

Estacades Beauceville

Résumé du projet

Table des matières

Estacades Beauceville.....	1
1. Objectif	1
2. Contexte	1
3. Réduction de risque recherchée	2
4. Considérations techniques	3
5. Impact hydrologique	5
6. Autres impacts environnementaux	5
7. Impacts socio-économiques	6
Annexe 1 : Estacade Géniglance câble et pontons en acier	7
Annexe 2 : Estacade Université Laval : câble flottant léger et pontons formés de conifères (St-Raymond, QC).....	9
Annexe 3 : Calculs estacade Sud	12
Annexe 4 : Calculs estacade Nord	14
Annexe 5 : Localisation des estacades	16
Annexe 6 : Prise des glaces 2018 (Beauceville à St-Georges : 17 novembre 2018)	21

Liste des figures

Figure 1. Estacade Géniglance câble, chaînes et pontons en acier (pose avec machines)	7
Figure 2. Ancrage typique d'estacade par Géniglance	7
Figure 3. Estacade Géniglance en service (eau libre)	8
Figure 4. Estacade Géniglance en service avec retenue des glaces (période hivernale)	8
Figure 5. Préparation des épinettes et sapins pour la pose sur le câble en polyéthylène (aucune machine nécessaire).....	9
Figure 6. Installation de l'estacade sur la rivière Ste-Anne (St-Raymond) : Machine présente la première année seulement, mais pas nécessaire les années suivantes.	10
Figure 7. Estacade d'épinette en fonction juste après l'installation avec le début de la rétention du frasil.....	10
Figure 8. Couvert de glace précoce créé avec l'estacade Université Laval (St-Raymond)	11
Figure 9. Plan global des emplacements des estacades (Beauceville).....	16
Figure 10. Estacade NORD (Beauceville)	18
Figure 11. Estacade SUD (Beauceville)	20
Figure 12. Embâcle de frasil créé au centre-ville de Beauceville par les glaces de l'amont. (C'est cet embâcle que les estacades cherchent à réduire/éliminer.)	21
Figure 13. Eau libre avec secteur St-Georges (frasil en surface transporté vers l'aval). (C'est ce frasil que les estacades cherchent à réduire/éliminer).....	22

Estacades Beauceville

Résumé du projet

1. Objectif

Ce document présente un résumé du projet de construction de deux estacades pour la gestion des glaces à Beauceville.

2. Contexte

L'Université Laval (UL), sous la direction de Brian Morse, fut mandaté par le ministère de la Sécurité publique (MSP) afin de réaliser une étude de risques reliés aux inondations à Beauceville dans le *Cadre pour la Prévention des Sinistres* (CPS) sous la direction de M. Pascal Marceau et M. Pascal Chouinard.

L'étude est en cours démontre déjà que les inondations à Beauceville sont principalement dues à des embâcles de glace et que les dommages sont importants.

L'étude examine un certain nombre d'options pour réduire le risque. Certaines options nécessitent un examen plus approfondi (exemples : digues, seuils, dragage de la rivière, etc.), tandis que d'autres ont des impacts moins importants et ainsi sont réalisables dans un temps plus restreint.

La quantification du risque et des mesures de mitigations potentielles ont été présentées par M. Morse aux conseillers de Beauceville le 9 septembre 2019. Des représentants du MSP et du MELCC étaient présents.

Suite à cette rencontre, Beauceville a décidé de demander la construction de deux estacades. Le projet a été voté et présenté aux Beaucerons lors d'une rencontre publique le 15 octobre 2019. La communication fut que les estacades aideraient à réduire les risques, mais qu'elles n'étaient pas une solution entière (et loin de là). Les citoyens étaient contents d'avoir été informés, mais ont exprimé leur souci que les réalisations ne se faisaient pas assez rapidement.

La Ville a demandé une proposition de Géniglance pour la construction des estacades à câbles et pontons en acier (voir annexe), mais cette compagnie a dit que ça prendrait 8 semaines pour leurs constructions. Sachant que ça serait trop tard pour aider à former un couvert de glace, la Ville a opté de mandaté l'UL d'être de construire des estacades plus légères (moins long à construire). Sachant que les estacades légères (câble flottant en polyéthylène avec conifères attachés), le MSP a accepté de financer ce projet innovant à l'intérieur de son entente contractuelle qu'il a avec l'UL sous la gestion de Brian Morse.

Alors que le MSP paye les montants principaux, Beauceville contribue des éléments (arbres, rampes d'accès, etc.) et de la main-d'œuvre.

Ce qui rendra le projet très difficile seront les délais. Il faut avoir les câbles et ancrages sur les lieux avant le 13 novembre si on veut une chance d'influencer la formation du couvert de glace 2019-2020.

3. Réduction de risque recherchée

La pose d'une estacade flottante hivernale a pour but principal d'aider la rivière à se doter de son couvert de glace. Dans tous les cas, la rivière mettra éventuellement son couvert au cours de l'hiver, mais le rôle d'une estacade est d'aider la rivière à le mettre rapidement en place. Le premier impact environnemental de ces structures est donc non pas d'introduire un couvert artificiellement, mais il est de devancer ce qui se fait naturellement.

