière ville, les travaux d'endiguement présentés à la section 4.5.3.8 du rapport d'étape 2 doivent être réalisés, pour protéger les maisons mobiles localisées près de l'embouchure de la rivière Pozer et les propriétés localisées le long de la 1^{ère} Avenue.

Pour des débits supérieurs à 1 400 m³/s, les niveaux d'eau en amont de Beauceville seraient moins influencés, parce que la glace serait évacuée du barrage, ce qui les ramènera à des valeurs plus basses, voisines des conditions d'écoulement à surface libre.

Il est à noter que le barrage n'empêchera pas le libre passage des poissons puisqu'en dehors de la période de la crue du printemps, l'écoulement se fera par la vanne de fond. Compte tenu de la faible dénivelée du plan d'eau à travers celle-ci, les vitesses d'écoulement ne devraient pas empêcher le passage des poissons.

4.8 Coûts de la solution

Le bordereau des quantités et des coûts pour la construction des principaux travaux du barrage de rétention de la glace à Beauceville est présenté au tableau 4.2.

Les travaux en rivière sont effectués en deux phases. Les travaux débutent après le passage de la crue du printemps, par la construction d'un batardeau au centre de la rivière, afin de créer une enceinte permettant de construire à sec la moitié « ouest » du barrage qui comprend cinq passes du seuil fixe, la passe à glace, la vanne de fond et la digue la plus longue. Une fois ces travaux terminés, le batardeau est déplacé du côté « est » pour la construction de la deuxième partie du barrage. L'écoulement se fait alors par la vanne de fond et par la passe à glace.

Les travaux de construction des digues et le bétonnage peuvent être réalisés en une période de huit mois, soit de mai à décembre. Tous les travaux peuvent être réalisés à l'intérieur d'une période de 12 mois et l'ouvrage peut être mis en service pour la crue du printemps suivant.

Le coût total de cette solution est évalué à 12 500 000,00 \$. À ce coût, nous pouvons ajouter les coûts pour l'endiguement et l'imperméabilisation des propriétés à Notre-Dame-des-Pins et Saint-Georges. Ces coûts, évalués dans l'étude des solutions aux inondations en eau libre (réf. : rapport d'étape 2, tableau 4.4) s'élèvent à 1 000 000,00 \$.

Le coût total de cette solution est donc évalué à 13 500 000,00 \$.

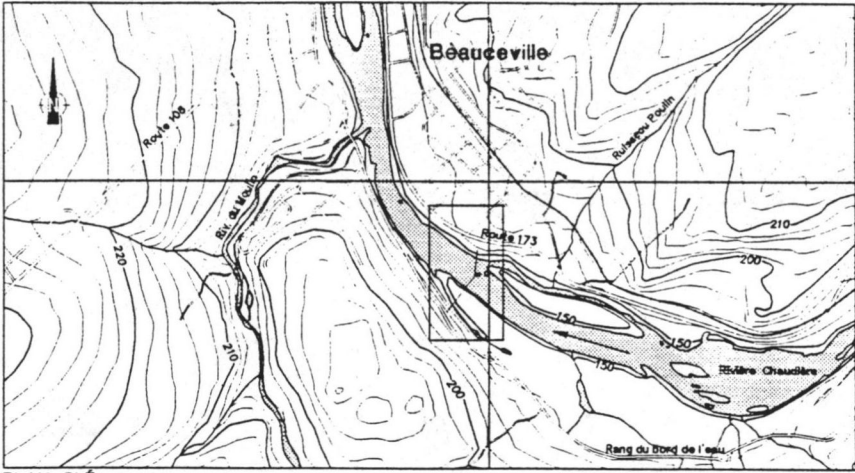
Ce montant ne comprend que les coûts de construction. Il exclut les montants requis pour les déboursés suivants :

- les achats de terrains, ;
- les honoraires pour services professionnels (arpenteurs, notaires, ingénieurs, etc.) ;
- les frais d'intérêt pendant la construction ;
- les mesures de remédiation des répercussions sur l'environnement ;
- les taxes applicables ;
- les frais annuels d'opération et d'entretien.

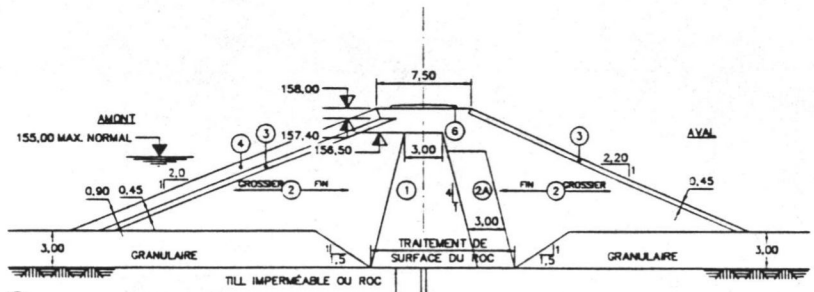
TABLEAU 4.2**ÉTUDE DE MODÉLISATION DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE****BORDEREAU DES QUANTITÉS ET DES COÛTS DE CONSTRUCTION****BARRAGE DE RETENTION DE LA GLACE À BEAUCEVILLE**

BARRAGE DE BEAUCEVILLE			
Activités	Prix unit.	Quantité	Coût
<u>Travaux préparatoires et terrassement</u>			
– Batardeaux, pompage, etc.	250 000\$	1 forfait	250 000\$
– Excavation			
– Mort–terrain	10\$	10000 m³	100 000\$
– Roc	35\$	11800 m³	413 000\$
– Remblayage et digue	15\$	96400 m³	1 446 000\$
– Nettoyage du roc	35\$	5300 m²	185 500\$
– Empierrement	20\$	3150 m³	63 000\$
<u>Travaux de bétonnage</u>			
– Coffrages	70\$	11500 m²	805 000\$
– Armatures	1 000\$	1020 t.m.	1 020 000\$
– Accessoires pour béton	25 000\$	1 forfait	25 000\$
– Ancrages	250\$	250 unités	62 500\$
– Bétonnage (incluant finition)	200\$	14180 m³	2 836 000\$
– Injection dans le roc	50 000\$	1 forfait	50 000\$
<u>Métaux</u>			
– Vannes, treuils et moteurs	3 200 000\$	1 forfait	3 200 000\$
– Garde–corps	150\$	260 m.lin.	39 000\$
<u>Électricité</u>			
– Alimentation des moteurs des actuateurs	100 000\$	1 forfait	100 000\$
<u>Mobilisation /Démobilisation</u>	250 000\$	1 forfait	250 000\$
Contingences (15 %)			1 626 750\$
Mesures de protection en amont	1 000 000\$	1 forfait	1 000 000\$
TOTAL			13 500 000\$

SITE BEAUCEVILLE



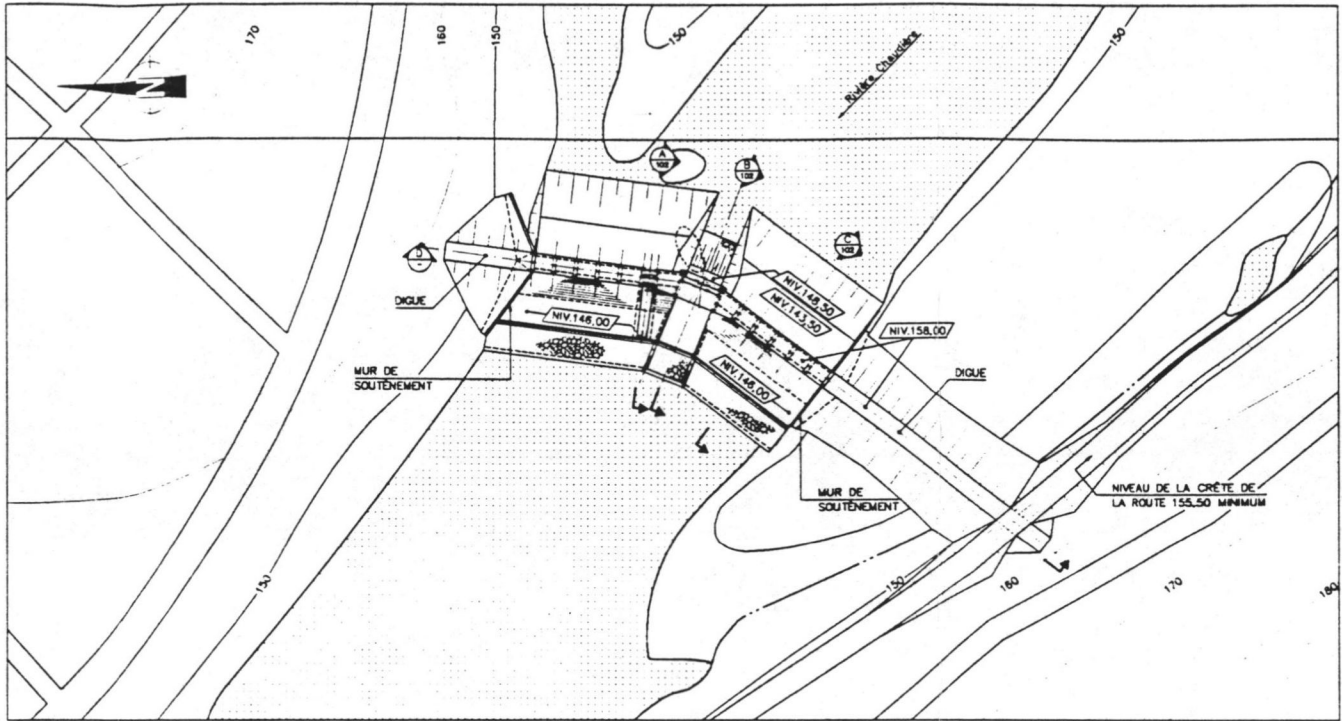
PLAN CLÉ
1:10000



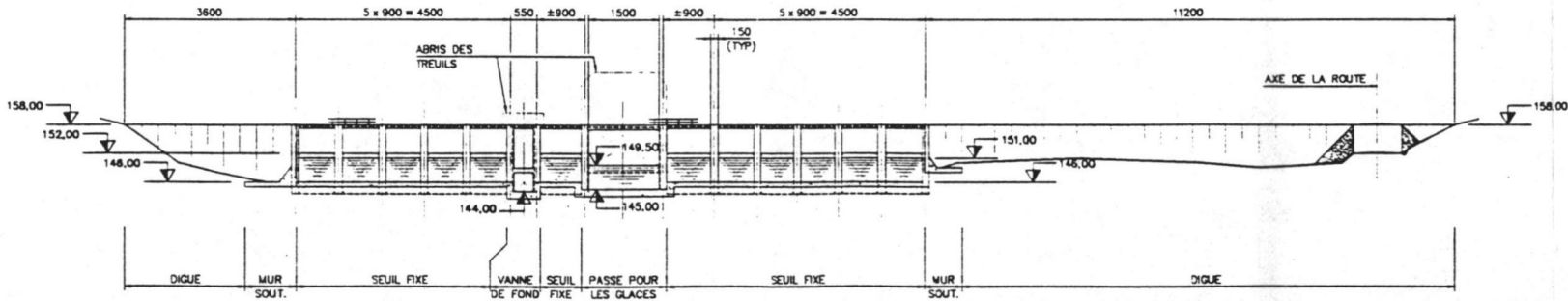
- ① TILL, MIN. 15% INFÉRIEUR À 80mm
- ② SABLE ET GRAVIER SÉLECTIONNÉ, MAX. 0.08
- ②A SABLE, GRAVIER ET CAILLOUX, MAX. 0.30
- ③ ENROCHEMENT 0.30 Ø 0.30
- ④ ENROCHEMENT 0.30 Ø 0.90
- ⑤ GRANULAIRE DE ROULEMENT, CALIBRE 20-06 DU C.C.D.G.

NOTE: TOUTES LES DIMENSIONS SONT EN MÈTRES.

COUPE TYPE DE LA DIGUE
1:200



VUE EN PLAN DE L'AMÉNAGEMENT
1:1000



COUPE (DÉVELOPPÉE)
1:500

CE DESSIN FAIT PARTIE D'UN ENSEMBLE DE: 2
DESSINS NUMÉROTÉS DE: 4.1-1
À: 4.1-2
QUI DOIVENT ÊTRE LUS CONJOINTEMENT

QUANTITÉS PRINCIPALES: (APPROX.)

EXCAVATION (m³)	COFFRAGE (m²)	BETON (m³)	ACIER D'ARMATURE (t)	DIGUE (m³)	EMPIERMENT (m³)
21 800	11 500	14 180	1 020	98 400	3 150

- NOTES
- LOCALISATION EXACTE SERA DÉTERMINÉE DANS LE STAGE FINAL DES ÉTUDES.
 - BETON: RESISTANCE EN COMPRESSION (f_c) = 25 MPa @ 28 JOURS.
CIMENT TYPE 20.
AGRÉGAT MAXIMUM Ø 80mm.
 - LES COTES SONT EN CENTIMÈTRES ET LES NIVEAUX SONT EN MÈTRES SAUF INDICATION CONTRAIRE.
 - UTILISER CE DESSIN POUR LE BESOIN DES QUANTITÉS SEULEMENT, NE PAS UTILISER POUR CONSTRUCTION.
 - LA QUANTITÉ D'ACIER D'ARMATURE A ÉTÉ CALCULÉE AVEC DES DENSITÉS DIFFÉRENTES (kg/m^3), DÉPENDANT DES ÉLÉMENTS DE LA STRUCTURE.
 - VOIR NOTES DU DESSIN N° 4.1-2.

- RÉFÉRENCES
- | N° | RECHERCHE | N° DESSIN |
|----|--|------------|
| 1 | CARTE TOPOGRAPHIQUE BEAUCEVILLE ZIL 02-200-0201
1:20000, GOUVERNEMENT DU QUÉBEC
MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES
RESSOURCES, SERVICES DE LA
CARTOGRAPHIE. | |
| 2 | CARTE DU RISQUE D'INONDATION
BEAUCEVILLE 1:2000, MINISTÈRE
DES RICHESSES NATURELLES DU
QUÉBEC. | ZIL 02-211 |

00 01 84 1 DMS POUR RAPPORT D'ÉTAPE N° 3
SOLUTIONS AUX INONDATIONS
AVEC GLACE
F.M.

