



Travaux publics et
Services gouvernementaux
Canada

Région du Québec

Public Works and
Government Services
Canada

Quebec Region

Évaluation de la stabilité des enrochements compris dans les coupes types de l'Atlas d'écovégétalisation

Rapport préparé pour

Madame Sylvie Asselin

Bureau d'écologisation
des opérations gouvernementales
Travaux publics et Services gouvernementaux Canada

par

Alain Drouin, ing., M.Sc.

et

Elisabeth Marceau, ing., M.Sc.

Services d'architecture et de génie – Travaux maritimes

Juillet 2005

FC
2759
.E7
D76
2005

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION.....	3
2	CARACTÉRISTIQUES DES ENROCHEMENTS ÉTUDIÉS	4
3	PRINCIPAUX PARAMÈTRES CONSIDÉRÉS	5
4	STABILITÉ PAR RAPPORT AUX VAGUES	6
4.1	RÉFÉRENCE DE DIMENSIONNEMENT UTILISÉE	6
4.2	VAGUES DE DIMENSIONNEMENT ÉQUIVALENTES.....	9
4.3	PROTECTION DUE À LA PROFONDEUR D'EAU LIMITÉE.....	10
4.4	STABILITÉ PAR RAPPORT AUX VAGUES DE VENT	12
4.5	BATILLAGE	14
5	STABILITÉ PAR RAPPORT AUX COURANTS	19
6	STABILITÉ PAR RAPPORT AUX GLACES	20
7	INCIDENCE DE NIVEAUX D'EAU PLUS ÉLEVÉS.....	21
8	AUTRES PARAMÈTRES CONSIDÉRÉS	22
8.1	GÉOTEXTILE	22
8.2	ENSEMENCEMENT DES ENROCHEMENTS.....	22
9	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	23
	RÉFÉRENCES.....	25

1 INTRODUCTION

Dans le cadre du plan d'action Saint-Laurent Vision 2000, une vaste étude de caractérisation des berges du Saint-Laurent a permis de faire un bilan de l'état de détérioration de ces milieux. On y apprend entre autres que près de 400 km de rives naturelles entre Cornwall et Québec sont affectées par le phénomène d'érosion.

Dans ce contexte, le Service canadien de la faune a mandaté la firme Écogénie inc. afin de définir des mesures d'intervention adaptées aux conditions du milieu, et ce pour 27 segments de rives d'intérêt écologique jugés prioritaires. Tous ces segments sont situés entre le lac Saint-Louis et le lac Saint-Pierre. De cette étude a résulté, en mars 2003, le rapport « Projet de stabilisation de rives d'intérêt écologique sur les Îles du Saint-Laurent – Mesures d'intervention recommandées ». Dix coupes types d'ouvrages de protection des berges y sont proposées, toutes comportant à la fois des composantes végétales et des enrochements.

C'est pour faire une évaluation globale de la stabilité des enrochements de ces coupes qu'un mandat a été confié à Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (TPSGC). Les résultats de cette étude sont présentés dans ce qui suit.

2 CARACTÉRISTIQUES DES ENROCHEMENTS ÉTUDIÉS

Deux catégories de pierres ont été retenues pour couvrir l'ensemble des conditions d'exposition auxquelles sont associées l'une ou l'autre des coupes types à l'étude. Une de ces catégories est composée de pierres de 100 à 600 mm de diamètre, l'autre de pierres de 200 à 700 mm. Les diamètres médians (D_{50}) correspondants sont respectivement de 300 et 400 mm.

La pente des enrochements varie, d'une coupe à l'autre, entre 1:2,5 et 1:5. La position relative du pied et de la crête de ceux-ci est aussi variable par rapport aux niveaux d'eau de référence (crue moyenne, récurrence 2 ans, etc.).

L'épaisseur des enrochements n'est pas précisée sur les coupes. Dans certains cas, ceux-ci sont dessinés avec une épaisseur variable.

La plupart des coupes comptent un seul enrochement, mais quelques-unes en comprennent deux.

Dans certains cas, un géotextile est indiqué sous l'enrochement, mais, dans d'autres, il ne l'est pas.

Finalement, on indique qu'il est prévu d'ensemencer les enrochements une fois que ceux-ci auront été recouverts de matériaux fins provenant des excavations requises pour la mise en place de la pierre.