Ce devancement est voulu pour trois raisons :

(1) cela limite la période de formation de frasil sur le bief touché. Cet effet est recherché dans le cas où le frasil cause des problèmes en aval. Par exemple, le frasil peut créer un bouchon et ainsi causer des inondations (mission de l'estacade à Saint-Raymond, QC) ; il peut constituer une obstruction pour la navigation hivernale (mission des estacades sur fleuve Saint-Laurent, QC) ; il peut colmater des prises d'eau (mission des estacades en amont des centrales Beauharnois, QC), etc.

(2) Cela permet à la rivière de former un couvert de glace moins épais et moins rugueux. Ceci a l'avantage de ne pas causer des inondations lors de la formation du couvert ainsi que d'avoir un couvert moins résistant lors de la débâcle, réduisant ainsi les risques d'inondations par la formation d'embâcles (Saint-Raymond et Beauceville).

(3) Le troisième avantage de la présence d'une estacade est la rétention temporaire des glaces lors d'une débâcle. Du fait que l'estacade peut aider à retenir un couvert, celui-ci devient plus résistant aux passages des trains de glace. Au lieu de passer, les trains de glace s'accumulent localement. Alors, la présence de l'estacade peut alors provoquer un embâcle local qui persiste assez longtemps (quelques semaines à Saint-Raymond, 2019), ou pendant très peu longtemps (une heure ou deux).

Dans le cas des estacades proposées pour Beauceville, les deux cherchent à former un couvert de glace rapidement pour limiter le frasil en aval sur Beauceville.

Mais, lors de la débâcle, nous ne voulons pas que l'estacade Sud (en amont des rapides du diable) retienne ou retarde le passage d'un train de glace. Alors, une fois le couvert bien formé, il faudra ainsi l'enlever. Cet enlèvement est prévu dans le cadre de ce projet. Le câble est notamment formé de trois morceaux afin de faciliter l'enlèvement. Dans un cas extrême où il ne serait pas possible de l'enlever, le petit câble sera coupé ainsi libérant la rétention.

Au contraire, l'estacade Nord (en bas des rapides du diable) a justement pour objectif de retenir le couvert de glace afin de provoquer un embâcle à cet endroit. L'embâcle se forme là naturellement, mais seulement s'il y a déjà un embâcle sur le centre-ville Beauceville. Nous

cherchons sa formation sans qu'il y ait un refoulement venant de l'aval. L'embâcle ainsi-formé par la présence de l'estacade aura pour effet de retenir les glaces pendant qu'une partie de l'onde de crue passe. Si l'embâcle cède éventuellement, le débit associé sera moindre qu'il serait naturellement et ainsi l'inondation éventuelle sera moindre aussi. De plus, la rétention des glaces pendant quelques heures donnera plus de temps aux résidents de Beauceville d'évacuer.

Notons que l'utilisation d'une estacade pour ce travail de rétention temporaire des glaces est assez rare et que sa performance pour atteindre cet objectif n'est pas garantie. Pour évaluer son efficacité, il faut faire l'essai. (Normalement, c'est un 'Ice Control Structure' qui est construit pour faire ce travail de rétention, mais notre étude a démontré qu'un ICS coûterait un montant significatif à Beauceville et que l'impact environnemental sur la rivière serait plus important qu'une simple pose d'une estacade telle que proposée ici.

En résumé, la pose des deux estacades cherche à :

- Amincir le couvert de glace dans le bief des 'eaux mortes' de Beauceville en limitant la quantité de frasil qui sera déposé à cet endroit ;
- Laisser le libre passage des trains de glace sur le bief Saint-Georges-Notre-Dame-des-Pins-Rapides-du-diable en enlevant l'estacade Sud avant la débâcle ;
- Freiner/retarder le train de glace en aval des rapides du diable, mais juste en amont du centre-ville de Beauceville lors de la débâcle et ainsi donner plus de temps pour l'alerte précoce, tout en réduisant l'intensité de l'inondation éventuelle.

4. Considérations techniques

Une estacade flottante est une structure légère et flexible.

1. Elle est conçue pour initier un couvert de glace tout en reconnaissant que le couvert ne se formera que si les conditions sont favorables. Si elles ne le sont pas, l'estacade reste disponible en attendant que les conditions deviennent favorables. Dans le cas de la Chaudière, sans ajout de seuils rocheux pour augmenter les niveaux de l'eau, il faut que le débit soit assez bas pour que les vitesses le soient également afin que le couvert puisse se former aisément.

Les choix de localisations des estacades proposées tentent d'atteindre les vitesses les plus basses tout en considérant les autres contraintes (accès, biefs ciblés, permissions des propriétaires, etc.).

En parallèle, nous chercherons la collaboration des gestionnaires des barrages Lac-Mégantic, Sartigan et Saint-Georges pour réduire temporairement le débit, lorsque les conditions hydrologiques et météorologiques seront favorables à la formation du couvert de glace. On parle d'une réduction pendant une durée allant de 24 à 72 heures.

Selon les collaborations et selon la météo, il est ainsi possible que l'efficacité des estacades varie d'une année à l'autre.