ÉCHELLE VERTICALE: 1:500

RAPPORT

Gouvernement du Québec
Ministère de la Sécurité Publique
Direction Générale de la Sécurité Publique

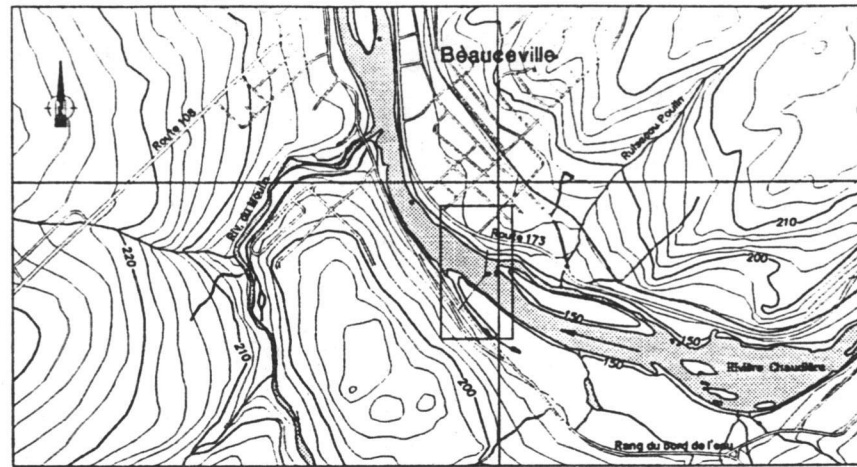
TECSUT Inc.
MONTREAL, CANADA

ÉTUDE DE MODÉLISATION DU BASSIN
VERSANT DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE
BARRAGE DE RÉTENTION DE LA GLACE
À BEAUCEVILLE
PLANS ET COUPES

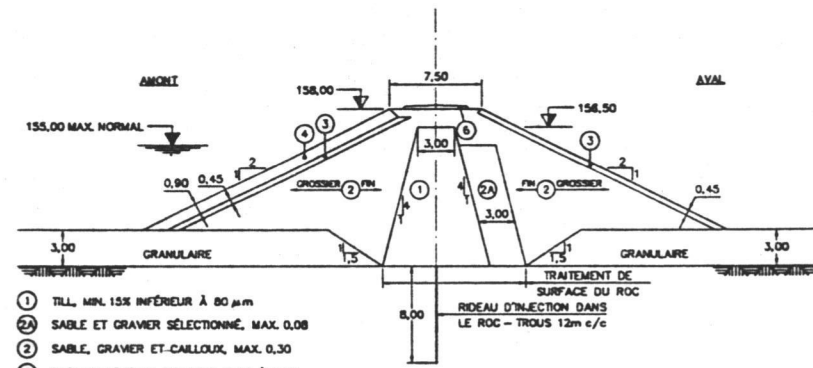
PROJETÉ PAR R. A. / S. P.	REVISE PAR F. Nolan	APPR. PAR A. Battaglia
PROJETÉ PAR P. R. Tremblay	APPR. PAR A. Battaglia	

DATE: 1993
N° DESSIN: 4727
N° DESSIN: 4.1-1
N° DESSIN: 00

SITE BEAUCEVILLE



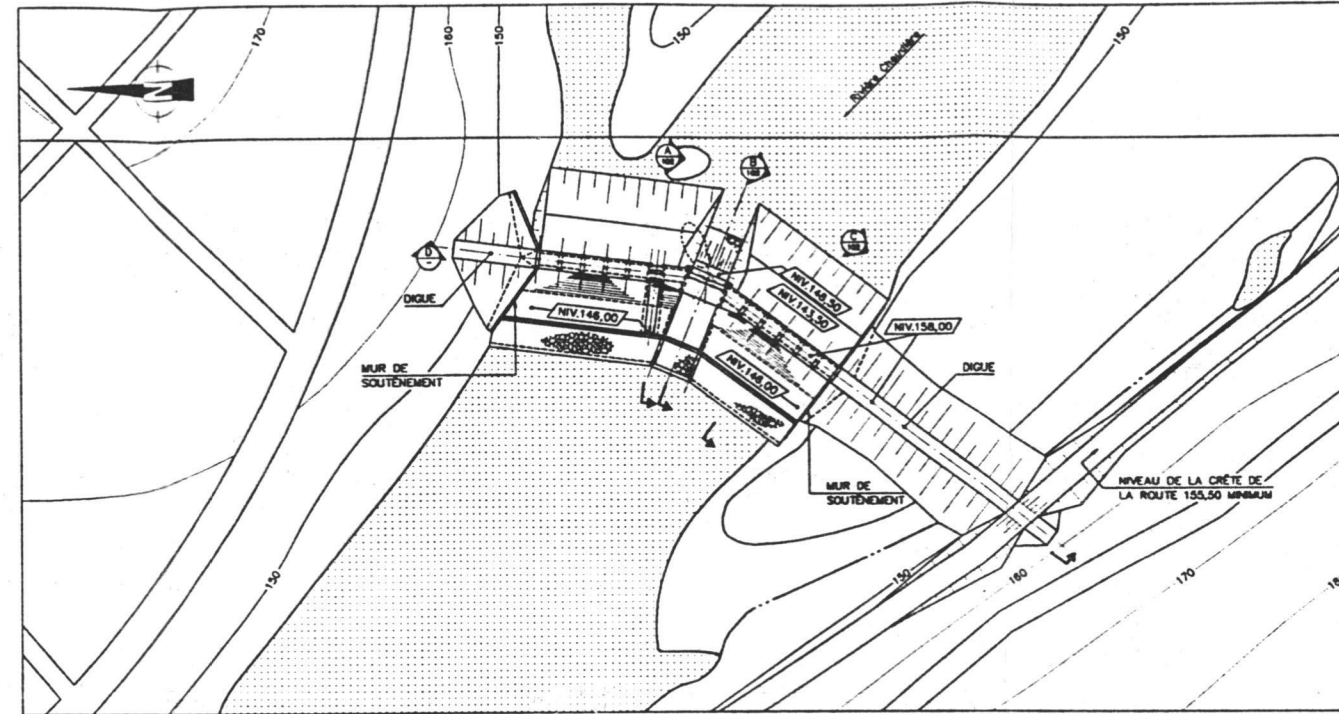
PLAN CLÉ
1:10000



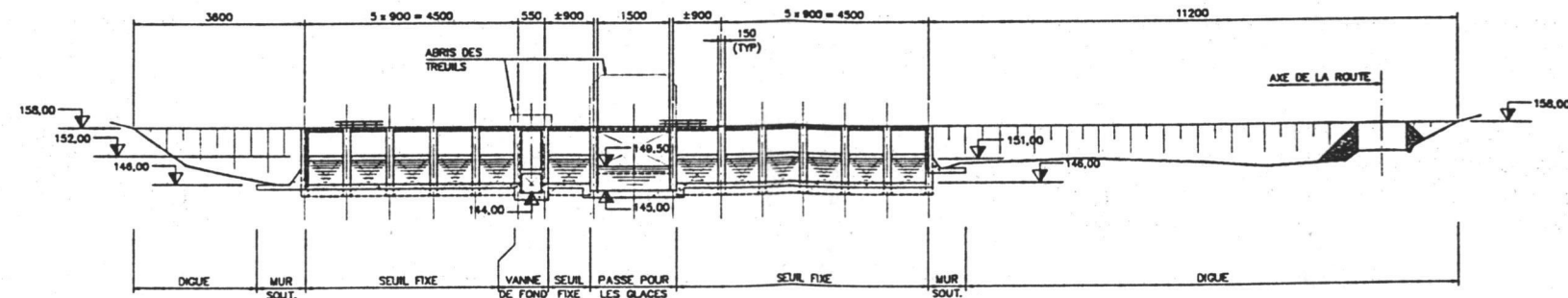
- ① TILL, MIN. 15% INFÉRIEUR À 80 µm
- ②A SABLE ET GRAVIER SÉLECTIONNÉ, MAX. 0,08
- ② SABLE, GRAVIER ET CAILLOUX, MAX. 0,30
- ③ ENROCHEMENT OU CAILLOUX, 0,08 À 0,30
- ④ ENROCHEMENT 0,30 À 0,80
- ⑤ GRANULAIRE DE ROULEMENT, CALIBRE 20-05 DU C.C.D.G.

NOTE: TOUTES LES DIMENSIONS SONT EN MÈTRES, SAUF TEL QU'INDIQUE

COUPE TYPE DE LA DIGUE
1:200



VUE EN PLAN DE L'AMÉNAGEMENT
1:1000



COUPE (D) (DÉVELOPPÉE)
1:500

CE DESSIN FAIT PARTIE D'UN ENSEMBLE DE: 2
DESSINS NUMÉROTÉS DE: 4.1-1
À: 4.1-2
QUI DOIVENT ÊTRE LUS CONJOINTEMENT

QUANTITÉS PRINCIPALES: (APPROX.)

EXCAVATION (m³)	COFFRAGE (m²)	BÉTON (m³)	ACIER D'ARMATURE (t)	DIGUE (m³)	EMPIÈREMENT (m²)
21 800	11 500	14 180	1 020	98 400	3 150

N°	NOTES
1	LOCALISATION EXACTE SERA DÉTERMINÉE DANS LE STADE FINAL DES ÉTUDES
2	BÉTON: RÉSISTANCE EN COMPRESSION (f _c) = 25 MPa @ 28 JOURS. CIMENT TYPE 20 AGRÉGAT MAXIMUM Ø 80mm
3	LES COTES SONT EN CENTIMÈTRES ET LES NIVEAUX SONT EN MÈTRES SAUF INDICATION CONTRAIRE
4	UTILISER CE DESSIN POUR LE BESOIN DES QUANTITÉS SEULEMENT, NE PAS UTILISER POUR CONSTRUCTION
5	LA QUANTITÉ D'ACIER D'ARMATURE A ÉTÉ CALCULÉE AVEC DES DENSITÉS DIFFÉRENTES (kg/m³), DÉPENDANT DES ÉLÉMENTS DE LA STRUCTURE
6	VOIR NOTES DU DESSIN N° 4.1-2

N°	RÉFÉRENCES	N° DESSIN
1	CARTE TOPOGRAPHIQUE BEAUCEVILLE 21L 02-200-0201 1:20000, GOUVERNEMENT DU QUÉBEC MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES RESSOURCES, SERVICES DE LA CARTOGRAPHIE	
2	CARTE DU RISQUE D'INONDATION BEAUCEVILLE 1:2000, MINISTÈRE DES RICHESSES NATURELLES DU QUÉBEC	21L 02-211

00 01.84	DSS POUR RAPPORT D'ÉTAPE N° 3	F.M.
	SOLUTIONS AUX INONDATIONS	
	AVEC GLACE	
N°	DATE	MODIFICATION
		REF. PAR APP.

ÉCHELLE VERTICALE 1:1000

Gouvernement du Québec
Ministère de la Sécurité Publique
Direction Générale de la Sécurité Publique