3 PRINCIPAUX PARAMÈTRES CONSIDÉRÉS

Les principaux phénomènes naturels pouvant influencer sur la stabilité des enrochements sont les vagues générées par le vent, les variations du niveau d'eau, les glaces et les courants. À cela, il faut ajouter comme paramètre significatif le batillage, c'est-à-dire les vagues générées par le passage des bateaux.

L'importance de chacun de ces phénomènes peut varier de façon importante de l'un à l'autre des 27 segments de rives concernés par l'étude. Considérant cette diversité de conditions, l'évaluation de la stabilité des enrochements a nécessairement été faite en se basant sur certaines hypothèses simplificatrices. Celles-ci sont toutefois en cohérence avec l'approche globale et les objectifs visés par l'étude.

4 STABILITÉ PAR RAPPORT AUX VAGUES

4.1 Référence de dimensionnement utilisée

Pour dimensionner des enrochements avec un étalement significatif des grosseurs de pierres qui les composent, on utilise habituellement l'équation de Hudson, tirée du *Coastal Engineering Manual* (2003). Celle-ci permet de déterminer le poids médian de la pierre (W_{50}) requise.

$$W_{50} = \frac{w_r H_{1/10}^3}{K_{RR} (S_r - 1)^3 \cot \theta} \quad (\text{équation 4.1})$$

- ou
- W_{50} : poids de la pierre médiane (kg)
 - w_r : poids volumique sec de la pierre (2.64 t/m³)
 - $H_{1/10}$: hauteur de la vague (m) correspondant à la moyenne du 10% des vagues les plus hautes
 - S_r : densité relative de la pierre ($S_r = w_r/w_w$)
 - w_w : densité de l'eau (eau douce = 1.0 t/m³)
 - θ : angle de la pente de l'enrochement
 - K_{RR} : coefficient de stabilité, égal à
 - 2.2 avec des vagues déferlantes
 - 2.5 avec des vagues non déferlantes

Pour ce type d'enrochement, le poids des plus petites et des plus grosses pierres est généralement déterminé de la façon suivante :

$$W_{\min} = 0.125 W_{50} \quad (\text{équation 4.2})$$

$$W_{\max} = 4.0 W_{50} \quad (\text{équation 4.3})$$

alors que l'épaisseur minimale requise de l'enrochement s'obtient en utilisant la plus grande des valeurs suivantes: soit 0.3 m,

$$\text{ou} \quad r = 2.0 (W_{50} / w_r)^{1/3} \quad (\text{équation 4.4})$$

$$\text{ou} \quad r = 1.25 (W_{\max} / w_r)^{1/3} \quad (\text{équation 4.5})$$

Les équations 4.2 à 4.5 sont aussi tirées du *Coastal Engineering Manual* (2003).

On présente au tableau 1 les caractéristiques de base des enrochements intégrés aux coupes types étudiées, dont celles qui sont considérées dans l'équation 4.1, soit W_{50} et la pente de l'enrochement.

Tableau 1

Coupe type (et position relative de l'enrochement, si plus d'un)	Diamètres limites (et D_{50})	Poids limites équivalents (et W_{50})	Pente
1	100 à 600 mm (300 mm)	2 à 375 kg (47 kg)	1:5
2	100 à 600 mm (300 mm)	2 à 375 kg (47 kg)	1:4
3 (partie inférieure)	100 à 600 mm (300 mm)	2 à 375 kg (47 kg)	1:8*
3 (partie supérieure)	100 à 600 mm (300 mm)	2 à 375 kg (47 kg)	1:4
4	100 à 600 mm (300 mm)	2 à 375 kg (47 kg)	1:5
5 (partie inférieure)	100 à 600 mm (300 mm)	2 à 375 kg (47 kg)	1:4
5 (partie supérieure)	100 à 600 mm ^{&} (400 mm)	2 à 375 kg (111 kg)	1:4
6 (partie inférieure)	100 à 600 mm (300 mm)	2 à 375 kg (47 kg)	1:4
6 (partie supérieure)	200 à 700 mm (400 mm)	14 à 595 kg (111 kg)	1:3
7	200 à 700 mm (400 mm)	14 à 595 kg (111 kg)	1:3.5
8	200 à 700 mm (400 mm)	14 à 595 kg (111 kg)	1:3.5
9	100 à 600 mm (300 mm)	2 à 375 kg (47 kg)	1:2.5
10 (partie inférieure)	100 à 600 mm ^{&} (400 mm)	2 à 375 kg (111 kg)	1:8*
10 (partie supérieure)	200 à 700 mm (400 mm)	14 à 595 kg (111 kg)	1:3.5

* La pente de ces enrochements n'est pas précisée sur les coupes. La valeur retenue est celle mesurée sur ces coupes.