2. La deuxième caractéristique importante d'une estacade est qu'elle est conçue pour résister à une force de conception (Morse, 2001a et 2001b). S'il s'agit d'une estacade conventionnelle, en présence d'une force plus grande que celle-ci, les éléments flottants se font submerger et laissent passer la glace pour revenir en surface une fois que les forces diminuent. Dans certaines circonstances, il se peut que les éléments flottants (pontons) ne se fassent pas submerger comme prévu et ainsi le câble de l'estacade casse. Cette cassure est prévue dans la conception par l'insertion d'un fusible.

Ce projet propose la construction d'estacades non traditionnelles. Au lieu d'avoir des pontons flottants attachés à des câbles d'acier, il est proposé d'attacher des épinettes à des câbles flottants. Pour ce type d'estacade, en présence de forces exceptionnelles, la submersion du câble ne fait pas partie de la conception, les câbles doivent donc nécessairement être équipés de fusibles.

Dans le cas de l'estacade Sud, la résistance du câble est modeste (65 tonnes) et celle du fusible est encore moindre (55 tonnes). Si les forces sont plus élevées que 55 tonnes, le câble fusible cassera et l'estacade arrêtera de retenir les glaces.

Dans le cas de l'estacade Nord, nous voulons que le câble soit capable de retenir les trains de glaces assez longtemps pour faciliter l'évacuation de Beauceville. C'est pourquoi la résistance de câble choisie est bien supérieure (205 tonnes avec un fusible à 190 tonnes).

À fin de comparaison, le câble de l'estacade à Saint-Raymond avait une résistance d'environ 90 tonnes avec un fusible de 75 tonnes.

Dans la conception, il est assez difficile de savoir à priori qu'elles seront les forces appliquées. Pour Beauceville, la conception fut établie selon notre expérience en lien avec notre construction de trois estacades sur le fleuve Saint-Laurent pour la Garde côtière canadienne ainsi qu'avec notre construction de l'estacade à Saint-Raymond. Nous nous sommes inspirés sur les analyses présentées par Tuthill 19xx et Morse 2001a ainsi que les mesures de forces présentées par Morse 2001b. En interprétant les consignes de conception, nous avons considéré la vitesse du vent, les vitesses et profondeurs d'eau, et les coefficients de cisaillement. Nous nous sommes aussi référés à la soumission de Géniglance pour des estacades à des localisations semblables.

Il est très possible qu'un des fusibles de ces estacades saute. C'est prévu. L'avantage de la pose d'une estacade flottante est qu'il s'agit d'une structure légère. Si celles-ci ne peuvent pas toujours réussir à former un couvert de glace et qu'elles ne peuvent pas toujours résister aux forces appliquées, elles ne nécessitent que très peu de construction, elles ne sont pas coûteuses et elles n'ont qu'un faible impact environnemental.

5. Impact hydrologique

Ces structures ont un impact sur l'écoulement des eaux. En fait, c'est leur objectif. **Voici les impacts pour l'estacade Sud :**

- Formation hâtive du couvert de glace dans le bief à l'amont ;
- Associés à toutes formations de couvert de glace (naturelles ou artificielles), les niveaux d'eau à l'amont se voient rehausser (typiquement 30%). Ici, l'eau sera rehaussée dans le bief à l'amont. Ce rehaussement sera plus tôt que naturellement, mais moins haut maximum (car le couvert ainsi formé sera moins rugueux/épais ;
- Diminution de barrages à frasil en aval sur Beauceville, donc aide à la réduction des intensités d'inondation ;
- Diminution d'un couvert rugueux en aval donc réduction de rehaussement significatif de niveaux d'eau à l'aval durant la période de formation.

L'estacade ne créera pas d'inondation en amont, car le couvert de glace ainsi formé ne sera pas plus résistant que le couvert naturel et l'estacade sera enlevée avant la débâcle et ainsi les trains de glace peuvent passer comme avant.

Voici les impacts pour l'estacade Nord :

- Formation hâtive de couverts de glace dans le bief à l'amont de l'estacade jusqu'aux pieds des rapides du diable;
- Associés à toutes formations de couvert de glace (naturelles ou artificielles), les niveaux d'eau à l'amont se voient rehausser (typiquement 30%). Ici, l'eau sera rehaussée dans le bief à l'amont plus tôt ;
- Diminution de barrages à frasil en aval donc réduction des intensités d'inondation ;
- Diminution d'un couvert rugueux en aval donc prévention de rehaussement significatif de niveaux d'eau à l'aval durant la période de formation;
- Freinage/retardement de l'avancement des trains de glace sur le centre-ville Beauceville créant un embâcle temporaire en amont et prévention/diminution/retardement d'un embâcle (inondations) en aval. Dans le cas de l'estacade Nord, nous cherchons à créer un embâcle hâtif à cet endroit pour diminuer les inondations sur le centre-ville. Le raisonnement est qu'il s'agit d'un endroit déjà naturellement assujetti aux embâcles et qu'aucune résidence ne risque d'être inondée par cet embâcle.

