

ANALYSE DE SOLUTIONS À L'ÉROSION ET À LA SUBMERSION CÔTIÈRE DANS LA FLÈCHE DE SHELDRAKE DANS LA MUNICIPALITÉ DE RIVIÈRE-AU-TONNERRE

**ANALYSE DE SOLUTIONS ET ÉLABORATION DES
PLANS D'AVANT-PROJET PRÉLIMINAIRE**

MINISTÈRE DES TRANSPORTS





ANALYSE DE SOLUTIONS À L'ÉROSION ET À LA SUBMERSION CÔTIÈRE DANS LA FLÈCHE DE SHELDRAKE DANS LA MUNICIPALITÉ DE RIVIÈRE-AU- TONNERRE

ANALYSE DE SOLUTIONS ET ÉLABORATION DES PLANS D'AVANT- PROJET PRÉLIMINAIRE

MINISTÈRE DES TRANSPORTS

VERSION FINALE

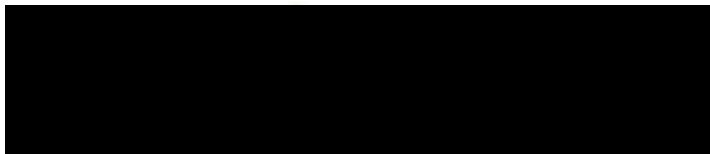
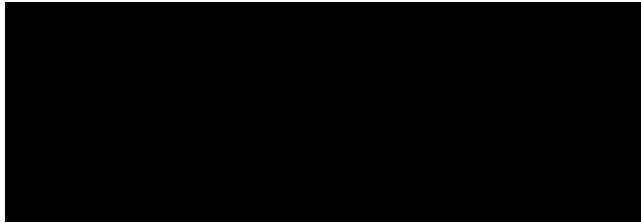
**PROJET N° : 181-09013-00
DATE : AOÛT 2020**

**WSP CANADA INC.
1135, BOULEVARD LEBOURGNEUF
QUÉBEC (QUÉBEC) G2K 0M5**

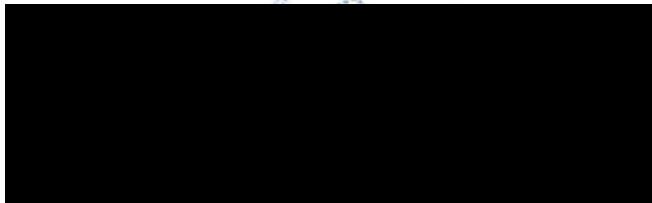
**TÉLÉPHONE : +1 418-623-2254
TÉLÉCOPIEUR : +1 418-624-1857
WSP.COM**

SIGNATURES

PRÉPARÉ PAR



RÉVISÉ PAR



Le présent rapport a été préparé par WSP Canada Inc. (WSP) pour le compte du Ministère des Transports (MTQ) conformément à l'entente de services professionnels. La divulgation de tout renseignement faisant partie du présent rapport incombe uniquement au destinataire prévu. Son contenu reflète le meilleur jugement de WSP à la lumière des informations disponibles au moment de la préparation du rapport. Toute utilisation que pourrait en faire une tierce partie ou toute référence ou toutes décisions en découlant sont l'entière responsabilité de ladite tierce partie. WSP n'accepte aucune responsabilité quant aux dommages, s'il en était, que pourrait subir une tierce partie à la suite d'une décision ou d'un geste basé sur le présent rapport. Cet énoncé de limitation fait partie du présent rapport.

L'original du document technologique que nous vous transmettons a été authentifié et sera conservé par WSP pour une période minimale de dix ans. Étant donné que le fichier transmis n'est plus sous le contrôle de WSP et que son intégrité n'est pas assurée, aucune garantie n'est donnée sur les modifications ultérieures qui peuvent y être apportées.

ÉMISSION/RÉVISION	PRÉPARÉ POUR	DATE
Preliminaire	Ministère des Transports	Juin 2020
Pré-finale	Ministère des Transports	Juillet 2020
Finale	Ministère des Transports	Août 2020

ÉQUIPE DE RÉALISATION

MINISTÈRE DES TRANSPORTS

Coordonnatrice de la Direction des inventaires et du Plan

Claudia Gagnon, ing.