[&] Pour ces cas, il semble y avoir incohérence entre les diamètres limites et le diamètre médian indiqués sur la coupe. Dans la suite, on considère qu'il s'agit de pierres de 100 à 600 mm avec un D_{50} de 300 mm.

Basé sur les équations qui précèdent, le tableau 2 présente les poids minimum et maximum que devraient avoir les pierres, de même que l'épaisseur minimale de l'enrochement correspondant à la pierre médiane qui a été spécifiée sur les coupes types.

Tableau 2

W ₅₀ (D ₅₀)	W _{min} (D _{min})	W _{max} (D _{max})	Épaisseur minimale de l'enrochement
47 kg (300 mm)	6 kg (150 mm)	188 kg (480 mm)	522 mm
111 kg (400 mm)	14 kg (200 mm)	444 kg (635 mm)	695 mm

Les catégories de pierres des coupes types allant de 100 à 600 mm et de 200 à 700 mm, elles présentent donc toutes deux un étalement plus grand que celui obtenu des équations 4.2 et 4.3. C'est particulièrement vrai pour la première catégorie ; l'écart dans le deuxième cas étant peu significatif.

Pour ce qui est de l'épaisseur des enrochements, aucune valeur n'est précisée sur les coupes types. Certains dessins illustrent toutefois une épaisseur variable le long du même enrochement. On constate aussi que, pour une même catégorie de pierres, l'épaisseur dessinée de l'enrochement peut varier d'une coupe à l'autre.

4.2 Vagues de dimensionnement équivalentes

On présente au tableau 3 les hauteurs de vagues obtenues, avec l'équation 4.1, à partir des définitions de la pierre médiane du tableau 1, en prenant pour acquis que l'étalement des grosseurs de pierre et l'épaisseur totale de l'enrochement sont celles du tableau 2. Il s'agit donc des vagues les plus hautes pour lesquelles les enrochements sont théoriquement stables. Autant des conditions de vagues déferlantes que de vagues non déferlantes ont été considérées dans ces calculs.

Tableau 3

Coupe-type (et position relative si plus d'un enrochement)	Vagues de dimensionnement	
	si non déferlantes	si déferlantes
1	0,73 m	0,70 m
2	0,68 m	0,65 m
3 (partie inférieure)	0,86 m	0,82 m
3 (partie supérieure)	0,68 m	0,65 m
4	0,73 m	0,70 m
5 (partie inférieure)	0,68 m	0,65 m
5 (partie supérieure)	0,68 m	0,65 m
6 (partie inférieure)	0,68 m	0,65 m
6 (partie supérieure)	0,80 m	0,77 m
7	0,84 m	0,81 m
8	0,84 m	0,81 m
9	0,58 m	0,55 m
10 (partie inférieure)	0,86 m	0,82 m
10 (partie supérieure)	0,84 m	0,81 m

Il y a peu de différence sur les hauteurs obtenues en considérant des vagues déferlantes ou des vagues non déferlantes, l'écart maximum pour un même enrochement étant de 0,04 m entre les deux conditions de vagues.

Par ailleurs, la plus petite hauteur de vague déferlante obtenue est de 0,55 m (coupe 9) et la plus grande de 0,82 m (coupe 3, enrochement inférieur).

4.3 Protection due à la profondeur d'eau limitée

La hauteur maximale de la vague qui peut atteindre un ouvrage donné est limitée par la profondeur d'eau au pied de celui-ci. Comme on le sait, quand la profondeur devient trop faible par rapport à la hauteur de la vague qui s'y propage, cette dernière déferle.

On présente au tableau 4 les plus hautes vagues qui peuvent théoriquement atteindre les enrochements tels que positionnés sur les coupes types. Les conditions de niveau d'eau moyen, de crue moyenne et de crue avec une récurrence de 2 ans ont été considérées. Le positionnement relatif de ces niveaux d'eau par rapport au pied des enrochements est directement tiré du dessin des coupes types.

