

## UNE ESTACADE À GLACE À DÉCHARGEMENT CONTRÔLÉ POUR MIEUX GÉRER LA PRODUCTION D'UNE CENTRALE HYDROÉLECTRIQUE SUR LA RIVIÈRE GATINEAU.

Razek Abdelnour<sup>A</sup>, Julie Lafleur<sup>B</sup>, Yuxiang Gong<sup>A</sup> et Sylvain Robert<sup>C</sup>

A Fleet Technologie Limitée, Ottawa, Canada

B Ministère de l'Environnement du Québec, Québec, Canada

C Hydro-Québec, Montréal, Canada

**Résumé :** Depuis 1992, une estacade est déployée chaque année sur la rivière Gatineau à l'amont de la ville de Wakefield. L'estacade a retenu la glace durant plusieurs hivers quoique souvent, dû probablement à l'impact des morceaux de glace en dérive, le câble de l'estacade se soit brisé. Sans estacade, les problèmes d'obstruction par les glaces dans le secteur aval sont sévères et causent des pertes de charge appréciables entre la baie de Wakefield et la centrale de Chelsea qui se trouve à près de 16 kilomètres à l'aval. Ceci limite le débit maximal pouvant être turbiné à la centrale d'amont pour ne pas excéder le niveau d'eau à Wakefield.

Une nouvelle estacade a été conçue et déployée en novembre 1999. Après un hiver d'opération, l'estacade a démontré sa capacité de retenir les glaces durant leur formation, et elle a résisté à la poussée des glaces durant l'hiver malgré une variation substantielle du débit. Cependant, l'ancre est de l'estacade a décroché à la fin de la débâcle sans aucun effet sur la production et le niveau d'eau.

### 1. INTRODUCTION

Wakefield est une petite ville située sur les rives de la rivière Gatineau. La baie de Wakefield, à l'est de cette municipalité, constitue l'extrémité amont du réservoir de la centrale de Chelsea. A la prise des glaces, les riverains de Wakefield ont subi par le passé des dommages liés aux inondations. Lorsque la prise des glaces survenait à un débit élevé, retardant ainsi la formation d'une couverture de glace stable à l'amont, la glace générée sur une dizaine de kilomètres de rivière à l'amont créait un immense dépôt de glace et du frasil dans la baie de Wakefield et en aval, qui s'étendait sur une distance de plusieurs kilomètres. En janvier 1991, le problème a été aggravé par la débâcle de 4 à 5 kilomètres de couverture de glace nouvellement formée à l'amont de Wakefield. La débâcle est survenue suite à l'augmentation du débit. Les relevés de 1991 ont permis d'observer un dépôt de 3 à 5 m d'épaisseur de frasil de 5 kilomètres de

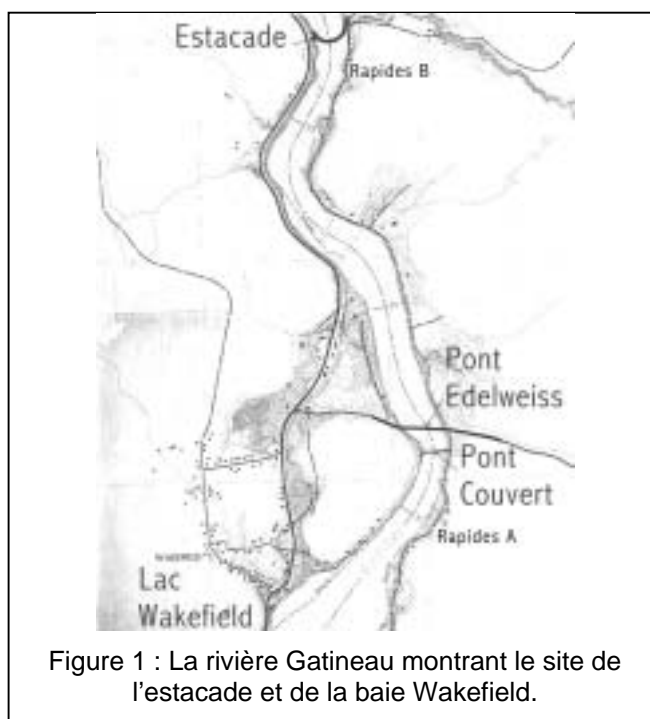


Figure 1 : La rivière Gatineau montrant le site de l'estacade et de la baie Wakefield.

longueur (Robert, 1991), de même qu'un important embâcle de glace à l'entrée de la baie. Pour minimiser les inondations, Hydro-Québec a dû abaisser d'un mètre le niveau d'eau à la centrale de Chelsea à l'aval et réduire le débit turbiné de ses centrales pendant plusieurs jours pour maintenir le niveau d'eau dans la baie à une cote acceptable. Après la formation de la couverture de glace en rivière à l'amont de Wakefield les apports de frasil ont cessé et le problème s'est résorbé graduellement.