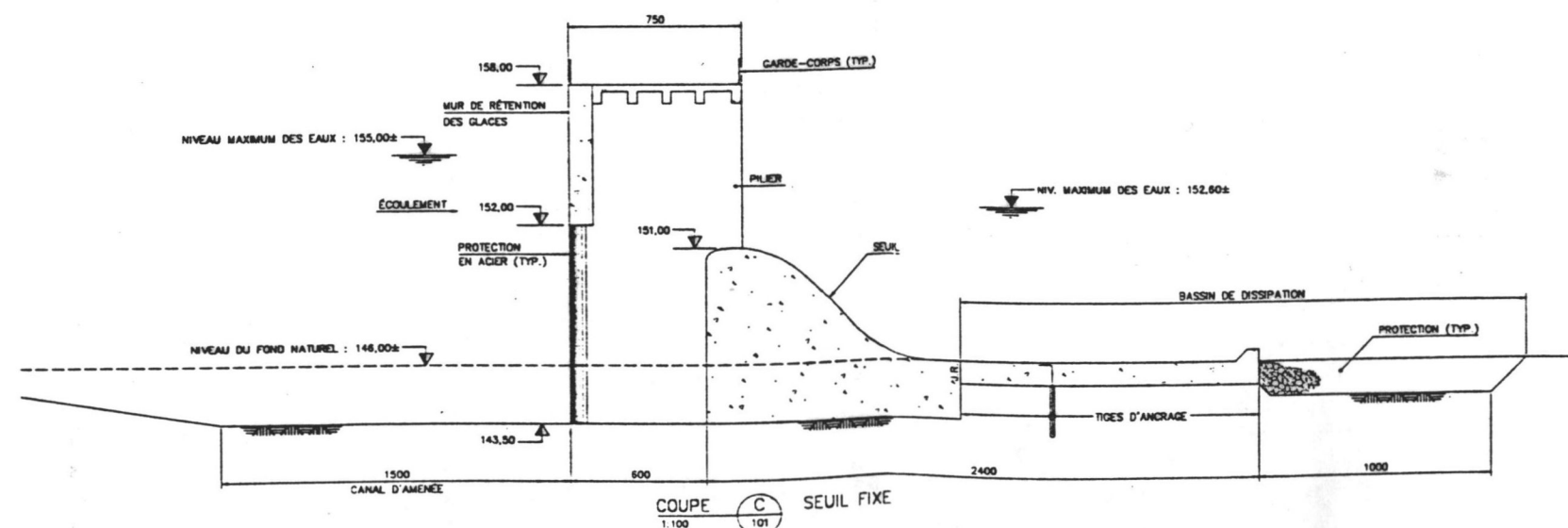
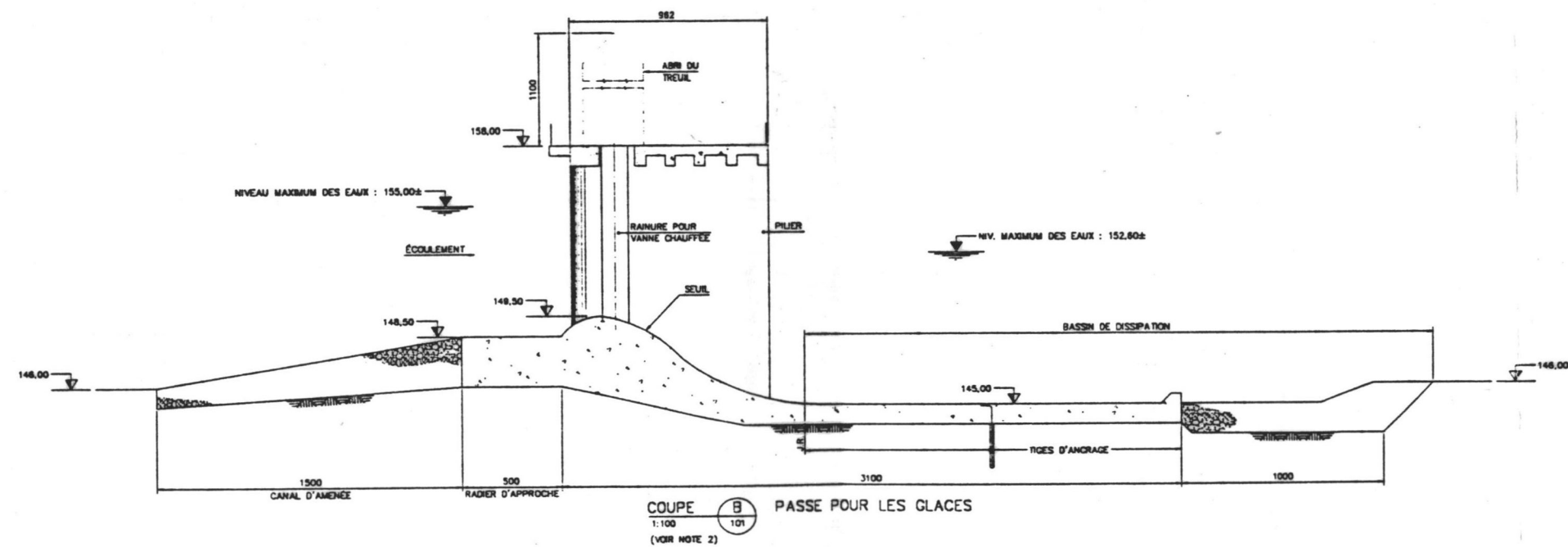
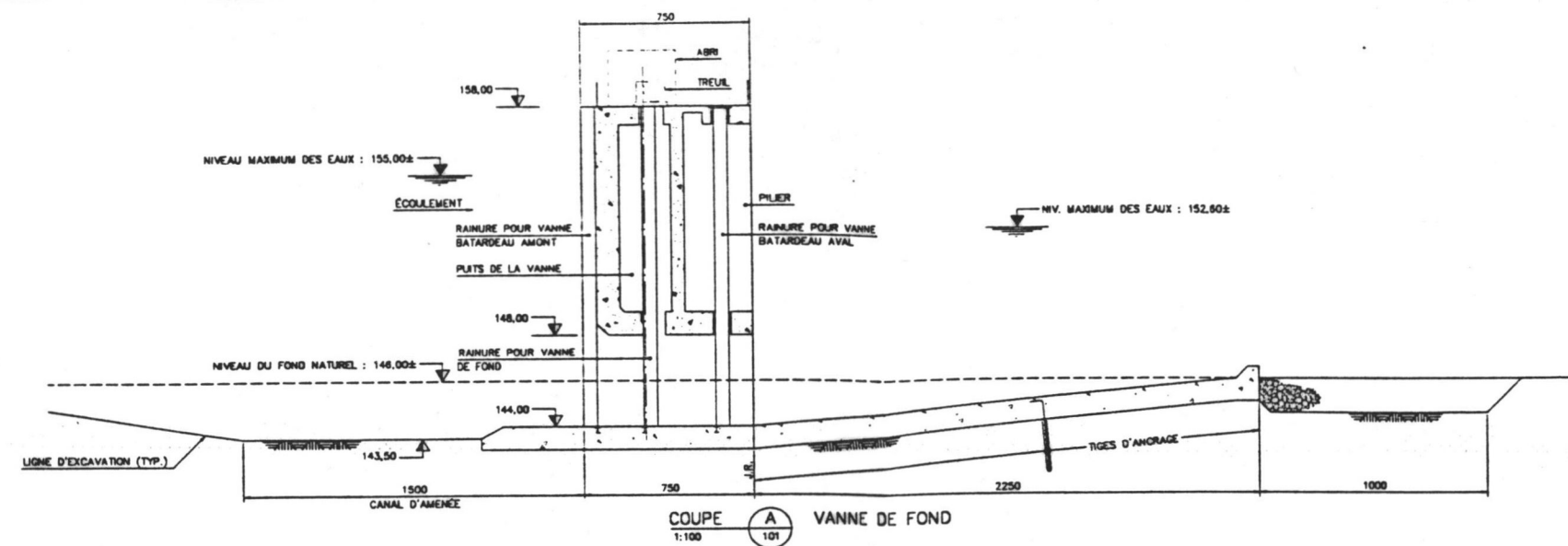
TECSUT INC.
MONTREAL, CANADA

ÉTUDE DE MODÉLISATION DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE

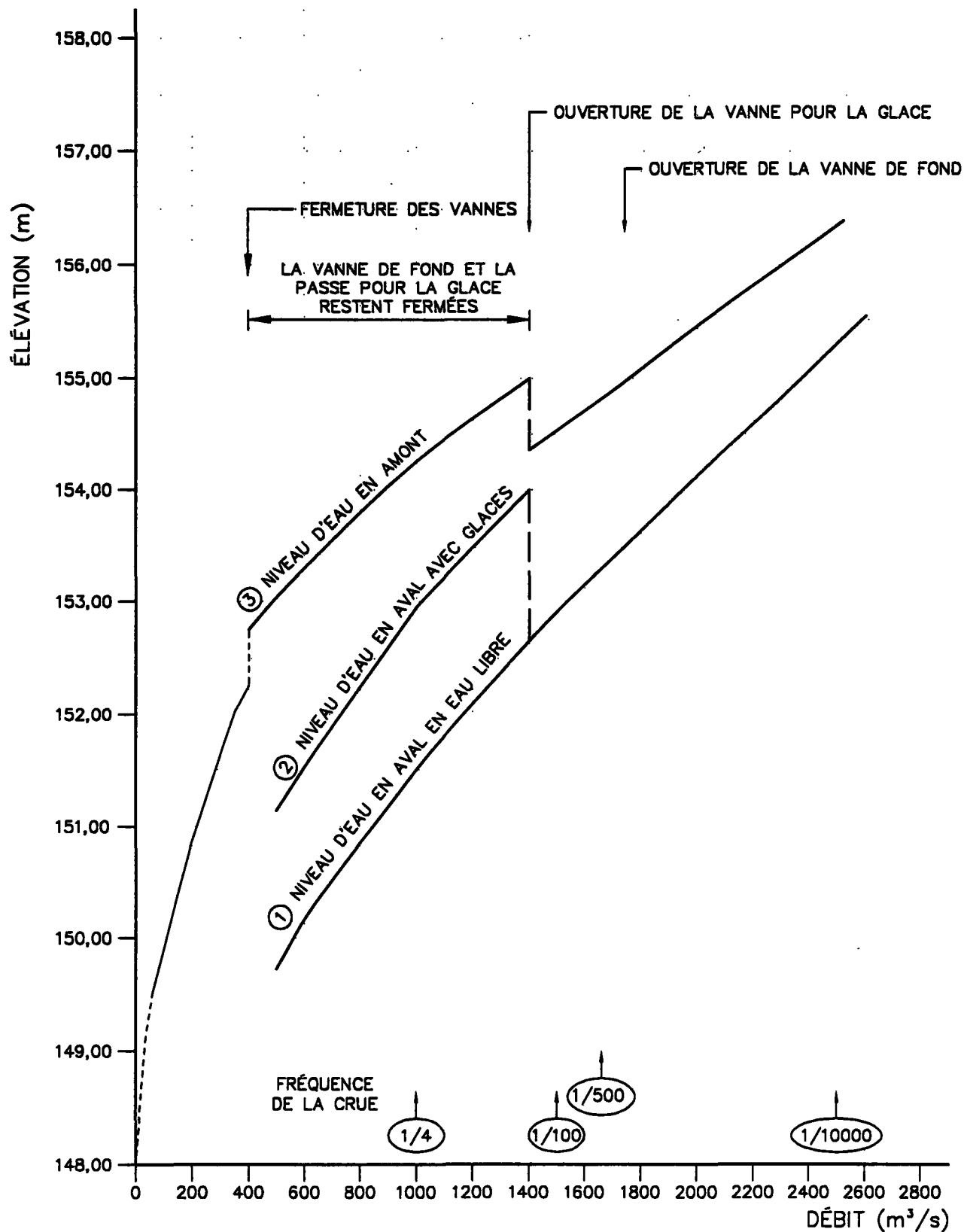
BARRAGE DE RÉTENTION DE LA GLACE À BEAUCEVILLE
PLANS ET COUPES

PROJÉTÉ PAR: R.A./S.P. RÉVISÉ PAR: F. Moisan APPRUVÉ PAR: P.R. Tremblay

DATE: Août 1994 N° DESSIN: 4727 N° REV.: 4.1-1

[illegible][illegible][illegible]

	ÉCHELLE VISUELLE 0 100m	SUPPORT 1 : 100
 Gouvernement du Québec Ministère de la Sécurité Publique Direction Générale de la Sécurité Publique		
 TECSULT INC. 6075 BOULEVARD MONTRÉAL, QUÉBEC		
ÉTUDE DE MODÉLISATION DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE		
BARRAGE DE RÉTENTION DE LA GLACE À BEAUCEVILLE COUPES		
PROJETÉ PAR R. A. S. P.	CONSEILLÉ PAR F. Malignan	INGÉNIEUR EN CHARGE A. Babin
PROJETÉ PAR LE MINISTÈRE DE LA SÉCURITÉ PUBLIQUE		
PROJETÉ PAR P.R. Tremblay	CONSEILLÉ PAR J. Gauthier	INGÉNIEUR EN CHARGE A. Babin



RIVIÈRE CHAUDIÈRE
ÉTUDE DU BARRAGE DE RÉTENTION
DE LA GLACE À BEAUCEVILLE

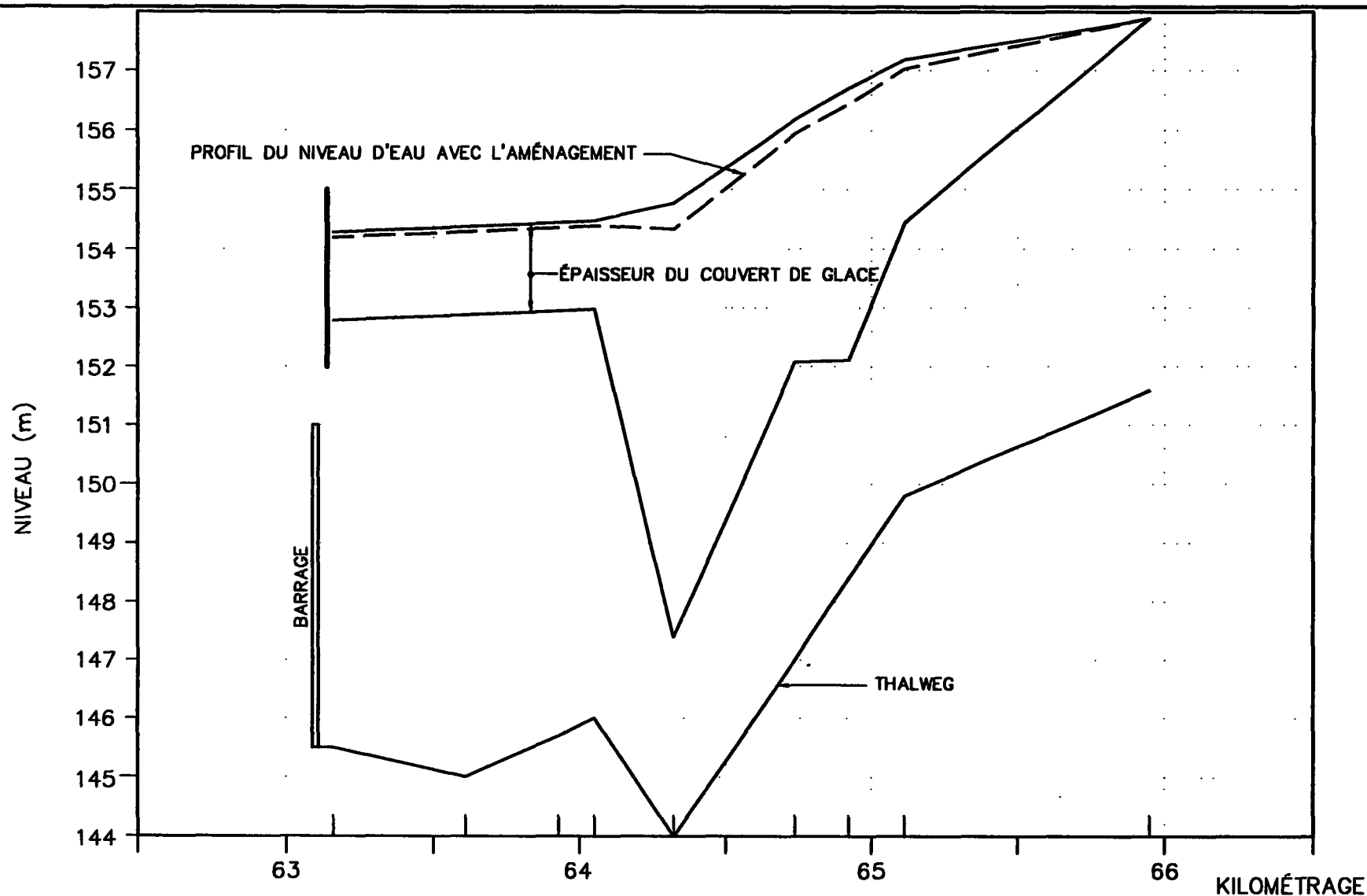
FONCTIONNEMENT DU BARRAGE DE
RÉTENTION DE LA GLACE AU Km 63,110
RELATIONS DÉBITS-NIVEAUX