Pour obtenir les résultats du tableau 4, une approximation usuelle a été appliquée, soit de considérer que la vague commence à déferler lorsque sa hauteur dépasse 78% de la profondeur d'eau.

Tableau 4

Coupe type (et position relative, si plus d'un enrochement)	Hauteur maximale des vagues		
	niveau moyen	crue moyenne	crue 2 ans
1		0,50 m	0,65 m
2		0,90 m	1,05 m
3 (partie inférieure)	0,10 m	1,30 m	1,70 m
3 (partie supérieure)	-	0,25 m	0,65 m
4	-	1,10 m	1,50 m
5 (partie inférieure)	0,55 m	1,70 m	1,70 m
5 (partie supérieure)	-	0,90 m	0,90 m
6 (partie inférieure)	0,60 m	1,75 m	1,75 m
6 (partie supérieure)	-	1,20 m	1,20 m
7	0,20 m	1,35 m	1,35 m
8	0,85 m	2,00 m	2,00 m
9	0,80 m	1,95 m	1,95 m
10 (partie inférieure)	0,15 m	1,30 m	1,80 m
10 (partie supérieure)	-	0,85 m	1,30 m

La juxtaposition des résultats du tableau 4 à ceux du tableau 3 permet de faire quelques constats intéressants.

Le premier, c'est qu'en condition de niveau d'eau moyen, peu importe l'amplitude des vagues générées au large, la profondeur d'eau au pied des enrochements protège pratiquement tous ceux-ci contre les vagues qui pourraient les déstabiliser. De fait, seuls les enrochements des coupes 8 et 9 ne sont pas protégés de cette façon.

En conditions de crue moyenne et de crue 2 ans, le même type de protection est obtenu uniquement pour l'enrochement de la coupe 1 et pour l'enrochement en partie supérieure de la coupe 3. Dans tous les autres cas, les ouvrages peuvent à priori être atteints par des vagues plus grandes que celles correspondant à leur « dimensionnement ».

4.4 Stabilité par rapport aux vagues de vent

En l'absence de données de vagues mesurées sur les sites, un modèle numérique de reconstitution de celles-ci à partir d'enregistrements de vent a été utilisé pour en faire l'évaluation. Toutefois, considérant les objectifs de l'étude et la portée du mandat reçu, des calculs ont été faits uniquement pour certains cas représentatifs des hauteurs de vagues pouvant être atteintes au voisinage de segments de rives regroupés, pour fin d'exercice, dans un même secteur.

Les résultats ainsi obtenus sont présentés au tableau 5. Ils n'incluent pas les effets de la réfraction lors de la propagation des vagues vers la rive.

Tableau 5

Coupe type	Segments	H1/10 approx.
1	534-A, 535-A-2 et 555	< 1,0 m
2	535-A-1, 540 et 593	< 1,0 m
3	556D, 557A et 558A 593A et 588A	< 0,5 m < 1,0 m
4	592 841-A et 861	< 1,0 m < 0,75 m
5	822	< 0,5 m
6	556-B, 820 et 818-A	< 0,5 m
7	556-A, 556-C et 825-A	< 0,5 m
8	811	< 0,75 m
9	843-A, 859-A et 890-A	< 0,5 m
10	440 et 588-B	< 0,5 m

L'incidence potentielle des vagues de vent sur la stabilité des enrochements peut être évaluée en analysant les résultats du tableau 5 à la lumière de ceux des tableaux 3 et 4.

Considérant d'abord le tableau 3, on constate que nonobstant toute protection due à une profondeur d'eau limitée, les enrochements des coupes 5 à 10 devraient être adéquats pour résister aux vagues de vent. Dans ces cas, la vague de dimensionnement est en effet plus grande que la vague de vent $H_{1/10}$ estimée.

D'autre part, en comparant les résultats du tableau 5 et du tableau 4, il en ressort que tous les enrochements sont théoriquement stables par rapport aux vagues de vent estimées lorsque le niveau d'eau est plus bas ou égal au niveau d'eau moyen. La profondeur d'eau limitée empêche alors les vagues plus grandes que la vague de dimensionnement d'atteindre l'ouvrage.

Il n'en est pas de même en conditions de crue moyenne et de crue 2 ans, conditions pour lesquelles les enrochements des coupes 2, 3 (partie inférieure) et 4 peuvent être atteints par des vagues de vent plus grandes que la vague de dimensionnement.