Depuis 1992, Hydro-Québec met en place une estacade à chaque automne à l'amont de Wakefield pour diminuer le risque d'embâcle (voir figure 1). Son rôle est d'accélérer la formation d'une couverture de glace et couper l'alimentation en glace. La couverture à l'aval de Wakefield est beaucoup plus mince avec l'estacade. Cette amélioration est facilement mesurable puisque deux limnimètres, l'un à Wakefield et l'autre à Chelsea, montrent en hiver une dénivelée maximale de l'ordre de 0,4 m entre les deux sites, soit à peine le double de la dénivelée sans glace (figure 2).

Toutefois, l'estacade en question s'est rompue fréquemment au printemps lors de la débâcle. À l'automne 1998, elle s'est brisée durant la formation de la couverture de glace. Cette estacade n'avait pas été conçue spécifiquement pour les glaces. Elle avait été construite à l'origine sur une base expérimentale à l'aide de pièces d'estacades

utilisées auparavant sur la rivière Gatineau pour le flottage du bois. Cette expérimentation sur plusieurs années a démontré son utilité.

Des mesures de l'épaisseur des glaces prises en mars 1999 ont montré des épaisseurs de glace de 20 à 30 cm au site de l'estacade comparativement à des épaisseurs de 40 à plus de 60 cm dans la baie de Wakefield (figures 3a et 3b).

La figure 4 montre les glaces descendant vers la baie. Ceci vient confirmer le potentiel de formation d'embâcle à l'aval du pont couvert sans l'utilisation d'une estacade.