6. Autres impacts environnementaux

En modifiant la temporalité de la formation des couverts de glace et des embâcles, il existe un impact temporaire sur les niveaux et courants. Nécessairement, ces impacts se traduisent par un impact sur le transport sédimentaire et sur des éléments de faune et de flore.

Pour l'estacade Sud, devancer la formation d'un couvert de glace de quelques jours à quelques semaines change l'environnement dans lequel évoluent sédiments, faune et flore durant cette

période, mais il s'agit d'une période de l'année à laquelle il ne se déroule pas de phénomène extrême. Nous considérons que l'impact négatif sur ces trois éléments est donc nul.

Pour l'estacade Nord, les inondations entre les rapides et l'estacade (bief de 2 km) peuvent se produire plus régulièrement et être plus intenses que présentement. Nous ne savons pas si ce changement pourrait avoir des conséquences importantes ou non sur les terres agricoles. Si oui, des compensations aux agriculteurs sont prévues.

Pour le volet sédiments, il est possible que la fosse à frasil se déplace légèrement, mais nous ne prévoyons pas de dépôts importants du fait qu'éventuellement, lorsque l'embâcle créé cèdera, les vitesses seront fortes et suffisantes pour transporter les sédiments comme cela se fait présentement.

Pour le volet faune et flore, nous croyons que l'impact est négligeable, mais, si l'estacade est aussi efficace que voulu, il se peut que faune et flore changent légèrement. Dans ce cas, il y aurait une vraie diminution de risques à Beauceville et l'évolution écologique sur les 2 km serait alors la conséquence associée avec les gains en sécurité civile. Si l'estacade ne réussit pas à provoquer des embâcles dans ce bief, l'impact sur la faune et la flore sera quasiment nul.

7. Impacts socio-économiques

Le projet cherche à aider à réduire les risques d'inondation à Beauceville. Ces estacades sont des structures novatrices qui cherchent à influencer le comportement de la glace et, finalement, le comportement des inondations. Sans les construire, il est difficile d'évaluer leur efficacité sur ces deux volets.

Il est possible de dire que des structures semblables ont été construites ailleurs avec des bénéfices très importants (centrales électriques, navigation commerciale, inondations). En Amérique, des centaines d'estacades sont posées chaque année notamment, par exemple, par Hydro-Québec, par Saint-Raymond, par le ministère de Pêches et Océans, par Manitoba Hydro et par des centrales nucléaires, etc. Dans aucun cas nous n'avons eu connaissance d'un impact négatif sur les gens ou sur l'environnement.

Ce projet ne sauvera pas Beauceville de ses inondations. Il cherche seulement à offrir la possibilité de les réduire en attendant des mesures plus importantes qui nécessiteront plus d'études et plus de temps de réflexion.

Nous recommandons leur construction.

Brian Morse, professeur titulaire, PhD, ing.

28 octobre 2018 – légèrement édité le 27 novembre 2019

Annexe 1 : Estacade Géniglance câble et pontons en acier



Figure 1. Estacade Géniglance câble, chaines et pontons en acier (pose avec machines)



Figure 2. Ancrage typique d'estacade par Géniglance



Figure 3. Estacade Géniglance en service (eau libre)



Figure 4. Estacade Géniglance en service avec retenue des glaces (période hivernale)

Annexe 2 : Estacade Université Laval : câble flottant léger et pontons formés de conifères (St-Raymond, QC)



Figure 5. Préparation des épinettes et sapins pour la pose sur le câble en polyéthylène (aucune machine nécessaire)



Figure 6. Installation de l'estacade sur la rivière Ste-Anne (St-Raymond) : Machine présente la première année seulement, mais pas nécessaire les années suivantes.



Figure 7. Estacade d'épinette en fonction juste après l'installation avec le début de la rétention du frasil



Figure 8. Couvert de glace précoce créé avec l'estacade Université Laval (St-Raymond)

Annexe 3 : Calculs estacade Sud

$$f_{boom} = f_w + f_a + f_g + f_d + f_i$$

$$y_{ice} = \left(\frac{n_i^{3/2}}{n_b^{3/2} + n_i^{3/2}} \right) y_t \quad n_c = \left(\frac{n_i^{3/2} + n_b^{3/2}}{2} \right)^{2/3}$$

Q	50	cms
y _{cc}	1.006160717	m
n _b	0.028	manning river bed
n _i	0.045	manning ice
y _t (water height)	1.5	m