4.5 Batillage

Les vagues correspondant au batillage ont été déterminées de façon distincte pour chacun des 27 segments et sous-segments de l'étude. Pour ce faire, ce sont la méthode et les caractéristiques de navires décrites dans Carter et Ancil (1998) qui ont été utilisées. L'équation est celle de Kent (1950), modifiée par un facteur (alpha) qui a été établi par Ursell (1960) pour tenir compte de l'atténuation de la vague lors de sa propagation vers la rive :

$$H = \alpha k \frac{B}{L_N} \frac{V^2}{2g} \quad (\text{équation 4.6})$$

$$\text{ou} \quad \alpha = \left(\frac{0,5 * B}{x} \right)^{1/5}$$

- et H : hauteur moyenne des trois plus grosses vagues du sillage (m)
 B : largeur du navire (m)
 x : distance entre le navire et la rive (m)
 k : coefficient empirique
 L_N : longueur du navire (m)
 V : vitesse relative du navire (m/s)
 g : accélération gravitationnelle (m/s²)

Les vitesses de navires proviennent du rapport pour l'année 2003 produit par les Services de communications et du trafic maritimes (SCTM) du ministère des Pêches et Océans Canada. Ce rapport fournit la vitesse de tous les bateaux ayant transité par la voie maritime du Saint-Laurent, en regroupant l'information par tronçons (de Yamachiche à l'Île des barques, de l'Île des barques à Tracy, etc.).

Parce que le type de navire auquel correspond chaque nom et chaque vitesse n'est pas précisé au rapport du SCTM, l'hypothèse a été posée d'une distribution égale des vitesses, à l'intérieur d'un même intervalle (0 à 5 nœuds, 6 à 10 nœuds, etc.), entre les trois types de navires suivants : les minéraliers, les barges des Lacs et les porte-conteneurs.

Les résultats obtenus sont présentés au tableau 6 et ne comprennent pas les effets de la réfraction des vagues lors de leur propagation vers la rive. De ce tableau, il ressort que les hauteurs de vagues générées par le passage des bateaux à vitesse moyenne tournent autour de 0,35 m et les hauteurs de celles générées à vitesse maximale autour de 1,80 m. En considérant plutôt les valeurs les plus grandes obtenues pour ces deux mêmes

catégories de résultats, on obtient 0,45 et 2,80 m. De façon générale, l'écart entre la hauteur à vitesse moyenne et celle à vitesse maximale est très significatif, ce qui souligne les effets potentiels d'une éventuelle réduction de la vitesse maximale permise des navires.

Tableau 6

Coupe type	Segment de rive	Hauteur avec vitesse moyenne (m)	Vitesse maximale des navires (nœuds)	Hauteur avec vitesse maximale (m)
1	534-A	0.20	25.2	0.80
	535-A-2	0.20	25.2	0.90
	555	0.30	25.2	1.20
2	535-A-1	0.20	25.2	0.90
	540	0.45	25.2	2.00
	593	0.35	27.5	1.80
3	556D	0.40	27.5	2.00
	557A	0.40	27.5	2.00
	558A	0.40	27.5	2.00
	593A	0.35	27.5	1.80
	588A	0.40	27.5	2.00
4	592	0.35	27.5	1.90
	841-A	0.35	24	1.45
	861	0.35	24	1.35
5	822	0.30	24	1.25
6	556-B	0.40	27.5	2.00
	820	0.35	24	1.40
	818-A	0.40	24	1.50
7	556-A	0.40	27.5	2.00
	556-C	0.40	27.5	2.00
	825-A	0.40	24	1.60
8	811	0.30	24	1.25
9 ^{&}	843-A	-	-	-
	859-A	-	-	-
	890	-	-	-
10	440	0.40	32	2.80
	588-B	0.40	27.5	2.00

[&] Les segments correspondant à cette coupe type ne sont pas situés dans l'axe de la voie maritime et ne sont donc pas soumis directement au batillage des navires commerciaux. Ils le sont plutôt à celui des bateaux de plaisance, ce qui n'a pas été évalué dans le cadre de la présente étude.

Tout comme avec les vagues générées par le vent, l'incidence potentielle du batillage sur la stabilité des enrochements peut être évaluée en analysant les résultats du tableau 6 à la lumière des tableaux 3 et 4.