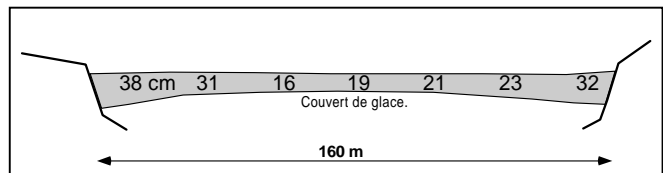


Figure 3a : Épaisseur de la glace (cm) au lieu de l'estacade

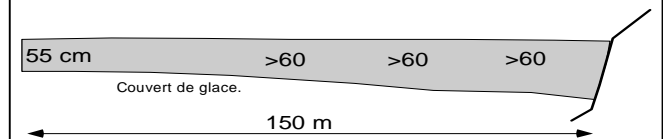


Figure 3b : Épaisseur de la glace à 300 m à l'aval de l'entrée du lac Wakefield

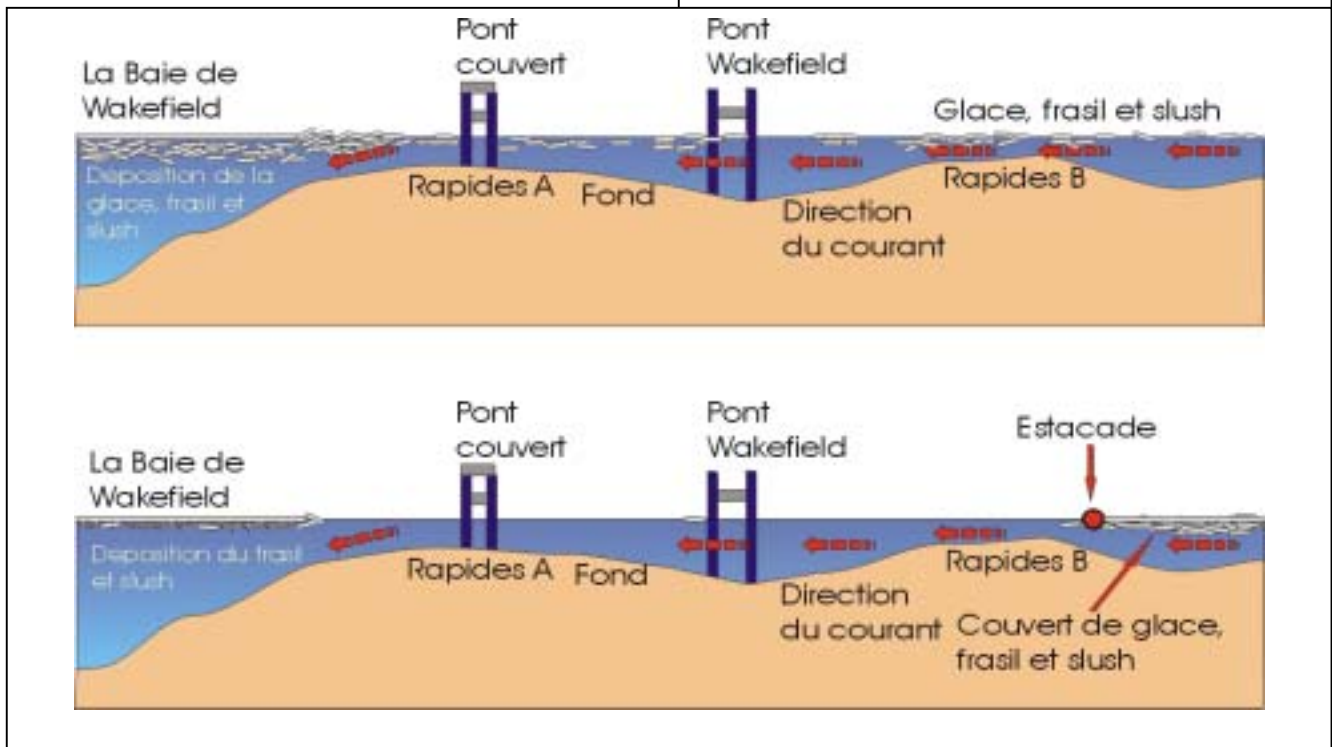




Figure 4 : La glace morcelée à l'amont du pont Edelweiss, à 2 km à l'aval de l'estacade. Photo prise le 29 mars 1999.

## 2. OBJECTIFS

Ce projet consistait à déployer une nouvelle estacade à glace à déchargement contrôlé sur la rivière Gatineau, en amont de Wakefield. Cette nouvelle estacade est conçue pour :

- retenir les glaces durant la formation de la couverture de glace au début de l'hiver ;
- résister aux glaces durant l'hiver alors qu'une poussée résultant d'une variation de débit est parfois le double de celle durant la formation de la glace ;
- résister aux glaces durant la débâcle et; si ces forces sont beaucoup plus grandes que la force de conception, les pontons devront se submerger et laisser passer une partie de la glace accumulée;
- si la glace ne submerge pas les pontons et expose l'estacade à l'impact de banquise, une fusible devra décrocher l'estacade pour minimiser les dommages.

## 3. EMPLACEMENT DE L'ESTACADE

La problématique des inondations à Wakefield a été analysée afin de valider l'emplacement de l'estacade. L'estacade à l'amont du pont Edelweiss a déjà montré son efficacité à résoudre les problèmes d'inondation avec embâcle à Wakefield. Dans un premier temps, l'estacade permet une formation rapide du couvert de glace à l'amont de Wakefield, diminuant ainsi la quantité de glace

dérivant vers Wakefield. Dans un deuxième temps, l'estacade contribue à retarder le départ des glaces dans ce secteur, permettant ainsi la fonte sur place et surtout, un dégel de la baie et du tronçon à l'aval de Wakefield. Le passage des glaces peut alors se faire plus facilement.

Deux sites ont tout de même été examinés pour déployer l'estacade :

1. à 500 m à l'amont de la baie de Wakefield, immédiatement à l'amont des rapides A (voir figures 1 et 2).
2. à 2.500 m à l'amont de la baie de Wakefield, à l'embouchure du Ruisseau Wilson et immédiatement à l'amont des rapides B (voir figures 1 et 2).

Les deux emplacements sont propices à l'amorce d'une couverture de glace. Les avantages et les inconvénients sont les suivants :

- L'avantage du site 1 est qu'une estacade accélérerait la formation d'une couverture de glace qui progresserait de l'amont des rapides A jusqu'au pied des rapides B (durant un ou deux jours). Ceci laisserait une surface restreinte sans couverture de glace (à peu près 100.000 m<sup>2</sup>, soit les rapides A). L'inconvénient est la difficulté d'assurer l'amorce d'une couverture à l'amont des rapides B. Les glaces venant de l'amont, continueraient à passer sous la couverture et à bloquer le lit de la rivière. Cette solution n'a pas été jugée suffisamment efficace et a été rejetée.
- L'avantage d'une estacade au site 2 est quelle puisse amorcer et retenir une couverture de glace qui se forme à l'amont des rapides B sur environ 8 kilomètres. Le désavantage de ce site est de laisser 2.5 kilomètres de rivière à surface libre entre l'estacade et l'entrée de la baie de Wakefield. Du frasil de faible dimension continue de se déposer dans la baie de Wakefield. Comme le frasil ne cause pas des pertes de charges substantielles comparativement aux plaques de glace, ce site a été retenu pour le déploiement de l'estacade. Ce site est le même qui avait été choisi en 1992 pour l'ancienne estacade.