PROJET: 4727

DATE: NOVEMBRE 1993

FIGURE: 4.2



d_{50} = Dimension moyenne des glaçons
 Q = Débit

RIVIÈRE CHAUDIÈRE
 ÉTUDE DU BARRAGE DE RÉTENTION
 DE LA GLACE À BEAUCEVILLE

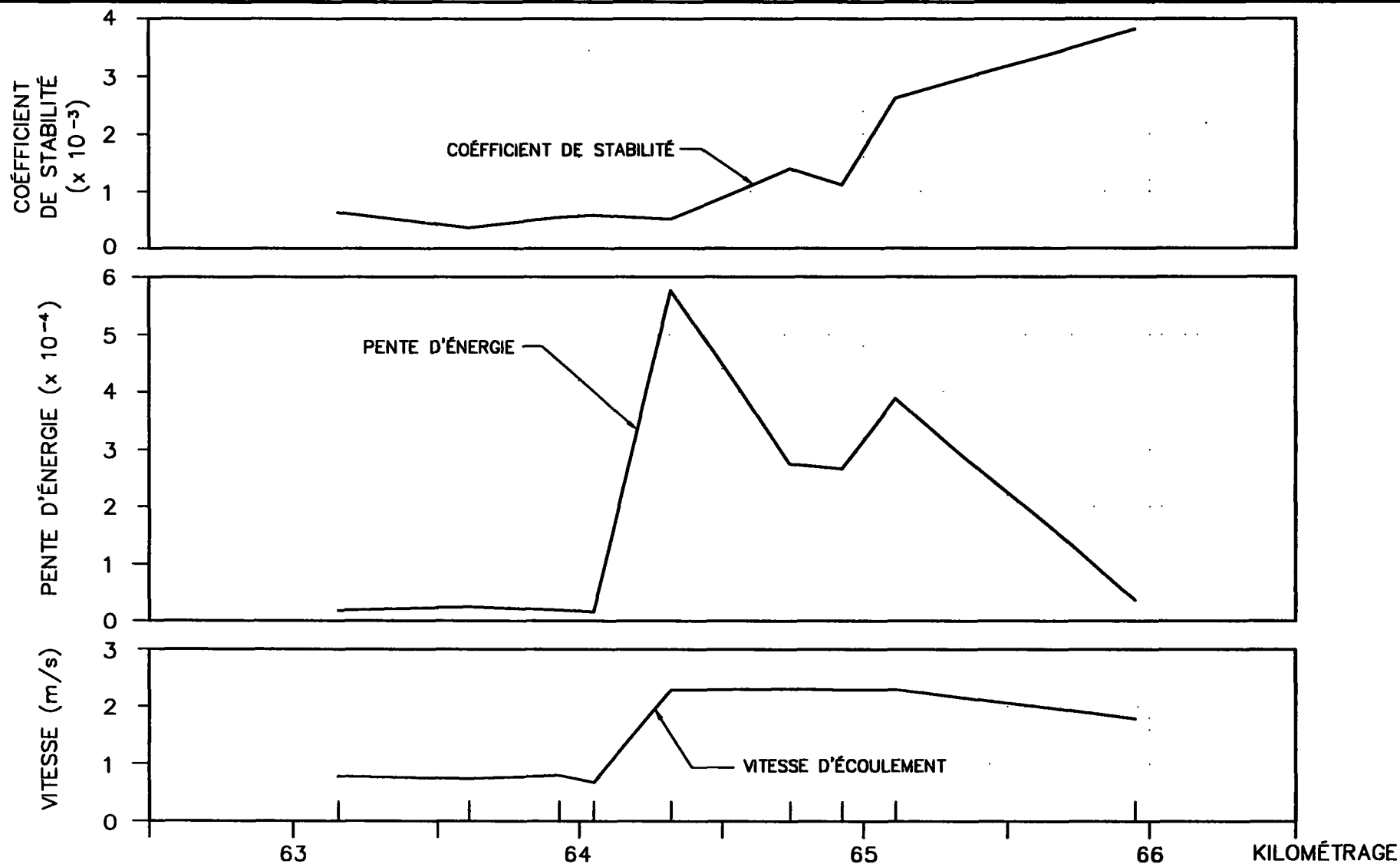
PROFILS DU NIVEAU D'EAU ET DU COUVERT
 DE GLACE. EMBÂCLE CONCENTRÉ,
 $d_{50}=1,50$ m, $Q=1000\text{m}^3/\text{s}$



PROJET: 4727

DATE: NOVEMBRE 1993

FIGURE: 4.3



d_{50} = Dimension moyenne des glaçons
 Q = Débit

RIVIÈRE CHAUDIÈRE
 ÉTUDE DU BARRAGE DE RÉTENTION
 DE LA GLACE À BEAUCEVILLE

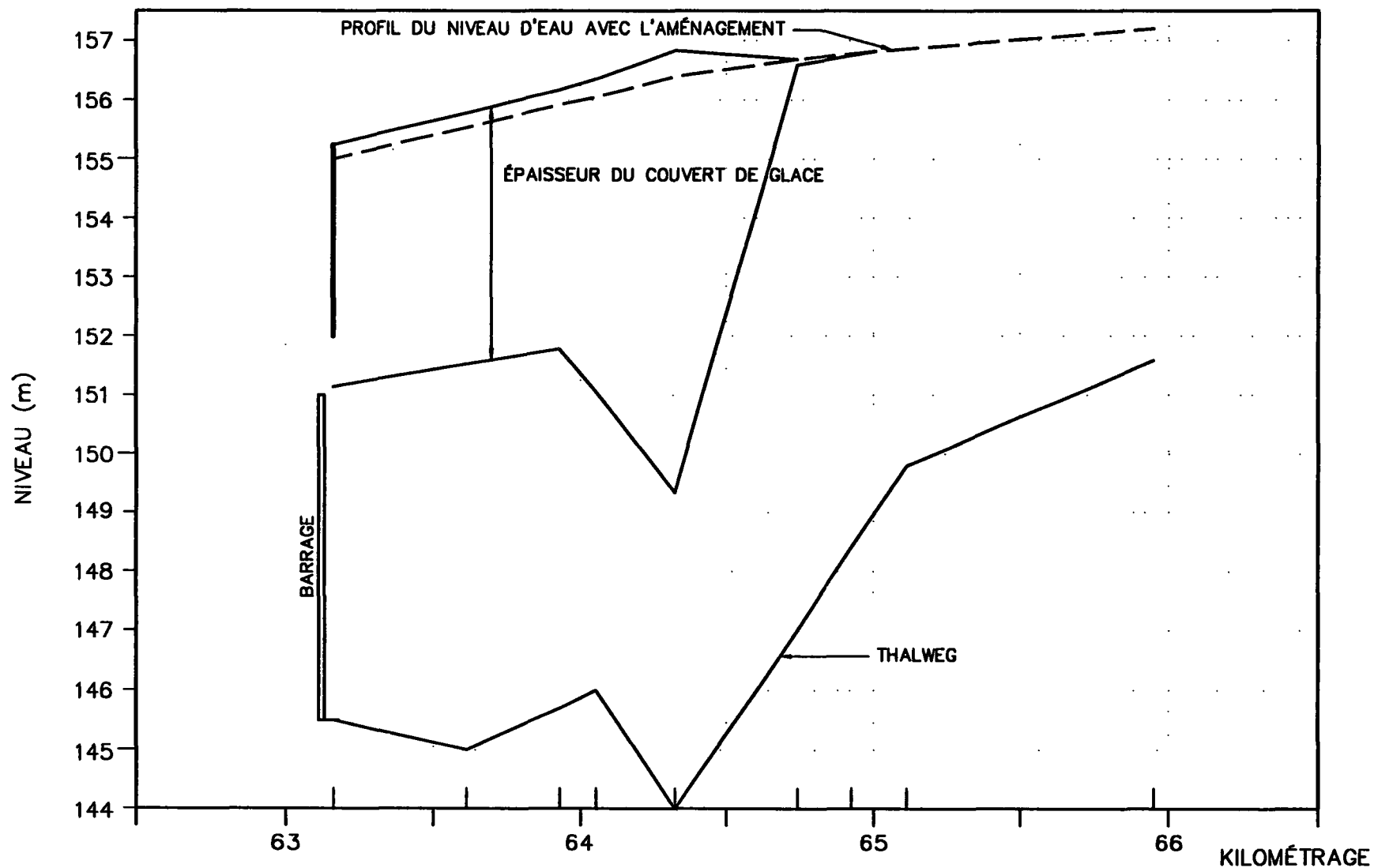


PROJET: 4727

CONDITIONS HYDRAULIQUES
 ET DE STABILITÉ DU COUVERT DE GLACE.
 EMBÂCLE CONCENTRÉ,
 $d_{50} = 1,50$ m, $Q = 1000 \text{ m}^3/\text{s}$

DATE: NOVEMBRE 1993

FIGURE: 4.4



d_{50} = Dimension moyenne des glaçons
 Q = Débit

RIVIÈRE CHAUDIÈRE
 ÉTUDE DU BARRAGÉ DE RÉTENTION
 DE LA GLACE À BEAUCEVILLE

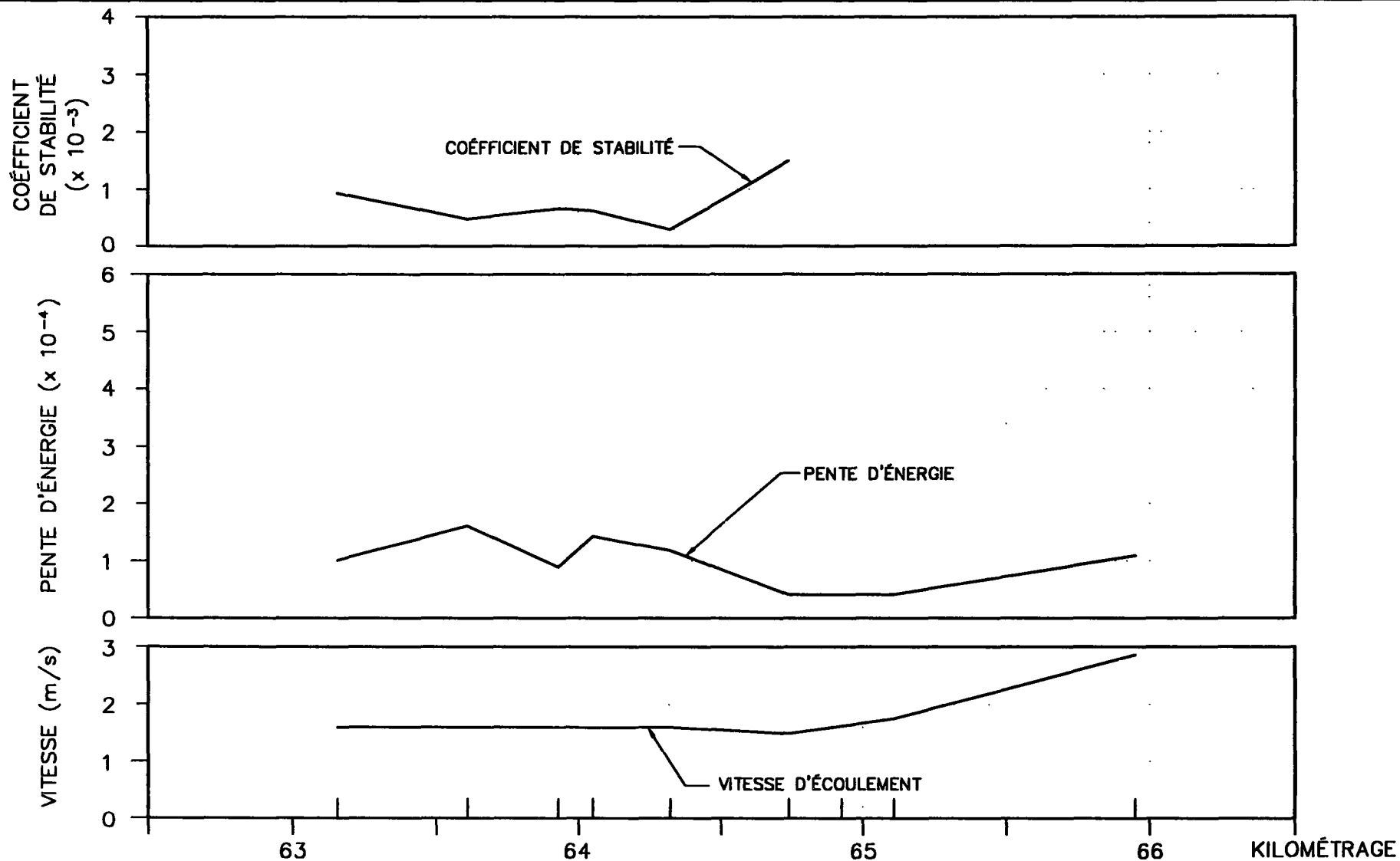


PROJET: 4727

PROFILS DU NIVEAU D'EAU ET DU COUVERT
 DE GLACE. EMBÂCLE ÉTENDU,
 $d_{50}=0,75$ m, $Q=1400\text{m}^3/\text{s}$

DATE: NOVEMBRE 1993

FIGURE: 4.5



d_{50} = Dimension moyenne des glaçons
 Q = Débit

RIVIÈRE CHAUDIÈRE
 ÉTUDE DU BARRAGE DE RÉTENTION
 DE LA GLACE À BEAUCEVILLE

CONDITIONS HYDRAULIQUES
 ET DE STABILITÉ DU COUVERT DE GLACE.
 EMBÂCLE ÉTENDU,
 $d_{50} = 0,75$ m, $Q = 1400 \text{ m}^3/\text{s}$