Considérant d'abord les tableaux 3 et 6, on constate que nonobstant toute protection due à une profondeur d'eau limitée, tous les enrochements sont théoriquement stables par rapport à la hauteur de vagues générées par le passage des bateaux à vitesse moyenne.

En comparant plutôt les résultats des tableaux 4 et 6, on constate qu'en condition de niveau d'eau moyen, tous les enrochements sauf un (celui de la coupe 8) sont théoriquement stables par rapport à la vague générée par le passage des navires à vitesse maximale. La situation change cependant drastiquement en condition de crue moyenne avec laquelle il n'y a plus que les enrochements de la coupe 1 et celui en partie supérieure de la coupe 3 qui seraient adéquats par rapport à cette même vague maximale.

En gardant en mémoire la limite des hypothèses posées pour évaluer le batillage, on présente au tableau 7 un pourcentage approximatif de passages de navires pour lesquels les enrochements des différentes coupes seraient déstabilisés. Ce pourcentage est fourni autant pour des conditions de niveau d'eau moyen, que pour celles de crue moyenne et de crue avec une récurrence de 2 ans.

Tableau 7

Coupe type	Segment de rive	% approximatif des passages de bateaux avec dépassement de la vague de dimensionnement		
		niveau moyen	crue moyenne	crue 2 ans
1	534-A et 535-A-2 555	0 %	0 %	0 %
		0 %	0 %	0 %
2	535-A-1 et 540 593	0 %	5 %	5 %
		0 %	25 %	25 %
3 (inférieur)	556D, 557A et 558A 588A et 593A	0 %	5 %	5 %
		0 %	5 %	5 %
3 (supérieur)	556D, 557A et 558A 588A et 593A	0 %	0 %	0 %
		0 %	0 %	0 %
4	592 841-A et 861	0 %	15 %	15 %
		0 %	15 %	15 %
5 (inférieur)	822	0 %	25 %	25 %
5 (supérieur)	822	0 %	25 %	25 %
6 (inférieur)	556-B 818-A et 820	0 %	30 %	30 %
		0 %	25 %	25 %
6 (supérieur)	556-B 818-A et 820	0 %	10 %	10 %
		0 %	5 %	5 %
7	556-A et 556-C 825-A	0 %	5 %	5 %
		0 %	5 %	5 %
8	811	7 %	5 %	5 %
9 ^{&}	843-A, 859-A et 890	-	-	-
10 (inférieur)	440 588-B	0 %	20 %	20 %
		0 %	5 %	5 %
10 (supérieur)	440 588-B	0 %	20 %	20 %
		0 %	5 %	5 %

[&] Les segments correspondant à cette coupe type ne sont pas situés dans l'axe de la voie maritime et ne sont donc pas soumis directement au batillage des navires commerciaux. Ils le sont plutôt à celui des bateaux de plaisance, ce qui n'a pas été évalué dans le cadre de la présente étude.

5 STABILITÉ PAR RAPPORT AUX COURANTS

Considérant non seulement la grosseur des pierres mais aussi la pente des enrochements, les courants parallèles à la rive n'apparaissent pas à priori comme un facteur significatif pour entraîner la déstabilisation des pierres en tant que telles.

En effet, même en considérant les conditions d'enrochement les plus défavorables parmi les coupes à l'étude, soit la coupe 9 (coupe qui comprend à la fois la plus petite catégorie de pierres et la pente d'enrochement la plus forte), la pierre serait stable face à une vitesse moyenne du courant d'environ 3 m/s, ce qui équivaut approximativement à 6 nœuds.

Ce résultat, qui a été obtenu avec l'équation VI-5-132 du *Coastal Engineering Manual* (2003), n'exclut pas la possibilité que des courants plus faibles entraînent de l'affouillement au pied des enrochements et/ou de l'érosion en tête (ou aux extrémités latérales) de ceux-ci. Sur ces aspects, ce sont les composantes végétales prévues qui devront offrir une protection adéquate.

6 STABILITÉ PAR RAPPORT AUX GLACES

Les segments de rive à l'étude sont exposés à des conditions de glaces variables d'un endroit à l'autre, comme le démontrent les données du tableau 8. Sur celui-ci, on présente une valeur moyenne des conditions qui ont été observées durant l'hiver 1999 à partir des cartes de glaces produites par le Service canadien des glaces (SCG).