Chargée de projet

Marie-Hélène Grenon, ing.

WSP CANADA INC. (WSP)

Chargé de projet et responsable volet génie côtier

Responsable volet environnement

Responsable volet transport

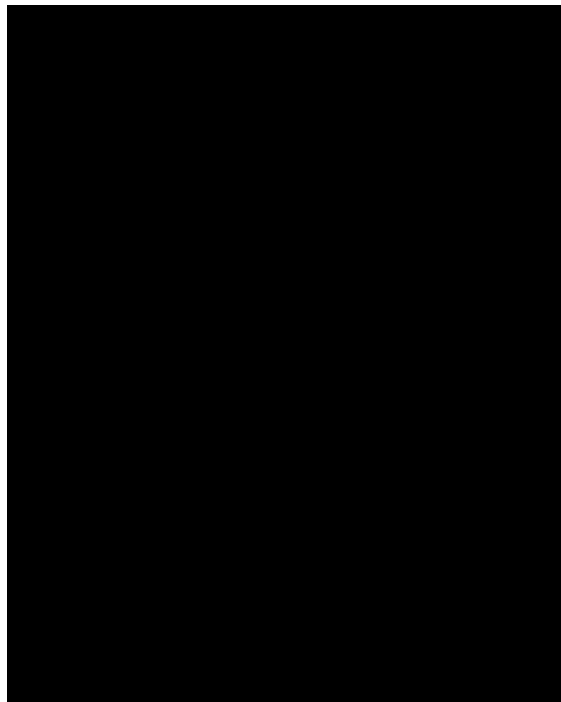
Génie côtier

Génie routier et ouvrages d'art

Dessin assisté par ordinateur (DAO)

Cartographie

Traitement de texte et édition



Référence à citer :

WSP. 2020. *Analyse de solutions à l'érosion et à la submersion côtière dans la flèche de Sheldrake dans la municipalité de Rivière-au-Tonnerre – Analyse de solutions et élaboration des plans d'avant-projet préliminaire*. Rapport de WSP Canada Inc. au Ministère des Transports. 66 p. et annexes.

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION.....	1
1.1	CONTEXTE.....	1
1.2	OBJECTIFS SPÉCIFIQUES.....	2
1.3	ZONE D'ÉTUDE.....	3
2	PROBLÉMATIQUE ACTUELLE ET ZONES D'INTERVENTION VISÉES.....	5
2.1	HISTORIQUE DES INTERVENTIONS SUR LE MILIEU CÔTIER ET CONDITIONS DE TEMPÊTES VÉCUES.....	5
2.1.1	ÉTAT ACTUEL DES OUVRAGES DE PROTECTION (ÉTAT DES LIEUX).....	12
2.2	CARACTÉRISATION DU RISQUE D'ÉROSION ET DE SUBMERSION CÔTIÈRE.....	29
3	ANALYSE DE SOLUTIONS.....	37
3.1	REVUE GÉNÉRALE DES TECHNIQUES DE PROTECTION CÔTIÈRE.....	37
3.2	SOLUTIONS PROPOSÉES POUR LA FLÈCHE DE SHELDRAKE.....	37
3.2.1	REVUE DES SOLUTIONS RETENUES.....	39
3.3	CRITÈRES DE CONCEPTION.....	44
3.3.1	GÉNIE ROUTIER ET OUVRAGE D'ART.....	44
3.3.2	ENVIRONNEMENT (COMPOSANTE BIOLOGIQUE ET SOCIALE).....	45
4	ÉLABORATION DES CONCEPTS ET PLANS D'AVANT-PROJET PRÉLIMINAIRE.....	48
4.1	RELOCALISATION DE LA ROUTE 138 (SOLUTION C).....	48
4.1.1	DESCRIPTION GÉNÉRALE DES CONDITIONS AU TERRAIN.....	48
4.1.2	RELOCALISATION DE LA ROUTE 138 SELON LA VARIANTE C1.....	50
4.1.3	RELOCALISATION DE LA ROUTE 138 SELON LA VARIANTE C2.....	52
4.1.4	RELOCALISATION DE LA ROUTE 138 SELON LA VARIANTE C3.....	54
4.1.5	ÉVALUATION SOMMAIRE DES IMPACTS.....	55
4.1.6	ESTIMATION DES COÛTS.....	57
4.2	ANALYSE COMPARATIVE MULTICRITÈRE.....	59