PROJET: 4727

DATE: NOVEMBRE 1993

FIGURE: 4.6

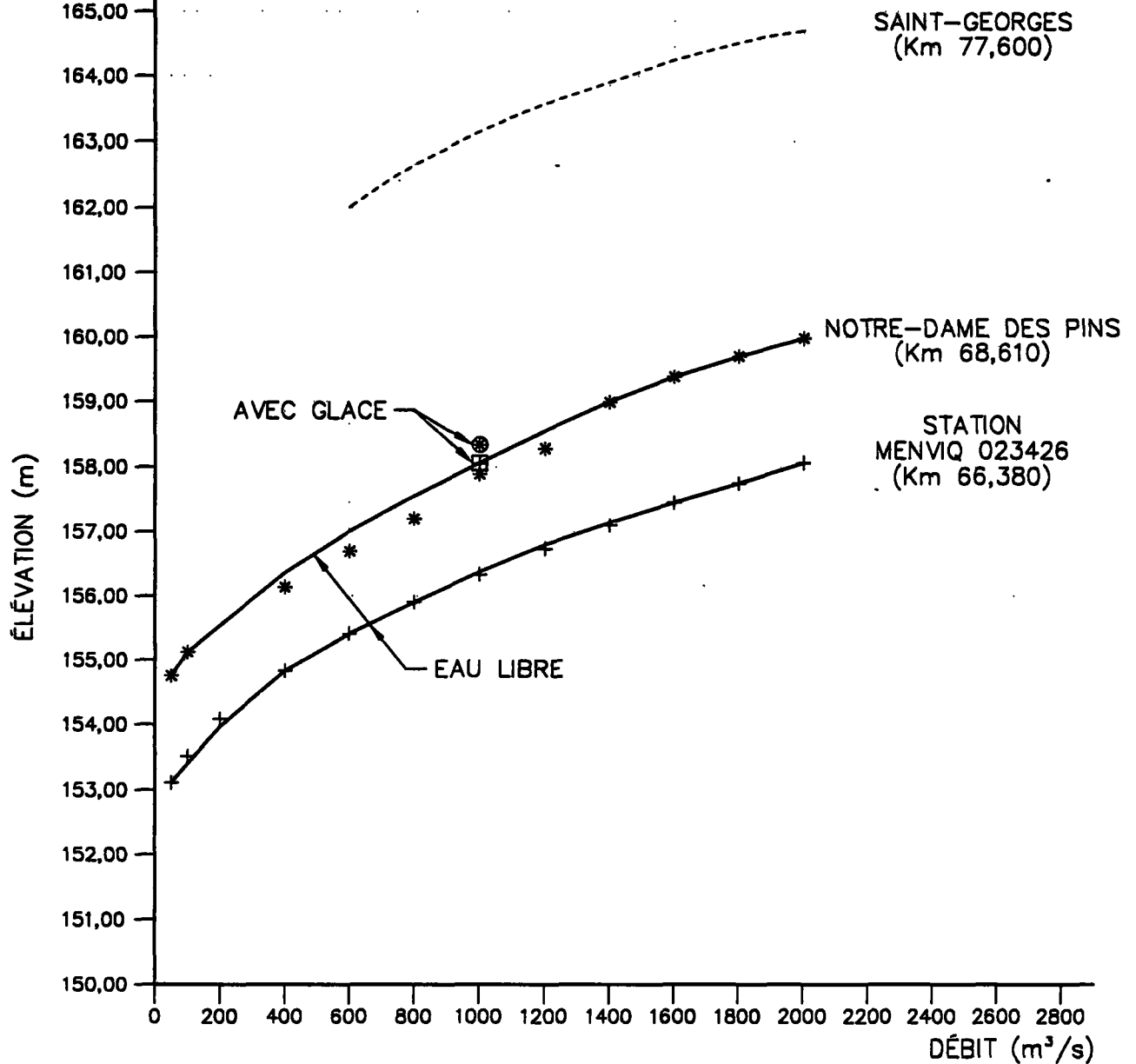
NOTATION

+ STATION MENVIQ 023426 (SANS LE BARRAGE – EAU LIBRE)

* NOTRE-DAME DES PINS (SANS LE BARRAGE – EAU LIBRE)

▣ STATION MENVIQ 023426 (AVEC LE BARRAGE – ET UN EMBÂCLE CONCENTRÉ)

● NOTRE-DAME DES PINS (AVEC LE BARRAGE – ET UN EMBÂCLE CONCENTRÉ)



+ RELATION PAR CALCULS DES PROFILS D'ÉCOULEMENT

— COURBE OBTENUE PAR LISSAGE

----- RELATION PAR DONNÉES NIVEAUX ET DÉBITS DU MENVIQ

RIVIÈRE CHAUDIÈRE
ÉTUDE DU BARRAGE DE RÉTENTION
DE LA GLACE À BEAUCEVILLE

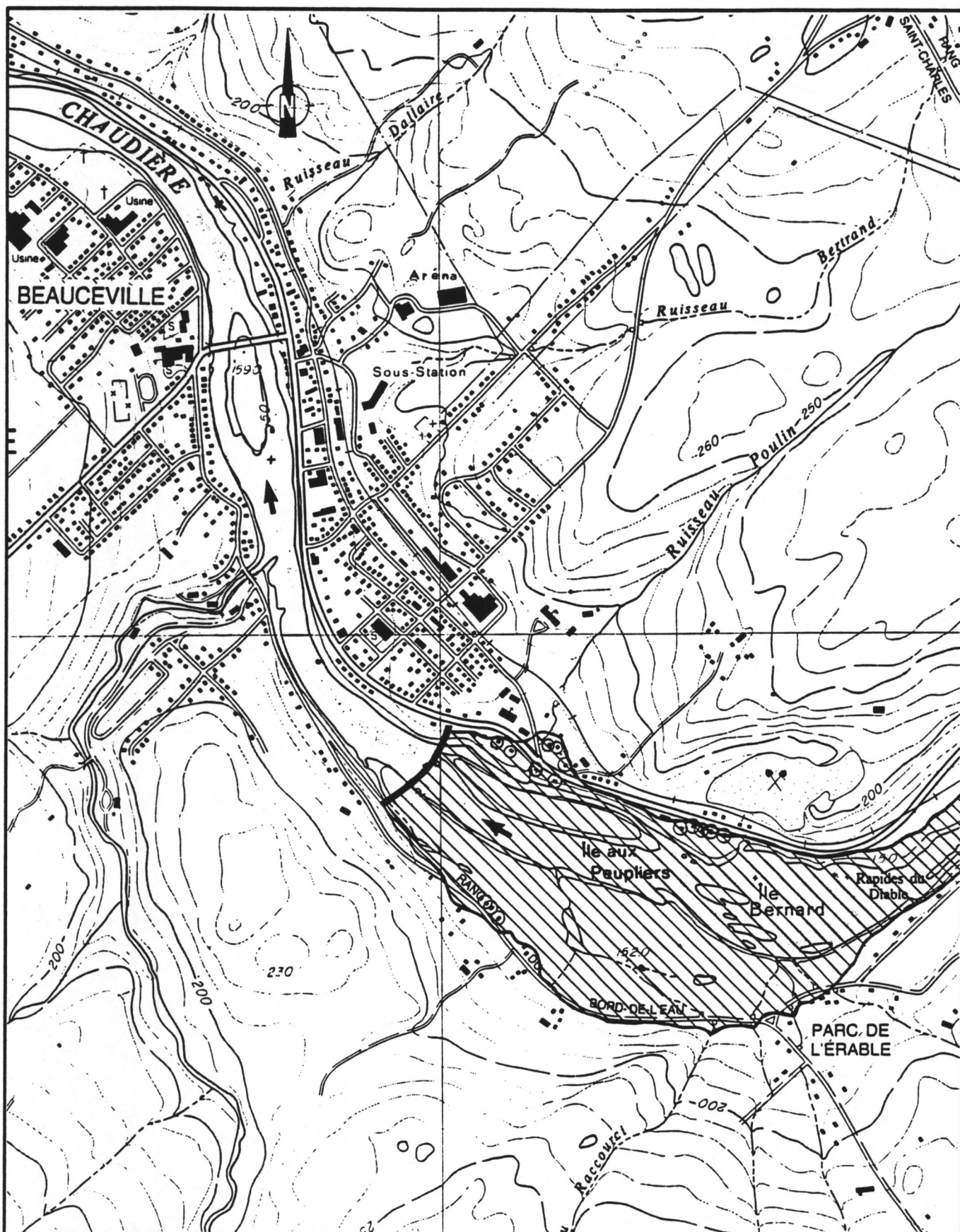
RELATIONS DÉBITS–NIVEAUX
STATION MENVIQ 023426
NOTRE-DAME DES PINS ET ST-GEORGES
AVEC LE BARRAGE À BEAUCEVILLE



PROJET: 4727

DATE: OCTOBRE 1993

FIGURE: 4.7



RIVIÈRE CHAUDIÈRE
BARRAGE DE RÉTENTION DE LA GLACE
À BEAUCEVILLE

PROPRIÉTÉS ET INFRASTRUCTURES TOUCHÉES
PAR LE REHAUSSEMENT DU NIVEAU D'EAU
DANS LE BIEF AMONT DU BARRAGE



PROJET: 4727

DATE: JANVIER 1994

FIGURE: 4.8

5.0 ÉLÉMENTS À CONSIDÉRER POUR LA CONCEPTION FINALE DE LA SOLUTION RETENUE

Les deux solutions présentées dans ce rapport ont été étudiées au niveau de l'étude de pré-faisabilité, car leur conception repose sur des données limitées, d'où le recours à des hypothèses concernant l'application de certaines méthodes de calculs. La conception finale de l'une ou l'autre solution nécessitera l'obtention d'information additionnelle non disponible pour la présente étude. Ces informations sont décrites brièvement ci-après :

- 1) un plus grand nombre de sections en travers pour améliorer la connaissance de la bathymétrie, afin de préciser :
 - l'emplacement et l'étendue des fosses, notamment celles reliées à l'exploitation du gravier en aval de Beauceville ;
 - l'emplacement, l'étendue et l'origine des dépôts de sédiments comme celui formé à la suite de la crue importante s'étant produite sur le ruisseau Mathieu à Beauceville ;
 - la conception et l'effet sur les niveaux d'eau amont, à la débâcle, des deux ouvrages de rétention de la glace sur la rivière Saint-Victor.
- 2) des observations systématiques, surtout lors des débâcles de printemps, devraient être entreprises pour améliorer la connaissance des débits de débâcle, des conditions (débits, niveaux) pendant la formation des embâcles. Des limnigraphes enregistreurs devraient être ré-installés au Rocher et au pont à Beauceville. Des mesures du profil des niveaux d'eau devraient être faites à 5 points le long de l'embâcle pendant toute la période où elle est en place à Beauceville. Des mesures précises de la température de l'eau à l'embouchure des rivières Famine et Linière devraient être prises pour évaluer l'importance de la fonte du couvert de glace et établir une relation entre l'état du couvert de glace et les conditions de la débâcle (débits et niveaux). Un limnimètre enregistreur à cet effet devrait être placé à mi-chemin entre Notre-Dame-des-Pins et Saint-Georges;

- 3) des observations de la débâcle devraient être effectuées à partir du sol et de survol en avion à basse altitude, afin de cartographier le couvert de glace et de comprendre la dynamique des embâcles entre l'embouchure de la rivière Bras Saint-Victor et Saint-Georges. Ces observations devraient s'étendre sur une période d'environ deux semaines, soit entre le moment où le débit dépasse 400 m³/s sur la rivière Chaudière et la fin de la débâcle à Beauceville.

Ces informations permettront de mieux comprendre le rôle joué par la plaine d'inondation dans la débâcle du couvert de glace. Ce rôle doit être précisé surtout en ce qui concerne la solution de profilage et de remblayage du chenal en aval de Beauceville. En effet, au moment de la crue, le niveau d'eau déborde dans la plaine inondable ce qui réduit jusqu'à 25 % le débit disponible dans le chenal principal pour entraîner la glace. Cette situation contribue donc à augmenter la stabilité des embâcles. L'écoulement du débit dans la plaine d'inondation est probablement à l'origine de l'érosion des sols agricoles et de la formation des bourrelets qui retiennent en place le couvert de glace thermique en aval du Rocher, ce qui retarde la débâcle du couvert en place jusqu'à Beauceville. La présence de ce couvert encore solide et stable, au moment de l'arrivée des glaçons provenant de la débâcle du tronçon amont, favorise la formation des embâcles et des inondations à Beauceville.

D'après les informations recueillies auprès du MAPAQ, les bourrelets seraient aussi des amoncellements de pierres et de souches placés par les agriculteurs pour empêcher la glace de se déplacer sur leurs terres. L'examen du vidéo de la crue de 1991 (réf. 1) montre que le couvert de glace demeure en place dans le chenal entre Saint-Joseph et le Rocher ce qui contribue à rehausser le niveau d'eau à cause du frottement plus grand dû à la présence du couvert de glace. Il est donc important de s'assurer que le couvert de glace ne soit pas retenu en place sur ce tronçon.

Tel que mentionné précédemment, un des facteurs qui augmente la stabilité d'un embâcle dans le chenal principal est l'écoulement d'une partie du débit dans la plaine inondable. Les observations de quelques débâcles à Beauceville permettraient de déterminer la nécessité de construire des digues de faible hauteur pour canaliser l'écoulement entre le Rocher et Beauceville.

Cette étude a permis d'identifier, de concevoir et d'établir les coûts de façon préliminaire, pour deux solutions possibles au problème des inondations causées par les embâcles à Beauceville. En l'absence des données plus complètes sur les embâcles énumérées précédemment, nous recommandons de procéder à des études sur modèle réduit avant de procéder à la conception finale de la solution retenue. Il est en effet difficile de poursuivre l'analyse de la solution de profilage et de remblayage du chenal au moyen de méthodes numériques sans données additionnelles fiables sur les conditions d'embâcles. La solution de profilage et de remblayage du chenal, en aval de Beauceville, repose sur une seule observation du débit de débâcle du couvert de glace en amont de Beauceville, soit celui de 1993. Cette valeur a pu être définie grâce aux observations systématiques du couvert et des niveaux d'eau effectuées durant la période de la débâcle par toutes les municipalités sous la coordination de la direction régionale de la DGSC avec la collaboration de celle du MENVIQ. Malgré l'importance de la crue de 1991, aucune des mesures de niveau d'eau ne peut être reliées à des conditions de glace précises dans la région de Beauceville.

L'effort collectif de 1993 a donc été très utile pour la présente étude et il est souhaité que ces observations, très simples et peu coûteuses, soient répétées dans le futur, ce qui permettrait d'améliorer la conception de cette solution en identifiant des moyens pour :

- réduire le débit de glace venant du relâchement des embâcles formés en amont de Beauceville ;**
- retarder la débâcle et le relâchement des embâcles en amont de Beauceville, ce qui permettrait d'augmenter la fiabilité de cette solution en s'assurant d'avoir les conditions favorisant le départ de la glace en aval de Beauceville, avant le départ du couvert sur le tronçon amont.**

Des ouvrages simples de rétention de la glace comme ceux prévus sur la rivière Bras Saint-Victor, des îlots artificiels ou des excavations locales peuvent être considérés pour retarder le départ du couvert de glace à certains endroits en amont de Beauceville, sans entraîner de rehaussement des niveaux d'eau à Saint-Georges.