Tableau 8

Segments	Conditions de glaces moyennes à l'hiver 1999
534-535-540-555	Banquise
440	Glace en mouvement (épaisseur = 10-15 cm)
556-557-558	Glace en mouvement (épaisseur < 10 cm)
588-592-593	Banquise
818-820-822-825	Glace en mouvement (épaisseur = 10-15 cm)
811-841-861	Banquise
843-859-890	Banquise

Ces conditions de glaces permettent dans une certaine mesure de juger du type d'attaque potentiel, par les glaces, d'enrochements qui y seraient construits. Elles permettent aussi d'évaluer le degré de protection pouvant être offert par ces mêmes glaces par rapport aux vagues.

Il n'existe toutefois pas encore, à notre connaissance, de méthode fiable de dimensionnement d'un enrochement en fonction des différents types de sollicitations que les glaces peuvent exercer.

En milieu marin, l'expérience démontre que les ouvrages dont la carapace est composée de pierres de 1 à 3 tonnes résistent normalement bien aux diverses conditions de glace auxquelles ils peuvent être exposés. Les conditions maritimes sont toutefois différentes de celles auxquels seront exposés les ouvrages concernés par la présente étude. Et bien que la grosseur de pierre requise puisse éventuellement être moindre que celles susmentionnées, c'est essentiellement sur la base d'observations d'ouvrages existants soumis à des conditions similaires que pourra être déterminé de façon adéquate à quoi on peut s'attendre avec les enrochements à l'étude.

7 INCIDENCE DE NIVEAUX D'EAU PLUS ÉLEVÉS

Dans tout ce qui précède, le niveau d'eau le plus élevé considéré a été celui de la crue 2 ans. Toutefois, bien qu'aucune durée de vie utile ne soit associée aux coupes types, celle-ci est certainement souhaitée supérieure à 2 ans.

De façon à avoir une idée de l'incidence de crues plus exceptionnelles sur les ouvrages, les élévations atteintes par les crues de récurrence 5, 10 et 20 ans sont présentées au tableau 9, où elles sont mises en parallèle avec celles de la crue 2 ans. L'information du tableau 9 a principalement été tirée du rapport « Zones inondables – Fleuve Saint-Laurent : Calcul des niveaux de récurrences 2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans. Tronçons Varennes-Grondines » produit par le Ministère de l'environnement du Québec (1990). Toutefois, pour le secteur Beauharnois soumis à une régulation du niveau d'eau, l'information a été obtenue lors d'une conversation avec M. William Larouche, représentant du même ministère.

Tableau 9

Segments	crue 2 ans	crue 5 ans	crue 10 ans	crue 20 ans
534, 535, 540 et 555*	1,64 m	2,02 m	2,23 m	2,40 m
440	3,28 m	3,78 m	4,01 m	4,18 m
556, 557 et 558	3,02 m	3,53 m	3,73 m	3,92 m
588, 592 et 593	3,04 m	3,54 m	3,74 m	3,94 m
811, 818, 820, 822 et 825	2,85 m	3,45 m	3,70 m	3,90 m
841, 843, 859, 861 et 890	2,80 m	3,35 m	3,60 m	3,85 m

À la lecture du tableau, on constate que la différence d'élévation entre les crues 2 et 20 ans varie de 0,76 à 1.05 m selon l'endroit.

Avec des niveaux d'eau plus élevés que ceux de la crue 2 ans, on comprendra que, d'une part, des vagues plus hautes parmi celles générées par les bateaux pourront atteindre les ouvrages, et que, d'autre part, la crête des enrochements et le terrain naturel derrière celle-ci seront plus exposés aux effets déstabilisants des vagues.

8 AUTRES PARAMÈTRES CONSIDÉRÉS

8.1 Géotextile

La base de données du Service canadien de la faune pour le tronçon Cornwall-Montmagny comprend, entre autres informations, la composition du talus d'érosion des rives à l'étude. Pour les segments concernés par la présente étude, cette composition varie entre le loam (terre glaise, limon) et le sable très fin loameux.

Ainsi, bien qu'il ne soit pas indiqué sur toutes les coupes types étudiées, un géotextile est donc à prévoir sous tous les enrochements pour éviter la migration du matériel naturel, qui est très fin, à travers les vides entre les pierres.