## 4. ANALYSE DES COURANTS

L'analyse des courants a été réalisée sur les deux sections disponibles à l'aide du programme HEC-RAS (US Army Corps of Engineers) qui calcule une distribution des vitesses sur chaque section à un débit donné. Le débit retenu afin de déterminer les vitesses maximales lors de la formation du couvert de glace est de 400 m<sup>3</sup>/s. Le débit maximum à Paugan est de 784 m<sup>3</sup>/s.

Au site de l'estacade, les vitesses maximales calculées sont de 0,6 m/s à la prise des glaces. Lorsque le débit est de 784 m<sup>3</sup>/s, les vitesses maximums calculées sont de l'ordre de 0,9 m/s. Ces valeurs, bien qu'approximatives, sont conservatrices.

L'estacade a donc été conçue pour permettre la formation d'une couverture de glace avec des courants de 0,6 m/sec et pour résister à la poussée des glaces lorsque les vitesses atteignent 0,9 m/sec.

## 5. DESIGN DE L'ESTACADE

Les forces des glaces sur l'estacade ont été calculées à l'aide d'un modèle numérique qui a été développé par Abdelnour et al., 1993 et modifié par Cowper et al, 1997. Le modèle calcule les forces des glaces sur l'estacade en introduisant les données environnementales, vitesse et direction du vent ainsi que la vitesse du courant sous la glace. La vitesse du vent considérée pour le calcul de conception est de 100 km/h venant perpendiculairement à l'estacade (du côté amont). Les paramètres de calcul et la poussée des glaces sur l'estacade lors de la formation de la couverture de glace et lors de la débâcle sont montrés au tableau 1. La figure 5 montre l'emplacement de l'estacade.

La poussée linéaire calculée sur l'estacade durant la formation de la couverture de glace pour une vitesse de 0,6 m/sec est de 1,4 kN/m. La force totale sur l'estacade est de 192 kN (20 tonnes).

La poussée linéaire calculée sur l'estacade durant la débâcle lorsque la vitesse moyenne du courant est de 0,9 m/sec, est de 2,5 kN/m. La force totale sur l'estacade est alors de 356 kN (36 tonnes).

Comme il y a deux (2) ancrages pour retenir la section de l'estacade, chaque ancre devra retenir la moitié de la force

totale sur l'estacade. Ce qui fait que chaque ancre devra résister à une force de 178 kN (18 tonnes) durant la débâcle.

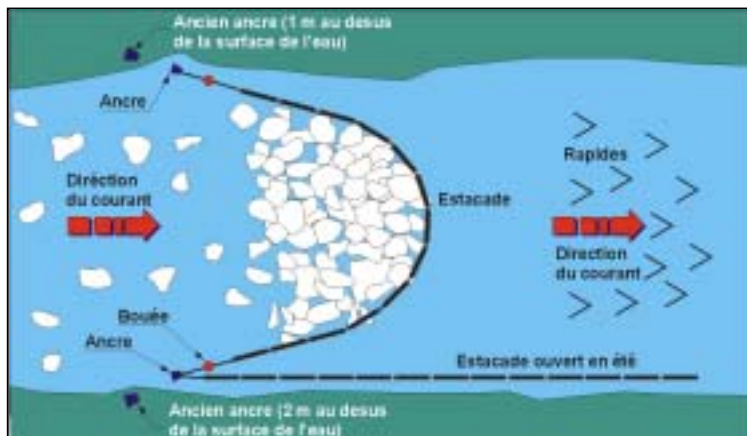


Figure 5 : Vue en plan de l'estacade durant l'hiver et l'été

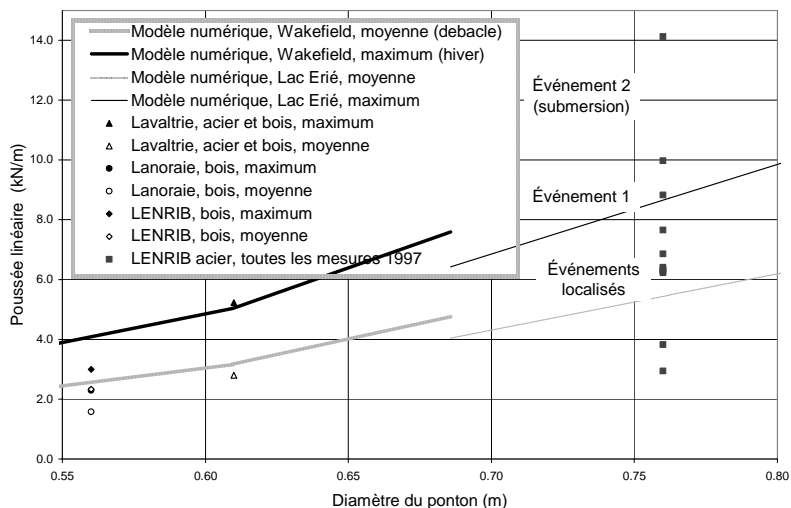


Figure 6 : La résistance à la submersion par les glaces des pontons en fonction de leur diamètre (Abdelnour et al, 1998)