5	RECOMMANDATIONS.....	63
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	66

TABLEAUX

TABLEAU 2-1	VALEURS THÉORIQUES (L/S/M) DES DÉBITS DE DÉBORDEMENT POUR ASSURER LA SÉCURITÉ ROUTIÈRE ET STRUCTURALE (USACE, 2006).....	34
TABLEAU 2-2	VALEURS THÉORIQUES (L/S/M) DES DÉBITS DE DÉBORDEMENT POUR ASSURER LA SÉCURITÉ ROUTIÈRE ET STRUCTURALE (ALLSOP ET AL., 2008; EUROTOP, 2018).	34
TABLEAU 2-3	SOMMAIRE DES EVENEMENTS DE DEBORDEMENT OBSERVES RECEMMENT DANS LA FLECHE DE SHELDRAKE LE LONG DE LA R-138.	36
TABLEAU 3-1	SOMMAIRE DES TECHNIQUES DE PROTECTION CONTRE L'ÉROSION ET LA SUBMERSION CÔTIÈRE	38
TABLEAU 3-2	SOLUTIONS À L'ÉTUDE POUR RÉDUIRE LA PROBLÉMATIQUE D'ÉROSION ET DE SUBMERSION CÔTIÈRE LE LONG DE LA R-138 DANS LA FLÈCHE DE SHELDRAKE	42
TABLEAU 4-1	ESTIMATION PRÉLIMINAIRE DES COÛTS DE CONSTRUCTION POUR LA RELOCALISATION DE LA ROUTE 138 – (VARIANTES C1, C2 ET C3)	58
TABLEAU 4-2	ANALYSE MULTICRITÈRE COMPARATIVE DE L'ENSEMBLE DES SOLUTIONS ÉTUDIÉES POUR LE SITE SHELDRAKE	60
TABLEAU 4-3	ANALYSE MULTICRITÈRE COMPARATIVE DES SOLUTIONS RETENUES DE RELOCALISATION DE LA ROUTE 138 (SOLUTION C) POUR LE SITE DE SHELDRAKE	61

FIGURES

FIGURE 2-1.	PHOTO DU PONT TOUZEL EN 1975 (MTQ, 2015).....	5
FIGURE 2-2.	SECTION TYPE DE L'ENROCHEMENT MIS EN PLACE EN 1994 À PROXIMITÉ DU PONT TOUZEL (MTQ, 1994).....	7
FIGURE 2-3.	ENROCHEMENT MIS EN PLACE DEVANT LA POISSONNERIE EN 2006 (CH. 1+998 À 2+090)	8
FIGURE 2-4.	ÉTAT DE L'ENROCHEMENT AVANT LES TRAVAUX EN JUIN 2011 (CH. 0+800)	9
FIGURE 2-5.	ÉTAT DE L'ENROCHEMENT APRÈS LES TRAVAUX EN AOÛT 2012 (CH. 0+600 À 0+900)	10
FIGURE 2-6.	ÉTAT DE L'ENROCHEMENT SUITE À LA FIN DES TRAVAUX VERS LA FIN NOVEMBRE 2016 (CH. APPROX. 0+440 À 0+500)	10
FIGURE 2-7.	DOMMAGES CAUSÉS PAR LES TEMPÊTES DU 30 DÉCEMBRE 2016.....	11
FIGURE 2-8.	DOMMAGES CAUSÉS PAR LES TEMPÊTES DU 30 DÉCEMBRE 2016 (CH. APPROX. 0+440 À 0+500)	11
FIGURE 2-9.	TEMPÊTE DU 11 JANVIER 2017 – DÉBORDEMENT SIGNIFICATIF SUR LA CHAUSSEE ET AU NIVEAU DU PONT TOUZEL.....	12
FIGURE 2-10.	PONT TOUZEL, VUE SUR LA CULÉE OUEST REPOSANT SUR LE ROC – (CH. 0+100)	13
FIGURE 2-11.	PONT TOUZEL, VUE SUR LA CULÉE EST (CH. 0+000) – SEPTEMBRE 2018.....	13
FIGURE 2-12.	CULÉE EST DU PONT TOUZEL ET EMPIERREMENT DE PROTECTION – (CH. 0+090)	14
FIGURE 2-13.	CALIBRES DE PIERRES EN PLACE ET PENTE DE L'ENROCHEMENT (CH. 0+150) – SEPTEMBRE 2018.....	16