(Upstream distance
of ice cover being
FB: 3

$$S_f = \frac{V^2 n_c^2}{R_{ice}^3} \quad R_{ice} = \frac{y_t}{2}$$

S _f (friction slope)	0.000984158	m/m
V (water velocity under-ice)	0.7	m/s
n _c (composite Mannings value)	0.036994894	
R _{ice} (hydraulic radius underice)	0.75	m

$$f_w = \gamma_{water} y_{ice} S_f F_B B$$

f _w (force of water)	3934.20	N/m
γ _w (specific weight of water)	9810	N/m ³
B (channel width)	135	m

$$f_a = C_d \rho_{air} U^2 F_B B$$

f _a (force of air)	74.13	N/m
C _d (drag coefficient)	0.0022	
ρ _{air} (air density)	1.3	kg/m ³
U _{air} (air velocity)	8	m/s
B (channel width)	135	m

$$f_g = (1 - e) \gamma_{ice} t_i S_f F_B B$$

f _g (force of gravity)	91.27569254	N/m
e (ice porosity)	0.5	
γ _{ice} (volumetric mass of ice)	916	kg/m ³
t _i (ice thickness)	0.5	m
S _f (friction slope)	0.000984	m/m
B (channel width)	135	m

$$f_d = \frac{C_D h_s \rho_w V^2}{2}$$

f_d (force drag)	196	N/m
C_d (water drag coefficient)	0.8	
h_s (boom height submergence)	1	m
ρ_w (water density)	1000	kg/m ³
V (water velocity)	0.7	m/s

Use table XXX for drag coef.
Reynolds: 3.92E+05

$$f_i = \frac{m_{ice} \Delta V}{L \Delta t}$$

f_i (force of ice impact)	4.444444444	N/m
m_{ice} (mass of ice-floe)	10000	kg
dV (diff. Velocity to come to 0)	1.2	m/s
L (channel width)	135	m
dt (time to come to rest)	20	seconds

Results:

f_b	4.30	KN/m	Rope length	141.08	m
Tension anchor	64.13	Tons	Rope angle	27.47	degrees
Sag ratio	0.130				
Angle offset(degrees)	0				

Annexe 4 : Calculs estacade Nord

$$f_{boom} = f_w + f_a + f_g + f_d + f_i$$

$$y_{ice} = \left(\frac{n_i^{3/2}}{n_b^{3/2} + n_i^{3/2}} \right) y_t \quad n_c = \left(\frac{n_i^{3/2} + n_b^{3/2}}{2} \right)^{2/3}$$

Q	150	cms
y_{ice}	5.366190489	m
n_b	0.028	manning river bed
n_i	0.045	manning ice
y_t (water height)	8	m

(Upstream distance of ice cover being held)

F_B : 3

$$S_f = \frac{V^2 n_c^2}{R_{ice}^{\frac{4}{3}}} \quad R_{ice} = \frac{y_t}{2}$$

S_f (friction slope)	0.001347153	m/m
V (water velocity under-ice)	2.5	m/s
n_c (composite Mannings value)	0.036994894	
Rice (hydraulic radius underice)	4	m

$$f_w = \gamma_{water} \cdot y_{ice} \cdot S_f \cdot F_B \cdot B$$

f_w (force of water)	22338.94	N/m
γ_w (specific weight of water)	9810	N/m ³
B (channel width)	105	m

$$f_a = C_d \rho_{air} U^2 F_B B$$

f_a (force of air)	57.66	N/m
C_d (drag coefficient)	0.0022	
ρ_{air} (air density)	1.3	kg/m ³
U_{air} (air velocity)	8	m/s
B (channel width)	105	m/s

$$f_g = (1 - e) \gamma_{ice} t_i S_f F_B B$$

f_g (force of gravity)	777.4150688	N/m
e (ice porosity)	0.5	
γ_{ice} (volumetric mass of ice)	916	kg/m ³
t_i (ice thickness)	4	m
S_f (friction slope)	0.001347	m/m
B (channel width)	105	m

$$f_d = \frac{C_D h_s \rho_w V^2}{2}$$

fd (force drag)	2500	N/m
Cd (water drag coefficient)	0.8	
hs (boom height submergence)	1	m
pw (water density)	1000	kg/m ³
V (water velocity)	2.5	m/s

Use table XXX for drag coef.
Reynolds = 1.40E+06

$$f_i = \frac{m_{ice} \Delta V}{L \Delta t}$$

fi (force of ice impact)	0.057142857	N/m
mice (mass of ice-floe)	100	kg
dV (diff. Velocity to come to 0)	1.2	m/s
L (channel width)	105	m
dt (time to come to rest)	20	seconds

Results

fb	25.67	KN/m	Rope angle	45.00	degrees
Tension anchor	194.31	Tons	Rope length	122.50	m
Sag ratio	0.250				
Angle offset (degrees)	0				