Tableau 1

Données et hypothèse								
Conditions site de l'estacade	Largeur (m)	Angle du triangle (Deg.)	Distance de l'estacade (m)	Surface considérée (m <sup>2</sup> )	Vitesse du vent (km/h)	Vitesse du courant		Vitesse moyenne (m/s)
						Estacade (m/sec)	Amont (m/sec)	
Formation	140	30	261	18287	100	0.60	0.60	0.60
Débâcle	140	30	261	18287	100	0.90	0.90	0.90

Calculs

Conditions site de l'estacade	Largeur (m)	Force sur l'estacade (kN)	Force linéaire sur l'estacade (kN/m)	Force sur l'estacade (tonnes)	Nombre d'ancrages	Force sur l'ancre (tonnes)	Nombre de pontons	Force sur chaque ponton (tonnes)
Débâcle	140	356	2.5	36	2	18	13	2.8

## 6. CARACTÉRISTIQUES DE L'ESTACADE

Le choix des composantes de l'estacade dépend surtout du choix du diamètre des pontons. Le diamètre du ponton est choisi pour permettre à l'estacade de laisser passer la glace lorsque la force dépasse la résistance des ancrages. La résistance en fonction du diamètre est montrée à la figure 6. Pour décharger la glace suite à une poussée linéaire de plus que 2.5 kN/m, les pontons doivent avoir un diamètre de 0.61 m, tel que montré à la figure 6.

Pour résister à ces forces, les caractéristiques de l'estacade sont les suivantes :

- ❑ Largeur couverte par l'estacade : 140 m (distance entre les deux ancrages). Ceci couvre 90% de la largeur de la rivière de 155 m à cet endroit.
- ❑ Longueur du câble de section : Le câble de section est 25% plus long que la largeur couverte par l'estacade, donc 175 m.
- ❑ Longueur des câbles d'ancrage : Les deux câbles d'ancrage ont 30 m de long chacun. Cette longueur est plus de 10 fois la profondeur de l'eau aux sites des ancrages.
- ❑ Longueur des pontons : Chaque ponton aura une longueur de 10 mètres et un diamètre de 0,61 m.
- ❑ Chaque ponton est lié au câble de section par deux chaînes, ayant 1 m de long. Cette longueur permet à la glace jusqu'à 1 m d'épaisseur de submerger les pontons et minimiser les forces.
- ❑ Distance entre les pontons : 3 m, sauf aux deux extrémités où la distance entre le ponton et la bouée est de 4,5 m.
- ❑ Nombre de pontons : 13 pontons couvriront 93% de la largeur de l'estacade. Ce pourcentage est plus élevé que d'autres estacades qui couvrent 80% en moyenne. Ceci a été justifié pour maximiser la capacité de rétention de l'estacade.

Une bouée a été placée sur chaque côté de l'estacade. Ces bouées sont nécessaires pour permettre de détacher et ouvrir l'estacade sur la rive désirée après la disparition de la glace sans avoir besoin de plongeurs.

## 7. FABRICATION DE L'ESTACADE

L'estacade est fabriquée selon les normes et les standards déjà établis (ACNOR W47.1 et CSA W59). Chaque ponton est construit de tuyau en métal du type ASTM A-252, Grade II qui a une

limite élastique de 240 MPa (35000 psi) et une contrainte à la rupture de 400 MPa (60 ksi). Le tuyau est fermé à chaque extrémité par deux plaques en métal soudées pour produire la force de flottaison nécessaire. Les soudures du ponton sont inspectées visuellement à 100% et vérifiées en utilisant de l'air sous pression.

La fabrication a été faite dans l'atelier de Fleet Technologies Limitée. Les spécifications pour la construction et les plans de l'estacade ont été préparés suivant les recommandations par CSA W59-M1989 pour la soudure de construction métallique et CSA W47.1-92 pour la certification des compagnies pour la soudure (par fusion) du métal structural.

La surface extérieure des pontons a été peinte en jaune, conformément à la réglementation fédérale sur les voies navigables. L'inscription < DANGER - HYDRO-QUEBEC - DANGER >, lisible à au moins 30 m, a été placée sur le revêtement jaune de trois pontons. Le câble de section de l'estacade a été retenu à chacune des deux extrémités par une ancre placée dans le fond de la rivière.