Ces ouvrages pourraient s'avérer plus efficaces que ceux préconisés sur la rivière Saint-Victor. Cependant, les répercussions d'éventuels rehaussements du niveau d'eau causés par la rétention de la glace sur cette rivière apparaissent moins fortes que sur la rivière Chaudière dans la région de Saint-Georges. C'est la raison pour laquelle cette solution a été présentée ici.

En ce qui concerne la solution du barrage de rétention de la glace à Beauceville, sa conception peut être finalisée par des calculs effectués au moyen de méthodes numériques comme celles que nous avons utilisées dans cette étude.

6.0 EFFETS DES SOLUTIONS AUX INONDATIONS EN EAU LIBRE SUR LES CONDITIONS DE GLACE

6.1 Solutions d'excavation

Tel que mentionné dans le rapport d'étape 2 (chapitre 3), les excavations entre Scott Jonction et Sainte-Marie (km 13,76 à 27,91) améliorent la capacité d'écoulement de la rivière Chaudière. Cette amélioration provient d'une augmentation de la section et de la vitesse d'écoulement lors des crues du printemps. L'examen de ces caractéristiques, à un débit de $800 \text{ m}^3/\text{s}$, permet d'évaluer l'effet de cette solution sur le couvert de glace. Les observations rapportées par le groupe de travail sur les embâcles (réf. 2) indiquent que la débâcle se produit sur ce tronçon sans formation d'embâcles majeurs comme ceux que l'on retrouve à Beauceville. Quelques petits embâcles se produisent, notamment au pont de Scott Jonction et au droit de l'île Perrot. Après excavation, on constate une diminution des profondeurs et une augmentation des vitesses entre Scott Jonction et Vallée-Jonction. Cette dernière augmentation varie de 50 % à Scott jusqu'à moins de 10 % à Vallée-Jonction. En général, les vitesses demeurent insuffisantes pour créer la formation d'embâcles ni provoquer l'entraînement de glaçons sous le couvert. Les vitesses diminuent progressivement de l'aval vers l'amont ce qui favorisera une séquence de débâcle débutant à Scott Jonction et progressant vers l'amont. Cette situation conduirait à une amélioration des conditions actuelles.

À partir de Saint-Joseph, les modifications aux caractéristiques de l'écoulement (profondeur, vitesse) sont négligeables par rapport aux conditions actuelles. Cette solution n'aura donc pas d'effets favorables sur la débâcle du couvert de glace jusqu'à Beauceville. Elle n'empêchera pas la formation des embâcles entre le Rocher et Beauceville où aucune réduction des inondations n'est anticipée.

6.2 Solutions par endiguement et imperméabilisation

Ces solutions ne modifient pas de façon significative les conditions d'écoulement de la rivière Chaudière sur le tronçon des eaux mortes. Elles n'ont donc pas d'effet notable sur les conditions de glace et la réduction des inondations à Beauceville.

6.3 Solutions par barrage-réservoir

Les réservoirs retiennent une partie du débit au moment de la pointe de la crue. La solution comportant quatre barrages permet, grâce à un volume de réserve de $157 \times 10^6 \text{ m}^3$, une réduction des débits de pointe variant entre 31,7 % à Saint-Georges et 20,4 % à Sainte-Marie. Si on examine l'effet de cette solution sur les débits de la débâcle de 1993 qui a provoqué des inondations à Beauceville, nous pouvons déduire un nouveau scénario des événements en se basant sur les observations contenues dans les rapports et les données de débits provenant du MENVIQ.

En se basant sur le mode d'opération prévu des réservoirs, sur les prévisions de fonte du couvert élaborées par le MENVIQ et sur les prévisions météo à 48 heures, la réduction du débit par les réservoirs aurait débuté une semaine avant la pointe de la crue, soit vers le 3 ou le 4 avril 1993. La débâcle du tronçon amont a commencé à Saint-Georges le 6 avril. Le 7 avril, la glace s'est déplacée jusqu'à Notre-Dame-des-Pins. Le 9 avril, le couvert a commencé à se déplacer à Notre-Dame-des-Pins. Avec la réduction du débit possible grâce aux réservoirs, le couvert de glace serait probablement resté en place à cette date. Le 10 avril à 20 h 00, la glace s'est déplacée encore à Notre-Dame-des-Pins et s'est arrêtée à l'île Aux Oies (km 68,0), le débit était alors de $550 \text{ m}^3/\text{s}$ à Saint-Lambert, donc de $400 \text{ m}^3/\text{s}$ à Notre-Dames-des-Pins. Dans la nuit du 10 au 11 avril, la glace est descendue en masse vers Beauceville pour former l'embâcle au km 58,5. Le débit de débâcle a été évalué à $670 \text{ m}^3/\text{s}$. Avec la présence des barrages, ce débit aurait été réduit de 30 % donc à $470 \text{ m}^3/\text{s}$. À ce débit, la glace serait demeurée sur place à Notre-Dame-des-Pins. Le débit maximum de la crue a été de $1\,300 \text{ m}^3/\text{s}$ à Saint-Lambert, donc de $940 \text{ m}^3/\text{s}$ à Beauceville. Avec les barrages, ce débit aurait été réduit à $655 \text{ m}^3/\text{s}$ ($940 \times 0,70$) à Beauceville et Notre-Dame-des-Pins.

Comme cette valeur est inférieure au débit de $670 \text{ m}^3/\text{s}$ qui a provoqué la débâcle de l'embâcle à Notre-Dame-des-Pins, nous pouvons déduire que l'embâcle serait demeurée sur place au km 68 et que la glace ne se serait pas déplacée jusqu'à Beauceville. Il n'y aurait donc pas eu d'inondations dans cette ville, puisqu'à ce débit, le rehaussement du plan d'eau est négligeable avec un couvert de glace mince (sans embâcle).

Il faut aussi noter que la réduction du débit résultant de l'opération des réservoirs retarderait la débâcle du couvert de glace entre Scott et Beauceville. Cependant, cela n'aurait pas pour effet de rehausser de façon significative les niveaux d'eau parce que d'une part, les pertes de charge avec un couvert mince et affaibli demeurent relativement faibles et que, d'autre part, la débâcle du couvert de glace se fait à un débit maximum d'environ 800 m³/s sur la presque totalité du tronçon des eaux mortes en aval du Rocher. À ce débit, les inondations sont limitées au territoire agricole et ne touchent aucune municipalité.

L'évaluation précédente indique donc que la solution des barrages-réservoirs permettrait d'éliminer les embâcles à Beauceville, pour des crues d'intensité moyenne comme celle de 1993 et dont la période de retour est évaluée à 3,5 années à Saint-Lambert. Nous sommes d'avis qu'il serait possible d'empêcher la formation d'embâcles à Beauceville pour des crues de plus forte intensité. Ceci pourrait être réalisé en retardant le départ de la glace sur le tronçon amont au moyen d'ouvrages simples. Nous pensons ici à des îlots artificiels, à des excavations pour augmenter la stabilité du couvert à certains endroits ou encore à des piliers en rivière comme ceux prévus sur la rivière Bras Saint-Victor dans la solution de profilage et de remblayage du chenal de la rivière Chaudière à Beauceville. Malgré le maintien en place du couvert et possiblement la formation de petits embâcles sur le tronçon compris entre Notre-Dame-des-Pins et Saint-Georges, la réduction du débit par les réservoirs serait suffisante pour empêcher les rehaussements importants du plan d'eau et des inondations sur ce tronçon. À titre d'exemple, rappelons que les simulations effectuées pour la crue centenaire, survenue au printemps 1991, ont démontré que les réservoirs permettent d'éliminer complètement les inondations en eau libre en abaissant les niveaux d'eau sur ce tronçon entre 0,70 et 1,20 m.

Nous pouvons donc conclure que l'aménagement des réservoirs combiné à certains travaux de faible envergure sur la rivière en amont et en aval de Beauceville permettraient d'éliminer les embâcles et les inondations dans cette ville. Une étude plus détaillée est cependant nécessaire pour préciser la conception et les coûts des travaux requis ainsi que la gamme des débits où cette solution serait efficace pour la ville de Beauceville. Cette étude nécessite une meilleure connaissance des débits de débâcle en amont de Beauceville basée sur des observations et des simulations au moyen du modèle numérique HEC-2.

RÉFÉRENCES

- 1) MENVIQ - Vidéo de la crue 1991 produit par la Direction régionale Chaudière-Appalache.
- 2) Lacroix, J., et al. (1992). Rapport final : groupe de travail sur les mesures d'intervention (embâcles) sur la rivière Chaudière. Québec, 20 février 1992.
- 3) Lacroix, J., et al., (1992). Rivière Chaudière, rapport sur la réalisation des mesures d'intervention présenté au comité consultatif relatif au problème des inondations de la rivière Chaudière. Sainte-Foy, 11 juin 1992.
- 4) Triquet, Claude, (1965). Plan d'ensemble des travaux remédiateurs de la rivière Chaudière. Contrôle des inondations à la débâcle. Annexe A : Observations cryologiques sur la rivière Chaudière. Ministère des Richesses Naturelles du Québec. Rapport R-1A, Québec 1965.
- 5) Calkins, D.J. et Ashton, G.D. (1975). Arching of Fragmented Ice Covers, U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory Report.
- 6) U.S., Bureau of Reclamation (1974), Design of Small Dams.
- 7) Pariset, E., Hausser, R. et Gagnon, A. (1966). Formation of Ice Covers and Ice Jams in Rivers. ASCE Journal of the Hydraulics Division, Vol. 92, n° HY6, Nov. 1966.
- 8) Pariset, E. et Hausser, R. (1961). Formation and Evolution of Ice Covers on Rivers. Transactions of the Engineering Institute of Canada, Vol. 5, N° 1, 1961, pp. 41-49.
- 9) Donald Carter et Ass. (1990). Capacité portante et action des glaces sur les ouvrages hydrauliques. Rapport de la Société d'Énergie de la Baie James.
- 10) Laganière, M., Larouche, P. (1992). Les problèmes reliés à la conduite d'un barrage de rétention des glaces (barrage Sartigan). Dam Safety Conference, 1992.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) U.S. Army Corps of Engineers - Hydrologic Engineering Center (1991). HEC-2 : Water Surface Profiles. User's Manual.
- 2) Michel B. (1971). Winter Regime of Rivers and Lakes. U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory Hanover, N.H.
- 3) Canadian Standards Association (1988). Design of Highway Bridges, CAN/CSA-S6-88.
- 4) Vocabulaire de l'exploitation des barrages (1991). Hydro-Québec, première édition, novembre 1991.
- 5) S. Petryk (1984). Terminologie de la glace. Rapport non publié.

ANNEXE A

PHOTOGRAPHIES



Vue de la rivière au km 60,0. À noter le chemin pour l'extraction du gravier et au bout vers l'aval le haut-fond marquant la limite amont du tronçon à remblayer.



Vue de la rivière au km 61,0. L'éperon rocheux marquent la limite amont d'un tronçon où le niveau naturel du fond de la rivière est élevé. Les vitesses y sont plus fortes. Les embâcles ne sont pas stables à cet endroit et descendent au km 58,5.



Vue du batardeau au km 59,0. L'extraction du gravier à cet endroit a formé une fosse à l'élévation 141,8 soit plus de 2 m sous le niveau du batardeau. Les travaux de remblai consisteront à réduire la largeur de la rivière à 110 m et à rehausser le fond à un niveau de 144,8 m, soit 0,60 m (2 pi) plus haut que le batardeau.



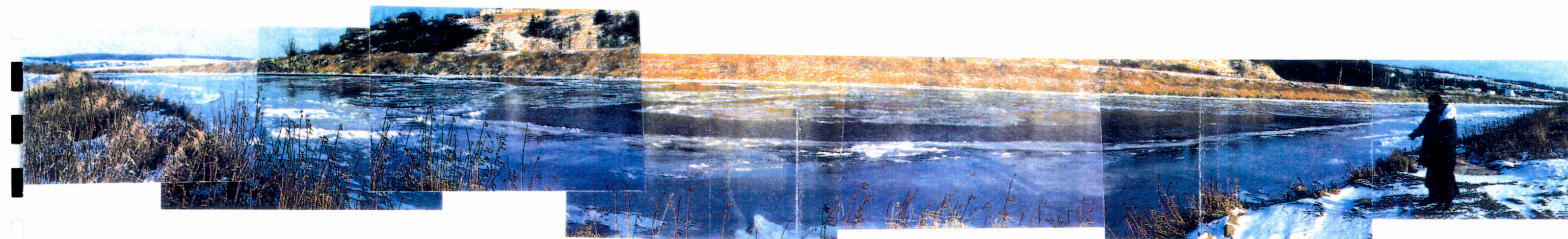
Vue du chenal d'écoulement de la rivière en période de basses eaux (fin d'août 1993). La largeur du chenal est de moins de 30 m. En période de crue toute la section incluant celle comprise dans l'enceinte du batardeau contribue à l'écoulement. À noter que les matériaux résistent aux fortes vitesses d'écoulement sous l'embâcle.



Vue vers l'aval de l'entrée du méandre du Rocher. Noter le haut-fond au centre qui barre la moitié «est» de la rivière au km 57,5.