Annexe 5 : Localisation des estacades

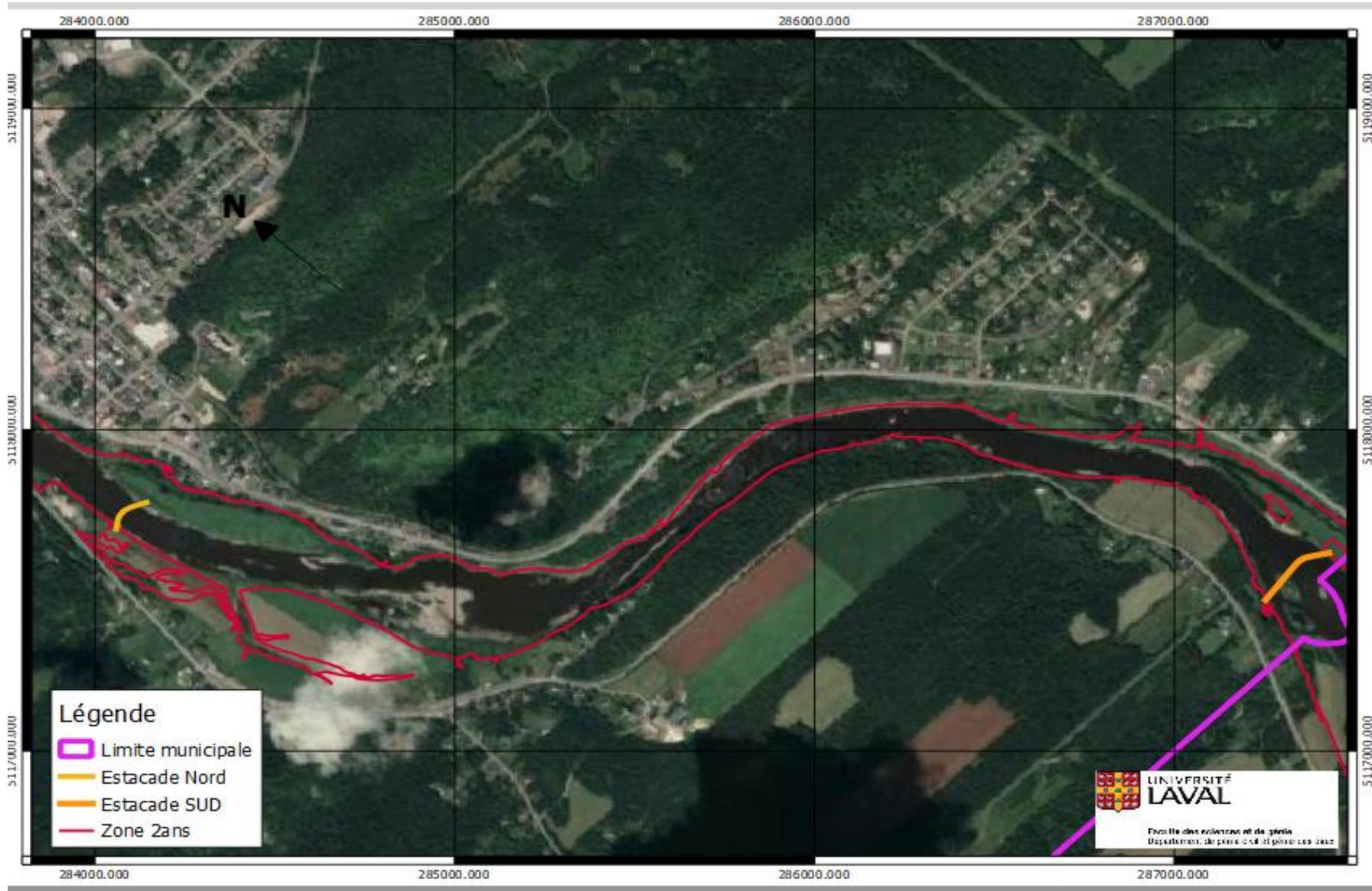


Figure 9. Plan global des emplacements des estacades (Beauceville)