## 8. MISE EN PLACE DE L'ESTACADE

L'estacade a été déployée durant la première semaine de novembre 1999. Ceci comprenait le forage et l'installation des ancrages, l'assemblage des pontons sur les câbles, l'installation des câbles d'ancrage et des bouées et, enfin, le remorquage et l'installation de l'estacade.

Les ancrages ont été conçus pour retenir une force calculée maximale de 18 tonnes. Le choix des ancrages dépendait du lit de la rivière. Du côté ouest, l'ancre a été placée dans un trou de 125 mm (5 po) de diamètre dans le roc (voir Figure 7). Du béton Sica 212 a été utilisé pour consolider l'ancre dans le trou. Cette ancre peut résister à une force supérieure à 50 tonnes, donc, un facteur de sécurité de plus que 2,5. Près de la rive est, l'ancre a été placée dans le mort terrain. Une ancre de type <Stevin> (voir figure 8), utilisée par l'industrie marine et offshore, a été choisie. Cette ancre a été conçue pour retenir une force de près de 50 tonnes, donc, un facteur de sécurité de 2,5.

Après l'installation des ancrages, elles ont été tirées par



Figure 7 : Ancre pour le roc, utilisée sur le côté ouest de la rivière.

le bateau pour s'assurer de leur résistance. La force appliquée sur chaque ancre par le bateau a



Figure 8 : Installation de l'ancre «Stevin ».

été estimée à 15 tonnes.

## 9. OBSERVATION DURANT L'HIVER 1999/2000

Des observations durant l'hiver 1999/2000 ont été faites lors de visites répétées durant la formation de la glace à l'amont de l'estacade.

La formation du couvert de glace à l'estacade a débuté durant la nuit du décembre 23, 1999. Les figures 9 et 10 montrent la glace le 24 décembre 1999. La couverture s'est formée et elle est demeurée stable jusqu'à sa fonte le 8 mars 2000.

L'épaisseur de la glace de la rivière Gatineau varie considérablement et dépend de la méthode de formation. L'épaisseur du couvert de glace qui croit naturellement dans les régions où les courants sont faibles (moins de 0.3 m/sec) peu atteindre entre 0.5 et 0.6 m durant un hiver de température moyenne. La glace qui se forme dans les sections où la



Figure 9 : Formation du couvert de glace en moins que 24 heures du début de la formation des glaces. Photos prise le 24 décembre 1999.

vitesse des courants est rapide (entre 0.6 à 0.8 m/sec) submerge et se dépose sous le couvert de glace qui se trouve à l'aval. Ceci cause un épaissement



Figure 10 : Formation du couvert de glace le 24 décembre 1999.

considérable de la glace. L'épaisseur de la glace y compris la neige consolidée, le frasil et la slush peut atteindre plusieurs mètres. La glace ainsi formée se divise en deux parties, la partie consolidée et la partie non consolidée. La partie consolidée a une épaisseur entre 1 et 2 m et dépend de la température de l'air et du degrés d'inondation du couvert de glace causé par la fluctuation du niveau d'eau de la rivière.

Une campagne de mesures similaire à celle de mars 1999 a été reprise le 7 mars 2000. L'épaisseur de la glace à l'aval de l'estacade, à l'entrée de la baie de Wakefield a été mesurée. L'épaisseur moyenne de glace solide était de 0,55 m. Une épaisseur d'au moins 0,50 m de frasil a été estimée s'être déposée sous la couverture.

La figure 11 prise le 13 mars 2000 montre l'accumulation de la glace morcelée à l'amont de l'estacade.

Vers la fin de la débâcle, à midi du 14 mars 2000, l'ancre Stevin, qui est située à l'est, s'est décroché.



Figure 11 : L'accumulation de la glace morcelée à l'amont de l'estacade près de 24 heures avant l'événement. Photo prise le 13 mars 2000.

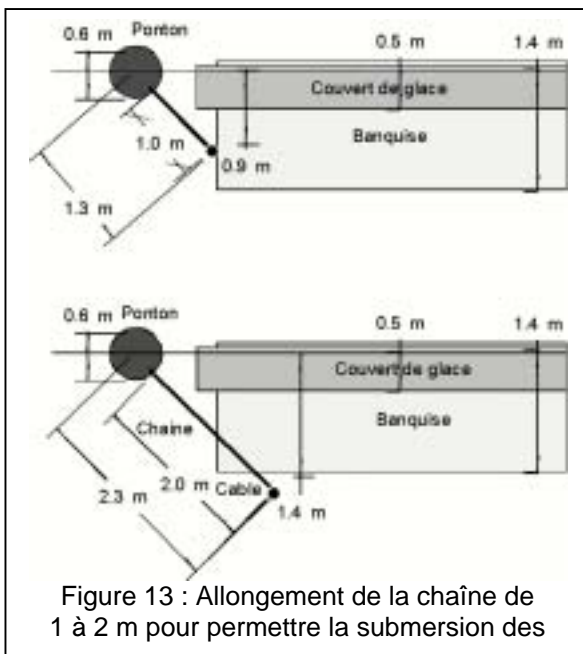


Figure 13 : Allongement de la chaîne de 1 à 2 m pour permettre la submersion des

Le couvert continue avait déjà disparu et surtout de la glace morcelée était à l'amont de l'estacade. Suite à une analyse détaillée de l'événement, la présente conclusions ont été tirées :