8.2 Ensemencement des enrochements

Le dimensionnement des pierres en fonction d'une hauteur de vagues donnée est basé en partie sur une dissipation de l'énergie des vagues à travers les vides de l'enrochement. Dans ce contexte, nous ne sommes pas en mesure d'établir quelle sera l'incidence effective, sur le comportement des enrochements, du fait de remplir les vides en surface avec le produit des excavations et d'ensemencer ce même matériel. On peut par contre affirmer qu'il en résultera une remontée plus importante des vagues le long des enrochements, exposant ainsi plus la crête de ceux-ci et le terrain naturel adjacent à l'action des vagues.

9 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Pour être conforme avec la référence de dimensionnement utilisée dans la présente étude, rappelons d'abord que l'étalement des deux catégories de pierres prévues aux coupes types devrait être un peu resserré. Une épaisseur minimale des enrochements devrait aussi être respectée. C'est d'ailleurs sur l'hypothèse d'un ajustement de ces paramètres avec les résultats du tableau 2 que la présente évaluation des enrochements a été faite.

L'étude a permis de constater que pour des niveaux d'eau plus bas ou égaux au niveau d'eau moyen, pratiquement tous les enrochements sont adéquats ; la faible profondeur d'eau empêchant des vagues trop fortes de les atteindre. Il en est toutefois autrement pour des niveaux d'eau plus élevés, par exemple en condition de crue moyenne. Ce sont beaucoup plus les vagues générées par le passage des bateaux que celles produites par le vent qui peuvent éventuellement dépasser significativement la hauteur de vague correspondant au dimensionnement actuel des enrochements.

Il faut bien sûr se rappeler le cadre global dans lequel la présente étude a été réalisée. Certaines hypothèses simplificatrices ont été utilisées pour déterminer les hauteurs de vagues au pied des ouvrages, autant celles générées par le vent que celles produites par le passage des navires. Entre autres, les effets de la réfraction et du rehaussement du fond marin sur la hauteur des vagues pendant leur propagation vers la rive n'ont pas été calculés. D'autre part, la fréquence possible des événements comprenant à la fois des niveaux d'eau élevés et des vagues assez fortes pour déstabiliser les enrochements n'a pas été évaluée.

Il n'en demeure pas moins que les résultats de l'étude sont concluants à l'effet que pratiquement tous les enrochements seront exposés à des conditions pour lesquelles ils devraient subir des dommages. Et même si un enrochement détérioré peut continuer à jouer un certain rôle de protection, nous recommandons qu'avant la construction de l'un ou l'autre des ouvrages, une évaluation spécifique au site concerné soit faite des conditions prévisibles de vagues de vent, de batillage et de glaces. En plus d'orienter le dimensionnement de l'ouvrage à construire, on posera ainsi des balises utiles à l'interprétation du comportement futur de celui-ci, favorisant une amélioration des dimensionnements ultérieurs, autant ceux à faire dans le même secteur que ceux qui se feront pour d'autres sites. Les leçons à tirer paraissent justifier les coûts impliqués, et ce autant pour les étapes en lien avec la conception que pour celles concernant le suivi après la construction.

Pour l'instant, il semble qu'aucune notion de durée de vie utile ou de pourcentage de dommage acceptable ne soit associée aux conceptions proposées. Il serait toutefois

intéressant pour les promoteurs d'en arriver à pouvoir obtenir une relation entre les montants prévus et les résultats anticipés à court, à moyen et à long terme, ce que favorise l'approche ici proposée.

Ajoutons en terminant que la stabilité des enrochements est aussi dépendante de l'efficacité des composantes végétales à en protéger le pied contre l'affouillement et la tête contre les effets du franchissement, ce qui n'a pas été évalué dans le cadre de la présente étude.

RÉFÉRENCES

CARTER, D. ET ANCTIL, F., « Caractérisation des vagues produites par le passage de navires sur le Lac Saint-Pierre », Février 1998.

ÉCOGÉNIE INC., « Projet de stabilisation de rives d'intérêt écologique sur les îles du Saint-Laurent – Tronçon entre le lac Saint-Louis et le lac Saint-Pierre / Mesures d'interventions recommandées », Mars 2003.

U.S. ARMY ENGINEER RESEARCH AND DEVELOPMENT CENTER,
« Coastal Engineering Manual », 2003.

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC, « Zones inondables – Fleuve Saint-Laurent / Calcul des niveaux de récurrences 2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans / Tronçon Varennes-Grondines », Septembre 1990.