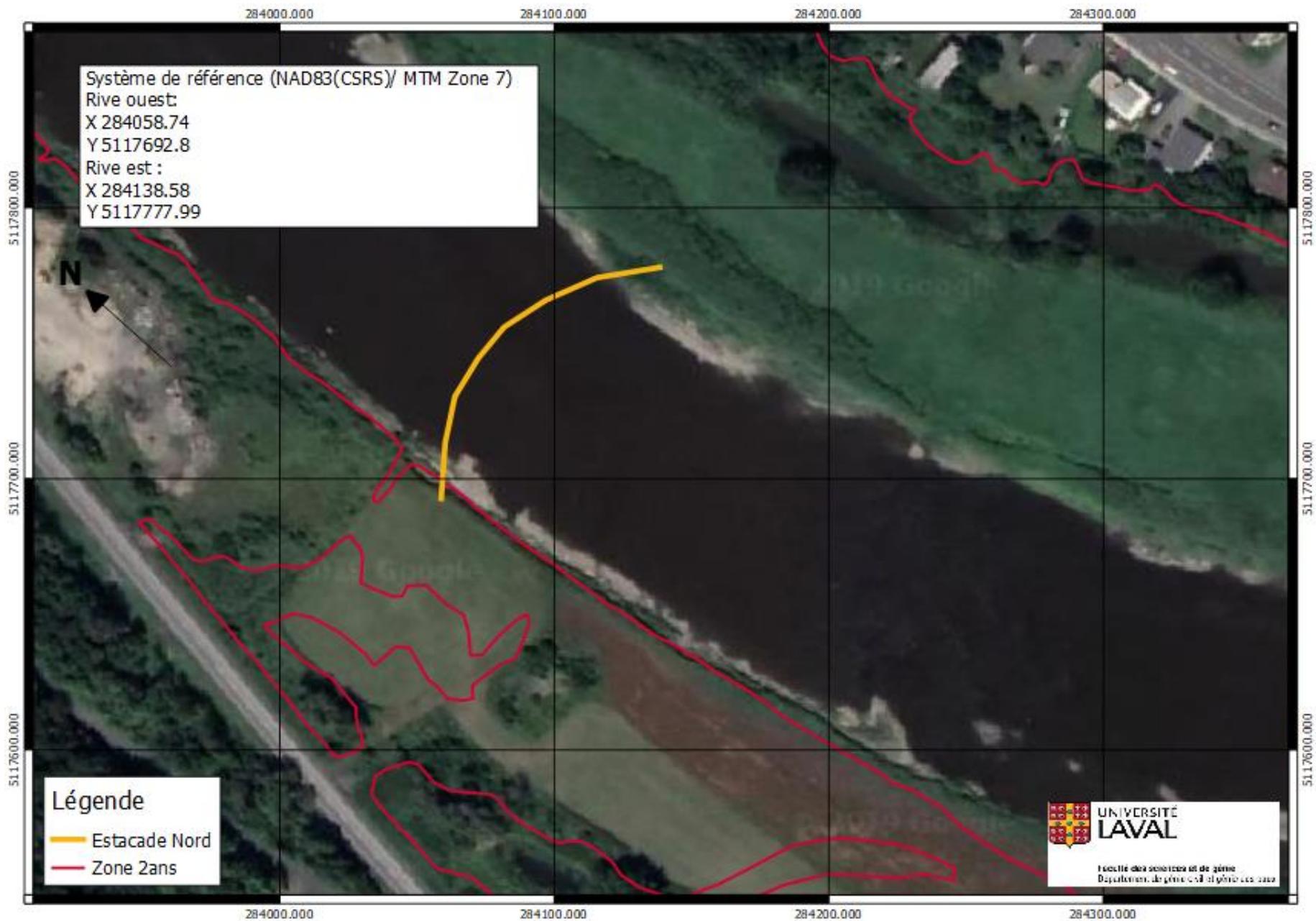


Figure 10. Estacade NORD (Beauceville)

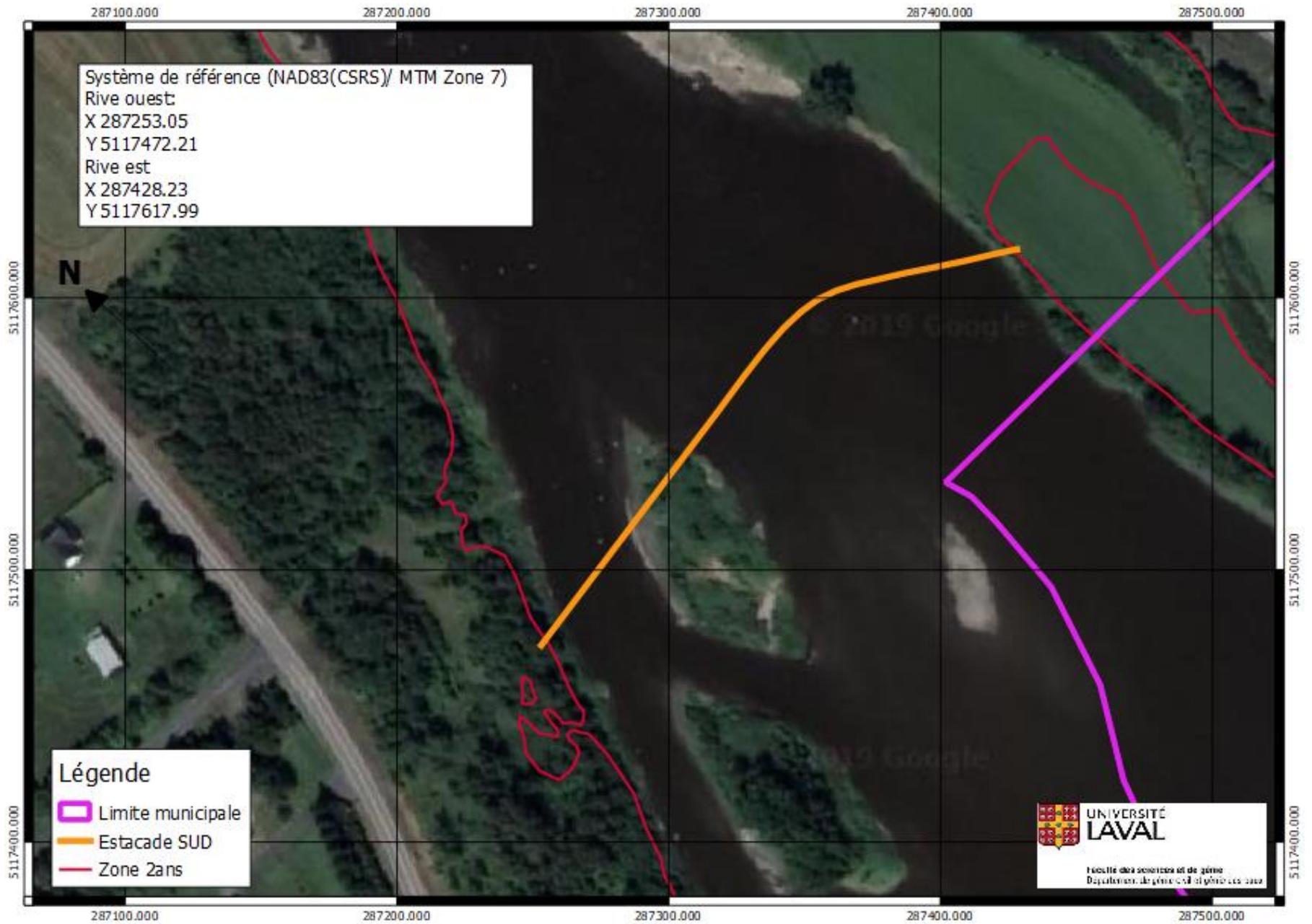


Figure 11. Estacade SUD (Beauceville)