- Hydro-Québec n'a noté aucun changement du niveau d'eau entre le lac Wakefield et la centrale Chelsea. Les glaces n'ont pas affecté, en aucun temps, la production d'électricité de toute les centrales qui se trouvent le long de la Rivière Gatineau, en amont de Chelsea.
- Comme montrée dans la figure 12 et 13, la profondeur du câble de section sous la surface

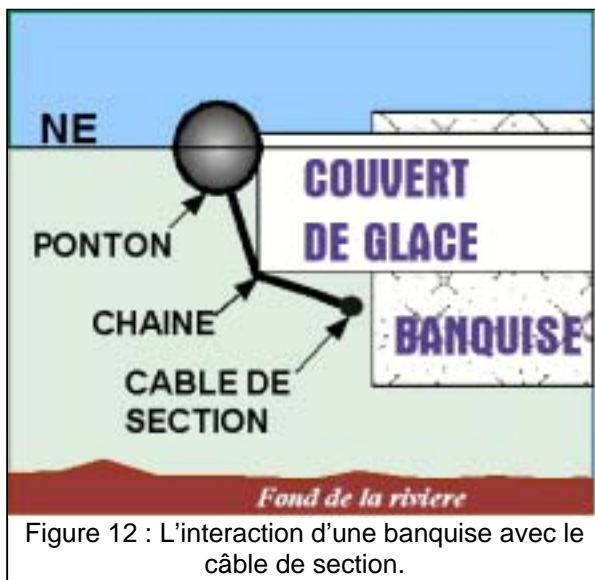


Figure 12 : L'interaction d'une banquise avec le câble de section.

de l'eau était de 1,3 m. En se basant sur les images prises pendant la formation de la glace, l'angle d'inclinaison de la chaîne a été estimé

être 45° avec le plan vertical. Ce qui donne une espace disponible de 0.9 m entre le câble de section et le niveau d'eau. Ceci permet à la glace de 1 m d'épaisseur de décharger vers l'aval. Par conséquent, la glace ou la banquise excédant 1 m d'épaisseur, s'appuiera sur le câble de section et n'atteint pas les pontons.

- Lorsque la glace est retenue par le câble de section, on peu envisager deux scénarios qui peuvent appliquer une poussée extrêmement large :

### 1. Pression Hydrostatique

Lorsque la glace arrête et demeure à l'amont du câble de section de l'estacade, une grande quantité de glace peu s'accumuler à l'amont. Une perte de charge entre l'amont et l'aval de l'estacade commence à se développer, ce qui résulte en une pression hydrostatique égale à la perte de charge qui s'applique sur l'estacade (ceci a été confirmé par des essais en laboratoire, Michel et al, 1976).

Par exemple, pour une perte de charge de 0.7 m, une force de 36 tonnes peu s'appliquer sur l'estacade (la force nécessaire pour le décrochage de l'ancre est). Comme la perte de charge n'a pas été mesurée durant l'événement du 14 mars 2000, il n'est pas possible de confirmer si la pression hydrostatique était une des causes du décrochage de l'ancre est.

### 2. Force de l'impact sur le câble de section

La force de l'impact de la glace consolidée sur le câble de section peu être calculée en supposant une banquise de glace avec les dimensions suivantes : 50 m long x 100 m large et d'une épaisseur de 1.5 m, et pour une densité de 0.9 tonnes/m<sup>3</sup>. Cette banquise aura une masse de 6,750 tonnes. En considérant que la vitesse de dérive de la banquise est de 0.5 m/sec (vitesse pendant le décrochage de l'ancre car le débit de la rivière était de 330 m<sup>3</sup>/sec), l'énergie de l'impact sera :

$$E = \frac{1}{2}(mv^2)$$

$$E = 843,750 \text{ N-m}$$

Si on considère que la durée de l'impact est de 2 secondes (1 m de pénétration est considérée raisonnable), la charge serait de 843,750 N ou environ 86 tonnes. La force sur chaque ancre sera de 43 tonnes.