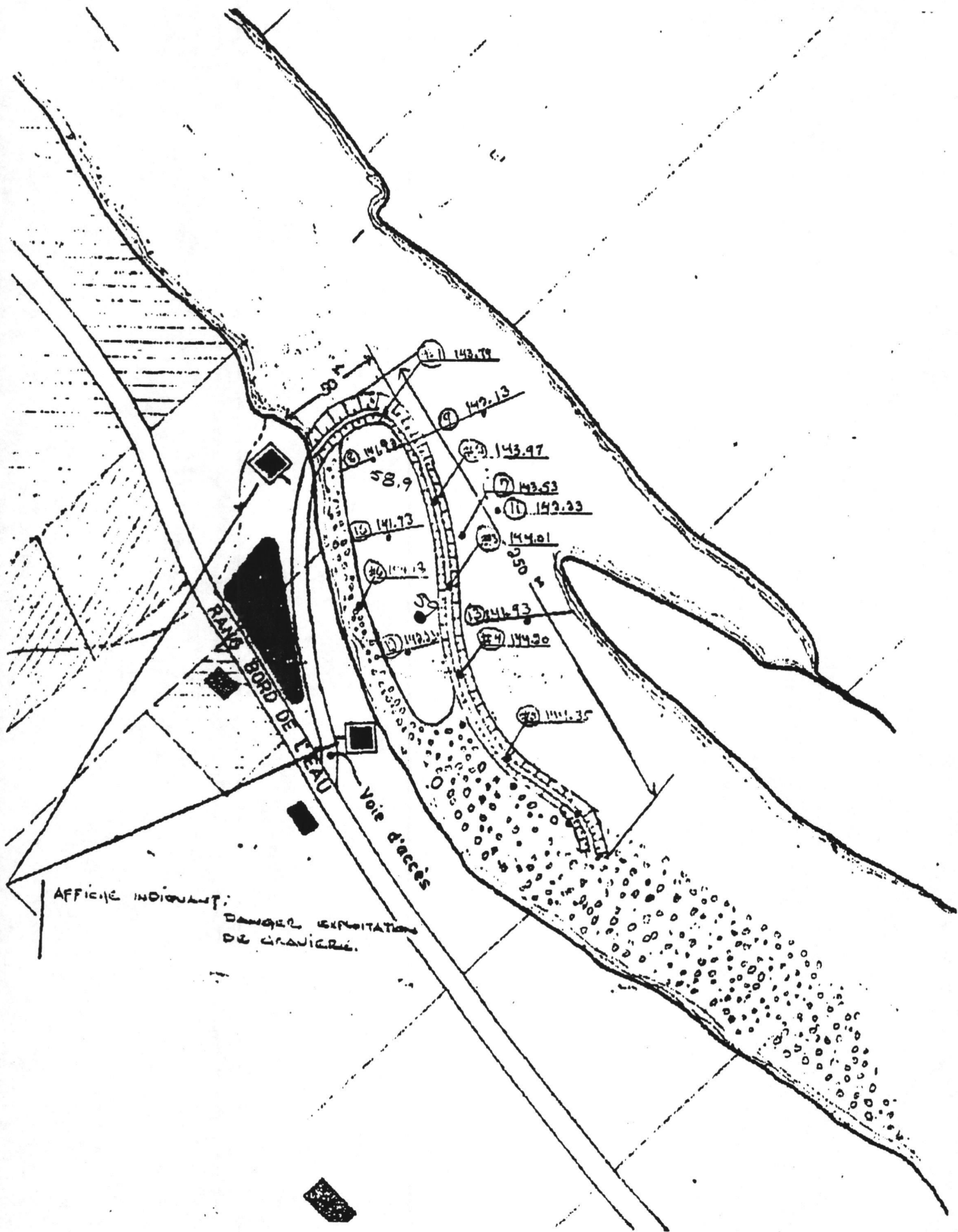
Vue de l'éperon rocheux affleurant en rive «est» au km 58,8 un peu en aval de la fosse créée par l'extraction du gravier située près de l'embouchure du ruisseau Mathieu (km 58,9). La fosse et l'éperon contribuent à créer l'embâcle.



Vue panoramique de la courbe du rocher dans la zone des plus grandes profondeurs. La diminution de la vitesse d'écoulement ralentit le dégagement de la glace au printemps et retarde la débâcle du couvert en place jusqu'à Beauceville. Le remblayage aura pour effet d'augmenter la vitesse et de favoriser la débâcle de cet endroit jusqu'à Beauceville. A noter que la rivière coule de droite à gauche sur la photo.

ANNEXE B

**RELEVÉS BATHYMÉTRIQUES AU DROIT
DU BATARDEAU AU km 59,0**



AFFICHE INDICANT:
DANGER EXPLOITATION
DE GRAVIERE.

ANNEXE C

GLOSSAIRE ET TERMINOLOGIE DE LA GLACE

GLOSSAIRE

<i>Bathymétrie :</i> <i>(relevés bathymétriques)</i>	Mesure de la profondeur de l'eau dans un cours d'eau par des relevés faits dans ce cas-ci au moyen d'un sonar.
<i>Chenal (zone) principal :</i> <i>(lit de la rivière)</i>	Il s'agit de la partie de la rivière où l'eau s'écoule la plupart du temps et normalement en dehors des périodes de crue.
<i>Coursier :</i>	Chenal incliné en béton évacuant les débits entre le seuil déversant et le chenal naturel de la rivière.
<i>Crue :</i>	Montée, nettement au-dessus des valeurs habituelles, du débit d'un cours d'eau attribuable aux précipitations ou à la fonte des neiges.
<i>Crue de conception :</i> <i>(débit de conception)</i>	Valeur du débit de crue utilisée pour calculer les dimensions (hauteur, longueur, largeur) des ouvrages de protection contre les inondations. Cette valeur repose sur une analyse économique des coûts des ouvrages et des dommages résiduels. Pour la protection contre les inondations, la crue de conception est habituellement le débit de la crue qui peut se produire une fois dans 100 ans.
<i>Débit :</i>	Le débit est le volume d'eau qui s'écoule à un point d'un cours d'eau durant un laps de temps déterminé. Le débit s'exprime en mètres cubes par seconde. Au cours d'une inondation, l'écoulement maximal d'une rivière est appelé débit de pointe.
<i>Débit moyen :</i> <i>(débit médian)</i>	C'est la valeur du débit pour laquelle 50% du temps les débits lui sont supérieurs et 50% du temps les débits lui sont inférieurs.
<i>Débit de plein bord :</i>	C'est le débit pouvant s'écouler dans le chenal principal avant qu'il n'y ait débordement dans la plaine inondable.
<i>Débit de pointe :</i>	C'est la valeur maximale qu'a atteint le débit pendant une crue.

Note: Les mots entre parenthèses sont d'autres mots utilisés dans le texte dont la signification correspond à celle indiquée.

GLOSSAIRE (suite)

Débit reconstitué :	Il s'agit des débits calculés par le modèle de simulation utilisé, par opposition aux débits observés ou mesurés par des jaugeages en rivière.
Efficacité hydraulique :	Qualité d'un ouvrage qui produit l'effet hydraulique désiré. L'efficacité hydraulique peut être exprimée par la baisse des niveaux d'eau dans le cas de travaux d'amélioration du chenal d'une rivière ou par la réduction du débit dans une rivière en aval d'un réservoir.
Hydrogramme des débits:	Graphique qui montre la relation entre les débits de la rivière à un endroit donné et le temps (variation du débit avec le temps tel que montré sur la figure 5.1).
Inondation :	Submersion des terrains par l'eau d'une rivière. L'ampleur d'une inondation s'exprime couramment en termes du niveau maximum que l'eau a atteint au cours d'une crue.
Laminage : (laminage de crue)	Effet atténuateur exercé par un réservoir sur une crue par le stockage et le déstockage de l'eau. Le débordement de l'eau dans une plaine inondable a aussi pour effet d'atténuer la crue en aval.
Modélisation hydraulique:	Il s'agit de l'ensemble des méthodes et des équations utilisées pour calculer les caractéristiques hydrauliques de la rivière pour un débit donné, soit : niveaux d'eau, vitesses, largeur, profondeur. Le modèle utilisé dans l'étude est un modèle unidimensionnel en régime permanent. La vitesse d'écoulement est la vitesse moyenne au droit des sections en travers et les niveaux d'eau sont stables, c'est-à-dire qu'ils ne varient pas dans le temps. La modélisation hydraulique repose sur l'emploi du logiciel HEC-2.
Modèle hydrologique :	Il s'agit de l'ensemble des méthodes et des équations utilisées pour calculer les débits sur les tributaires et dans la rivière Chaudière à partir des précipitations et de la fonte de la neige. Le modèle utilisé est le logiciel SSARR qui permet aussi de calculer le laminage dans les réservoirs et la propagation des débits entre différents endroits le long des cours d'eau.

GLOSSAIRE (suite)

Module annuel :	C'est le débit calculé en divisant le volume d'eau annuel en mètres cubes passant dans la rivière à un point donné par le nombre de seconde dans une année.
Module Inter-annuel :	Moyenne des modules annuels.
« n » de Manning :	Il s'agit d'un coefficient utilisé dans l'équation du calcul du profil d'écoulement en régime permanent pour représenter le frottement des berges et du lit de la rivière.
Niveau de crue :	Le niveau de crue est la hauteur maximale atteinte par les eaux d'inondation à un point donné et s'exprime en termes d'altitude du plan d'eau par rapport au niveau moyen de la mer (altitude géodésique). Cette hauteur est indiquée en mètres.
Optimiser :	Chercher à obtenir l'état ou la production le plus favorable d'une machine ou d'un ouvrage résultant d'une opération pouvant l'affecter.
Passes :	Ouvertures entre des piliers permettant à l'eau de passer au-dessus d'un seuil déversant.
Pertes singulières : (pertes de charge)	Il s'agit du rehaussement du niveau d'eau occasionné par une contraction ou une expansion brusque de l'écoulement. Un exemple d'une perte singulière est le rehaussement du niveau d'eau au droit d'un pont lorsque la section d'écoulement est réduite à cause des culées et des piliers.
Pertuis : (pertuis de fond) (vanne de fond)	Ouverture munie d'une vanne et située dans la partie inférieure d'un barrage, utilisée pour vider un réservoir ou pour évacuer le dépôts solides accumulés derrière le barrage.
Plaine inondable : (plaine d'inondation) (zone secondaire d'écoulement)	Il s'agit de la partie de la rivière, située en bordure du chenal principal, qui est submergée en période de crue et où une partie de l'écoulement se fait.
Radier du canal :	Plancher du canal.

GLOSSAIRE (suite)

Règle d'opération :	Consigne suivie par l'opérateur d'un barrage pour arriver au résultat désiré. Les règles d'opération consistent à ouvrir ou fermer les vannes pour limiter les débits sortant ou pour atteindre un niveau d'eau fixé dans le réservoir.
Retenue : (réservoir)	Eau emmagasinée à l'amont d'un barrage dans un réservoir ou un bief. Un lac est un bief naturel même lorsque l'écoulement à son exutoire est contrôlé par un barrage.
Revanche :	Différence entre le niveau de la crête d'une digue et le niveau maximal de l'eau prévu pour la crue de conception.
Ressaut hydraulique :	Vague formée par un changement brusque de la hauteur d'eau à la rencontre d'un écoulement très rapide avec une zone à l'écoulement plus lent.
Seuil de contrôle :	C'est l'endroit le long d'une rivière caractérisé par une section d'écoulement plus étroite ou une augmentation marquée de la pente du lit. Lorsque les niveaux d'eau à cet endroit influencent les niveaux d'eau en amont, on dit que cette section agit comme seuil de contrôle. On rencontre ce type de section à la tête d'une zone de rapides au début d'un tronçon à écoulement plus lent.
Seuil déversant : (crête déversante) (déversoir) (évacuateur de crues)	Partie supérieure du barrage profilée selon un arc de cercle qui laisse passer le surplus d'eau au moment d'une crue lorsque le réservoir est plein.
Seuil d'inondation :	Niveau où les premières propriétés privées (bâtiment) ou publiques (rue) commencent à être inondées dans une localité.
Seuil de débordement :	Niveau où l'eau sort du chenal principal de la rivière. Ce niveau correspond au débit de plein bord.
Silt :	Matériau granulaire naturel de dimensions comprises entre le sable et l'argile.
Thalweg :	Profil longitudinal des plus grandes profondeurs d'un cours d'eau naturel.

GLOSSAIRE (suite)

Transect :
(section transversale)

Il s'agit de mesures de l'élévation du terrain ou de la bathymétrie faites le long d'un axe perpendiculaire (à angle droit) à l'alignement du chenal principal de la rivière.

Vannes :

Dispositif de réglage du débit ou de fermeture d'une conduite ou d'un orifice.

Vanne wagon :

Cette vanne de grande dimension (largeur, hauteur, profondeur) est très lourde. Elle est donc munie de roues qui permettent à la vanne, en se déplaçant dans les rainures latérales, de boucher l'ouverture du puits.

Volume utile du réservoir :

Volume d'eau du réservoir compris entre le niveau minimal et le niveau maximal d'exploitation. Le niveau minimal correspond habituellement à celui des puits de fond. Des considérations environnementales peuvent dicter le niveau minimal d'opération et donc le volume du réservoir qui peut être utilisé pour la protection contre les inondations.

TERMINOLOGIE SUIVANT L'ORDRE ALPHABETIQUE (DES MOTS ANGLAIS)

Active zone Zone active	- Tronçon de rivière où le frasil se forme.
Agglomerate Glace agglomérée	- Une couverture de glace ou un floe formé par le gel de différents types de glace
Anchor ice Glace de fond	- Glace submergée, fixée ou ancrée sur le fond, quelle que soit sa nature et ses origines
Anchor ice dam Seuil de glace	- Une accumulation de glace de fond laquelle agit comme un barrage ou un seuil qui élève le niveau d'eau
Bare ice Glace vive	- Glace non recouverte de neige
Beginning of break-up (date) Début de la débâcle (date)	- Rivières: Date de la rupture définitive ou du déplacement de la glace causé par la fonte, le courant ou l'élévation du niveau d'eau - Lacs: Date de l'évidence visuelle de la détérioration de la glace le long des rives - formation de chenaux côtiers

Beginning of freeze-up (date) Prise initiale de la glace (date)	- Date de la formation initiale de la glace sur un plan d'eau
Bight Anse de glace	- Grande baie en forme de croissant, créée par le vent ou le courant dans un front de glace
Border ice (Shore ice) Glace de rive	- Une couverture de glace qui épouse la forme d'une longue bande atta- chée à la rive ou à des cailloux le long de la rive.
Black ice Glace noire Couvert thermique	- Glace transparente formée dans les rivières et les lacs par échange de chaleur entre l'air et l'eau
Brackish ice Glace saumâtre	- Glace formée d'eau saumâtre
Brash ice Brash	- Accumulation de fragments de glace flottante de moins de 2 m; débris d'autres espèces de glace
Broken parts Glace morcellée	- Morceaux de glace, détachés de la glace columnaire ou de la glace granulaire, flottant ou en suspen- sion dans l'eau. Ceci se produit immédiatement avant la débâcle. L'agglomération de ces morceaux de glace forme un type de brash ayant l'aspect de cailloux.