Annexe 6 : Prise des glaces 2018 (Beauceville à St-Georges : 17 novembre 2018)

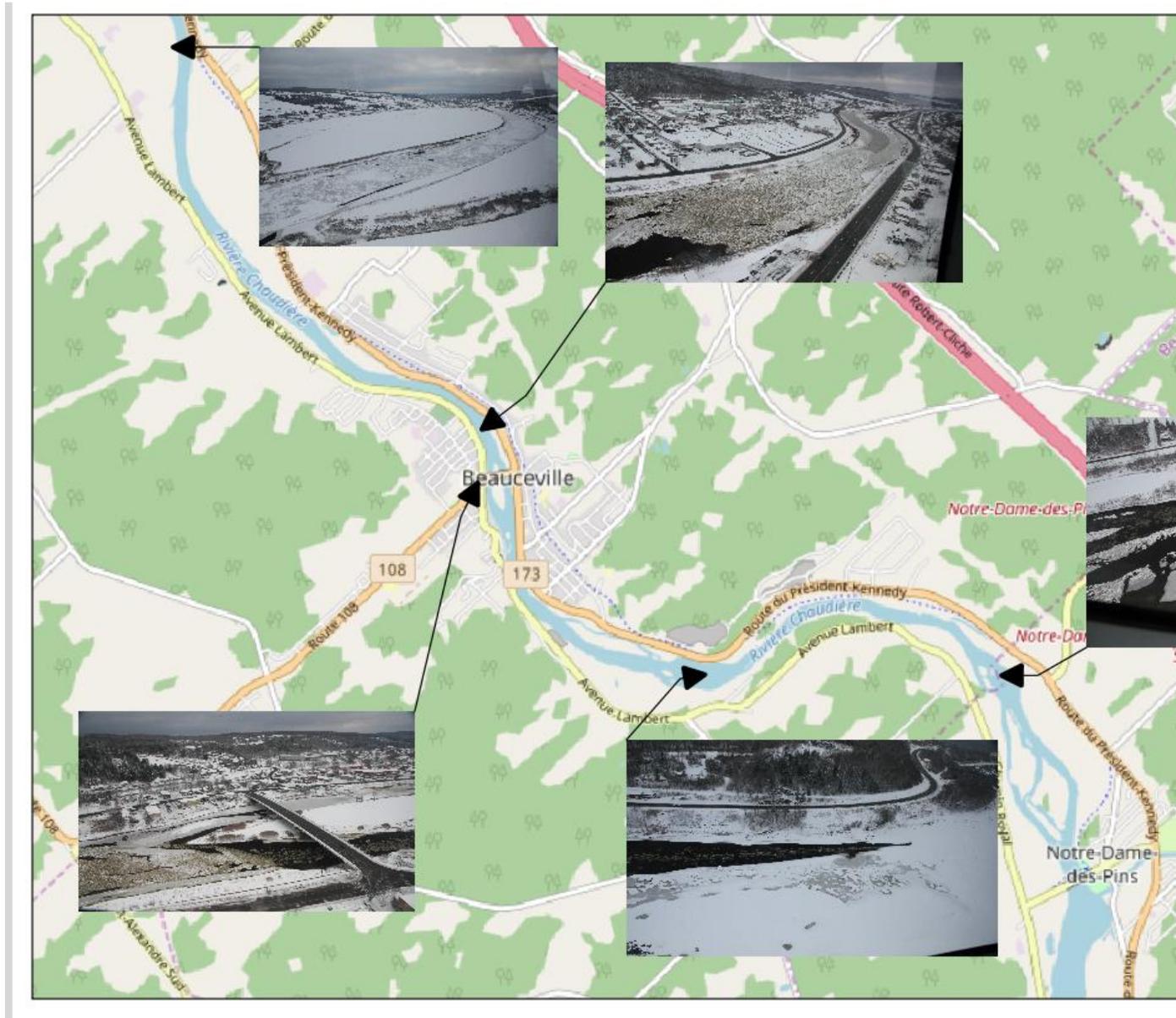


Figure 12. Embâcle de frasil créé au centre-ville de Beauceville par les glaces de l'amont. (C'est cet embâcle que les estacades cherchent à réduire/éliminer.)



Figure 13. Eau libre avec secteur St-Georges (frasil en surface transporté vers l'aval). (C'est ce frasil que les estacades cherchent à réduire/éliminer).