Cela montre que pour une plus grande épaisseur de glace, et pour une vitesse de dérive plus rapide, combinée à une pression hydrostatique, la

force augmentera considérablement et peut dépasser facilement la capacité de rétention du câble de section (la résistance à la rupture du câble est de 87 tonnes). C'est pourquoi, pour un événement relativement rare, il est important que l'une des deux ancres, soit conçu pour décrocher bien avant que la force atteigne la résistance à la rupture du câble de section.

Il a été conclu que la force d'impact d'une banquise était la cause probable. L'estacade est conçue pour laisser passer de la glace ayant 1 m d'épaisseur. Les banquises plus épaisses sont retenues et peuvent causer des forces immenses.

Il faut noter que les pontons avaient été conçus pour submerger lorsque la poussée dépasse 2.5 à 3 kN/m (18 tonnes). Pour cela, il faut que la chaîne soit assez longue pour permettre de faire passer la glace et minimiser l'impact des glaces avec le câble de section.

## 10. CONCLUSIONS

L'estacade a permis aux opérateurs de la centrale hydroélectrique de Chelsea, qui se trouve à 16 km en aval de la baie de Wakefield, d'opérer la centrale sans rencontrer des problèmes reliés aux glaces durant l'hiver 1999/2000. Ceci est exceptionnel lorsqu'on compare la performance aux années précédentes. La rupture de l'estacade, surtout au début de l'hiver, peut causer des pertes de charges excédant 1 m. Ceci peut réduire substantiellement la production à la centrale hydroélectrique de Chelsea. La production de la centrale Chelsea est de 150 MW et la chute est de 30 m. Une perte de charge de 1 m peut réduire la production pour une longue période durant l'hiver. Le niveau d'eau à la baie de Wakefield peut aussi restreindre le débit turbiner de toutes les centrales qui se trouvent sur la rivière de la Gatineau, ce qui affecte la production (à la baisse) de toutes ces centrales.

La performance de l'estacade de Wakefield était impeccable pendant la formation de la glace et jusqu'aux derniers jours de la débâcle.

Cependant, vers la fin de la débâcle, et dû à la présence des banquises qui excédaient probablement un mètre d'épaisseur, la glace se serait appuyée sur le câble de section ce qui n'a pas permis le déchargement des glaces vers l'aval. Cette force peut facilement dépasser la force calculée durant le design, ce qui peut expliquer le décrochage de l'ancre.

L'estacade sera modifiée pour tenir compte des banquises excédant 1.0 m d'épaisseur et pouvant aller jusqu'à 1.8 m. Pour cela, la chaîne qui lie le

ponton au câble de section sera rallonger de 1 à 2 m. Pour le cas d'une banquise qui excède une épaisseur de 2 m, un fusible sera placé pour limiter la tension dans le câble de section pour décrocher l'ancre est.

Comme une estacade qui peut retenir les glaces durant la débâcle sur une rivière telle que la rivière Gatineau n'existe pas, la solution proposée sera vérifiée par des observations durant l'hiver 2001. Une estacade robuste et résistant à la débâcle sera un outil très intéressant pour le contrôle des glaces pour minimiser les inondations et améliorer la production des centrales hydroélectriques en hiver.

## 11. REMERCIEMENTS

Ce projet a été effectué pour Hydro-Québec. On remercie particulièrement M. André Chouinard, M. Serge Banville et M. Jean Dugal pour leur coopération et intérêt durant le projet.

## 12. REFERENCES

- Abdelnour, R., Comfort, G., Gong, Y., and McGoey, L., 1993 "LAVALTRIE ICE BOOM : PRELIMINARY DESIGN FOR NEW BOOM PONTOONS" Rapport de Fleet Technologie Limitée #4319C, Soumis à la garde côtières canadienne, Région des Laurentides, octobre.
- Abdelnour, R., Nicholson, C., and Gong, Y., 1998, "THE DESIGN, FABRICATION AND DEPLOYMENT OF AN ICE BOOM TO PROTECT TWO HYDROELECTRIC POWER PLANT WATER INTAKES FROM ICE BLOCKAGES DURING WINTER". , Conférence de la AIRH, 1998, Potsdam N. Y., juillet.
- Cowper, B., Abdelnour, R., Gong, Y., and Crissman, R., 1997. "ICE LOAD MEASUREMENTS ON THE LAKE ERIE-NIAGARA RIVER ICE BOOM: 1996/97". , 9th Atelier sur les glaces en rivières, Fredericton, NB, Canada.
- Michel, B., and Abdelnour, R., (1976), STABILITÉ HYDROMÉCANIQUE D'UN COUVERT DE GLACE ENCORE SOLIDE, Revue canadienne de génie civil, Vol. 3, No. 1, mars.
- Robert, S., 1991 Rapport interne, Hydro-Québec.