Break-up Débâcle	- Désintégration d'une couverture de glace
Break-up date Date de la débâcle	- Date qui correspond à la première observation d'un plan d'eau entièrement dégagé de glace et qui le demeure par la suite, aussi désignée "date de la dernière glace".
Break-up period Période de la débâcle	- Durée de la désintégration d'une couverture de glace comprise entre le début de la débâcle et la date de la débâcle
Candle ice Glace en chandelle	- Glace colonnaire désagrégée
Channel lead Chenal	- Ouverture allongée dans la couverture de glace causée par le courant
Columnar grained ice Glace colonnaire	- Glace composée de grains ressemblant à des colonnes. La glace noire est habituellement colonnaire
Compacted ice Glaces compactes	- Glaces compactées par le vent ou le courant généralement au front, sous le vent, d'une couverture de glace.
Compacting Par convergence	- Dans ce mode, les différents morceaux de glaces flottantes sont soumis à des mouvements convergents, qui augmente la concentration et y provoquent des contraintes qui peuvent se traduire par des déformations.

Concentration Concentration	- Le rapport (en dixièmes) de la surface d'eau couverte de glaces sur la surface totale en un endroit précis ou pour une zone définie.
Concentration Boundary Frontière de concentrations	- Ligne approximative, marquant la transition entre deux zones de glaces flottantes, ayant des concentrations nettement différentes.
Consolidated ice cover Couverture de glace consolidée (solide)	- Couverture de glace formée par le tassement et la congélation de floes, de brash et d'autres formes de glaces flottantes.
Corn snow ice Glace de neige pourrie	- Glace granulaire pourrie
Crack Fissure	- Cassure qui n'entraîne pas la séparation des parties d'une couverture de glace ou d'un floe
Deformed ice Glace déformée	- Terme général pour désigner la glace qui a été comprimée et en certains points, forcée vers le haut (ou vers le bas) ou cisailée. On distingue dans cette forme, la glace empilée, la glace dressée, la glace hummockée et les autres déformations semblables.

Dendrites Dendrites	- Croissance de la glace sur un plan d'eau sous la forme de minces branches
Detached ice Glace détachée	- Glaces flottantes qui ne sont pas fixées à la rive.
Diffuse ice edge Front de glace diffus	- Est employé lorsque le front de glace ne peut être défini, avec précision, dans une région de glaces dispersées. Ceci s'observe ordinairement à la bordure, sous le vent d'une zone de glaces flottantes.
Drifting ice Glaces à la dérive	- Morceaux de glaces flottantes entraînés par le vent et/ou le courant
Dry crack Fissure sèche	- Fissure visible à la surface mais ne traversant pas la couverture de glace. La fissure est ainsi sèche.
Duration of ice cover Durée de la couverture de glace	- La période de temps écoulée de la prise à la débâcle d'une couverture de glace
Dynamic ice pressure Poussée dynamique des glaces	- Poussée causée par le déplacement d'une couverture de glace ou par les glaces à la dérive

Finger rafted ice Glace empilée en doigts	- Type de glace empilée, dans laquelle les floes sont imbriqués les uns dans les autres, comme des "doigts" de mains jointes.
Floating ice Flacs flottantes	- Désigne toute forme de glace que l'on peut rencontrer flottant dans l'eau
Floc Flocon	- Une agglomération de particules de fraïl
Floe Floe Glaçon	- Morceau de glace, sans distinction de ses dimensions, qui flotte librement
Flooded Ice Glace inondée	- Glace couverte d'eau. La présence d'eau ou de neige mouillée constitue souvent une forte charge sur une couverture de glace
Fracture Fracture	- Désigne toute cassure, rupture d'une couverture de glace ou d'un floe provoquée par un processus de déformation
Fracture zone Zone de fracture	- Désigne une aire où l'on observe un grand nombre de fractures
Fracturing Mécanisme de fracture	- Processus de déformation qui engendre la rupture de la glace

Frazil	- Spicules, plaques ou discoïdes de
Frasil	glace, de petites dimensions, en
	suspension dans l'eau qui sont for-
	més dans les lacs et les rivières
	où l'eau est turbulente et en sur-
	fusion.
Frazil slush	- Agglomération spongieuse de frasil
Slush de frasil	flottant ou accumulée sous une cou-
	verture de glace
	"
Freeze-up period	- La période de temps écoulée depuis
Durée de la prise	la formation initiale de la glace
	jusqu'à la date où la glace forme
	une couverture stable
Fresh water ice	- Désigne toute forme de glace prove-
Glace d'eau douce	nant du gel de l'eau douce
Frost smoke	- Sorte de brouillard provenant du
Brume d'évaporation	contact d'un air froid avec une
	eau relativement chaude. Elle peut
	se former au-dessus des zones li-
	bres de glace ou sous le vent du
	front de glace. Elle peut persis-
	ter lorsque se forme la glace.
Frozen frazil	- Accumulation de slush de frasil qui
slush	a complètement gelé. Si la slush
Glace de frasil	se draine avant de geler, il y aura
	alors formation de la glace de fra-
	sil drainée qui a une apparence
	blanche et poreuse

Granular ice Glace granulaire	- Glace composée de petits cristaux de formes irrégulières mais quelque peu arrondis à l'exemple des grains de sable.
Grounded ice Glace échouée	- Glace déposée sur les rives
Glare ice Glace réfléchissante	- Couverture de glace dont la surface est réfléchissante
Hanging (ice) dam Barrage suspendu	- Agglomération de glace, composée principalement de slush ou de morceaux de glace, déposée sous une couverture de glace.
Hinge crack Fissure en charnière	- Fissure causée par d'importantes variations du niveau d'eau
Hummocked ice Glace hummockée	- Couverture de glace formant une surface accidentée
Hummock Hummock	- Monticules de glaces brisées qui ont été soulevés sous l'effet des pressions
Hummocking Hummockage	- Effet de pression qui force la glace à s'ériger en monticules ou hummocks
Ice backup Refoulement des glaces	- Progression vers l'amont d'une couverture de glace lorsque les glaces à la dérive sont arrêtées par une estacade, un embâcle, un barrage suspendu ou une couverture de glace stable.

Ice boom Estacade à glace	- Ouvrage flottant destiné à retenir la glace
Ice bridge Pont de glace	- Couverture de glace continue de grandeur limitée mais reliant une rive à une autre comme un pont
Ice clearing Dégagement des glaces	- Débâcle antérieure à la fonte complète
Ice cover Couverture de glace Couvert de glace	- Une étendue considérable de glace, quelle que soit sa forme, sur un plan d'eau
Ice crossing Traverse de glace Bord frontal amont	- Pont de glace fait par l'homme
Ice edge Front de glace	- Ligne de séparation à un instant donné, entre l'eau libre et les glaces, qu'elles soient statiques ou dynamiques. Ce front peut être compact ou diffus.
Ice foot Pied de glace	- Etroite frange de glace, fixée à la rive, qui ne suit pas les variations du niveau d'eau
Ice free Libre de glace	- Se dit d'une zone dans laquelle aucune glace flottante n'est présente
Ice grain Grain de glace	- Élément constitutif des différentes textures de glace

Ice gorge Gorge de glace	- Gorge ou ouverture laissée dans un embâcle brisé
Ice impact pressure Poussée d'impact de la glace	- Force produite par la percussion de glaces flottantes
Ice jam Embâcle	- Accumulation de glaces retenues dans un tronçon de rivière
Ice jamming Formation d'embâcle	- Le processus d'accumulation des glaces qui provoque un embâcle
Ice ledge Bordure de glace	- Etroite lisière de glace qui reste le long des rives d'une rivière à la suite de la débâcle
Ice needle Aiguille de glace	- Cristal de glace ayant la forme d'une mince aiguille formé sous des conditions atmosphériques particulières
Ice pot hole Marmite de glace	- Un trou rondelot formé dans la glace par le mouvement de l'eau dans une petite fissure ou dans une petite cavité, ou encore par l'effet de radiations. Sa profondeur peut être moindre ou égale à l'épaisseur de la couverture de glace
Ice mound Glace bosselée	- Bosse dans une couverture de glace causée par l'accumulation de frasil sous la couverture

Ice push Poussée de la glace	- Compression exercée à la section frontale d'une couverture de glace en mouvement
Ice rind Glace en feuille	- Expression utilisée dans le vocabulaire de la glace de mer qui est identique à l'expression glace pelliculaire
Ice run Descente de glaces	- Ecoulement de la glace dans une rivière. Une descente de glaces peut être faible ou importante, et être composée de floes, de frasil, de glace de fond, de slush ou de sludge
Ice sheet Nappe de glace	- Une couverture de glace unie et continue
Ice shove Pression des glaces	- Désigne la poussée des glaces sur les rives par les vents, les courants, les variations de la température, etc....
Ice twitch Saccades dans la glace	- Déplacements saccadés et souvent successifs d'une petite partie d'une couverture de glace
Ice under pressure Glace sous pression	- Glace soumise à un processus de déformation actif
Ice wrinkle Ride de glace	- Inégalité de la surface d'une couverture de glace résultant d'un plissement causé par une poussée horizontale

Icing (aufeis, surface ice, naled) Icing	- Gel de l'eau d'un ruisseau ou de l'eau souterraine sur une couche de glace
In situ break-up Fonte sur place	- Fonte ou désintégration sur place de la glace
Lake ice Glace de lac	- Glace formée sur un lac, sans dis- tinction des endroits où elle peut être observée par la suite
Lead Chenal	- Ouverture allongée dans une cou- verture de glace. Elle peut être libre de glace ou contenir de la glace nouvelle
New Ice Glace nouvelle	- Terme général qui désigne la glace de formation récente. Il englobe le frasil, la slush, la sludge, (shuga) et les autres types de gla- ce
New ridge Crête nouvelle	- Crête de formation récente compor- tant des pics aigus
Pancake ice Glace en assiette	- Plaques de glace circulaires carac- térisées par les bords relevés. Le bord de ces plaques est relevé, comme le bord d'une assiette, par suite des chocs répétés des plaques les unes contre les autres.
Permanent freeze-up (date) Date de la prise permanente	- Date qui correspond à la formation d'une couverture de glace stable et permanente.

Polynya Polynya	- Désigne toute ouverture dans la glace de forme non linéaire. Ces trouées peuvent être remplies de brash (débris de glace) ou recouvertes par de la glace nouvelle
Fuddle Mare d'eau	- Accumulation, sur la surface de la glace, d'eau provenant tout d'abord de la fonte de la neige et, à un stade plus avancé, provenant aussi de la fonte de la glace elle-même. La phase initiale de la fonte provoque des petites flaques de neige fondue.
Rafted ice Glace empilée	- Glace déformée où des plaques de glace en chevauchent d'autres.
Rafting Empilement	- Effet de pression qui fait chevaucher une plaque de glace sur une autre. Ce processus est courant pour la nouvelle glace noire.
Ridge Crête	- Crête ou mur de glaces brisées, soulevées sous l'effet d'un processus de déformation. Elle peut être vive ou érodée.
Ridged ice Glace en crête	- Glace érigée au hasard en forme de crête ou de mur
Ridged ice zone Zone de glace en crête	- Zone où plusieurs crêtes de caractéristiques similaires se sont formées.

Ridging Formation de crête	- Mécanisme dû aux pressions qui forcent la glace à se dresser verticalement pour former des crêtes
River ice Glace de rivière	- Glace formée en rivière, sans distinction des endroits où elle peut être trouvée par la suite
Rotten ice Glace pourrie	- Glace qui se trouve dans un état avancé de désagrégation
Rough ice Glace rugueuse	- Expression utilisée pour décrire une couverture de glace dont la surface est rugueuse.
Sea ice Glace de mer	- Toute forme de glace provenant du gel de l'eau de mer
Shale ice Glace en schiste	- Accumulation de minces plaques de glace provenant de la rupture de la glace pelliculaire
Shear crack Fissure de cisaillement	- Fissure formée par un déplacement parallèle au plan de la fissure
Shearing Cisaillement	- Déplacement d'une couverture de glace causé par des contraintes de cisaillement
Shore lead Chenal côtier	- Ouverture à l'eau claire le long de la rive

Shore depression Dépression riveraine	- Abaissement d'une couverture de glace le long des rives souvent causé par les variations du niveau d'eau.
Skim ice Glace pelliculaire	- Couche très mince de glace récemment formée sur un plan d'eau
Sludge (shuga) Sludge (shuga)	- Accumulation de glace spongieuse formée à partir de la slush de frasil, de la slush de neige ou de la glace de fond
Slush ball Boule de slush	- Résultat de l'agglomération très dense de parcelles de neige, de frasil et de glace. Les boules de slush sont produites par l'action du vent et de la houle le long des rives des lacs ou dans les longs tronçons de rivière à écoulement turbulent.
Slush ice run Descente de slush	- Descente de glace composée principalement de slush
Snow ice Glace de neige	- Glace formée par le gel de la slush de neige. La présence de bulles d'air inclus lui donne une apparence blanche. Il y a formation d'une fausse glace lorsque l'eau incorporée à la neige se draine avant le gel.

Snow slush Slush de neige	- Neige saturée d'eau qui peut se rencontrer sur les surfaces gelées, ou se présenter comme une masse visqueuse flottant à la surface de l'eau
Snowdrifts (windrows, sastrugi) Bancs de neige (congères, sasturgi)	- Crêtes aiguës et triangulaires édifiées par le vent sur une surface recouverte de neige
Stationary ice Glace immobile	- Pied de glace, glace de rive et couverture de glace immobilisés par les particularités hydrographiques d'un lac ou d'une rivière.
Stranded ice Glace d'estran	- Glace qui s'est écouée sur le rivage à la suite de l'abaissement du niveau d'eau
Static ice pressure Poussée statique de la glace	- Poussée produite par une couverture de glace stable
Surface crack Fissure superficielle	- Fissure apparente à la surface
Tabular ice Glace tabulaire	- Type de glace caractérisée par les grandes dimensions de ses grains dans le plan horizontal
Thaw holes Trous de fonte	- Trous verticaux, traversant la couche de glace creusés par l'eau de fonte des mares

Thermal crack Fissure thermique	- Fissure engendrée par la contraction de la glace à la suite d'une variation de température .
Through crack Fissure complète	- Fissure qui traverse de part en part une couverture de glace
Tide crack Crevasse de marée	- Fissure causée par le jeu vertical de la marée
Unconsolidated ice cover Couverture de glace non consolidée	- Agglomération non soudée de glace flottante