FIGURE 2-14.	PENTE DE L'ENROCHEMENT – VUE VERS L'OUEST (CH. 0+400) – SEPTEMBRE 2018	16
FIGURE 2-15.	TRANSITION ENTRE DEUX SECTIONS D'ENROCHEMENT AVEC UNE DIFFÉRENCE AU NIVEAU DE L'ÉLEVATION DE LA CRÊTE ET DE LA PENTE (CH. 0+440) – SEPTEMBRE 2018	17
FIGURE 2-16.	DÉVERSEMENT DE PIERRES DE CALIBRE ÉTALÉ ET ENCOCHE D'ÉROSION EN CRÊTE (CH. 0+800) – SEPTEMBRE 2018	17
FIGURE 2-17.	COUCHE DE PIERRES DE CARAPACE ET PRÉSENCE ABONDANTE DE VÉGÉTATION (CH. 0+960) – SEPTEMBRE 2018	18
FIGURE 2-18.	PENTE DE LA PLAGE DEVANT L'ENROCHEMENT – PRÉSENCE (CH. 0+150) ET ABSENCE (CH. 0+300) DE BERME DE PLAGE (PLAGE SÈCHE)	19
FIGURE 2-19.	PLAGE SUBMERGÉE À MARÉE HAUTE – DOMMAGES SUBIS À LA SUITE DE LA TEMPÊTE DU 30 DÉCEMBRE 2016 (CH. 0+300)	19
FIGURE 2-20.	EMPIERREMENT PROTÉGANT LE BAS DE TALUS ET RAMPE D'ACCÈS REJOIGNANT LA ROUTE 138 (CH. 0+100 À 0+180)	20
FIGURE 2-21.	JONCTION DE LA RAMPE EN ENROCHEMENT AVEC LA ROUTE 138 – COTÉ NORD (CH. 0+180)	21
FIGURE 2-22.	DÉGRADATION SIGNIFICATIVE DE L'ENROCHEMENT DANS LE BAS DU TALUS ROUTIER ET SIGNES D'ÉROSION NOTABLES – CÔTÉ NORD (CH. 0+200 À 0+320)	22
FIGURE 2-23.	EMPIERREMENT QUI PRÉSENTE CERTAINS SIGNES DE DÉGRADATION ET DONT LE PIED DE L'OUVRAGE SEMBLE RELATIVEMENT STABLE (CH. 0+320 À 0+420)	23

FIGURE 2-24.	DÉCROCHEMENT EN MILIEU DE PENTE (CH. 0+420 À 0+540)	24
FIGURE 2-25.	EMPIERREMENT DE PROTECTION (CH. 0+540 À 0+700)	24
FIGURE 2-26.	PROTECTION EN ENROCHEMENT PRÈS DE LA DESCENTE DE BATEAU – CH. 0+700 À 0+800	25
FIGURE 2-27.	TALUS DE NATURE SABLONNEUSE AVEC FAIBLE ÉROSION EN CRÊTE - VUE DU HAUT DE TALUS VERS LE SUD-EST (CH. 1+100) – SEPTEMBRE 2018.....	26
FIGURE 2-28.	BERME DE PLAGE SÈCHE ET DUNE VÉGÉTALISÉE (CH. 1+300)	26
FIGURE 2-29.	BERME DE PLAGE SÈCHE ET DUNE VÉGÉTALISÉE (CH. 1+400)	27
FIGURE 2-30.	CRAN ROCHEUX À L'EXTRÉMITÉ EST DE LA ZONE D'ÉTUDE LOCALE (CH. 1+800).	27
FIGURE 2-31.	VUE D'ENSEMBLE DE LA PLAGE ET DU SYSTÈME DUNAIRE SÉPARANT LA ROUTE 138 DU LITTORAL (CH. 1+850)	28
FIGURE 2-32.	ENCOCHES D'ÉROSION DANS LE BAS DU TALUS TOUT JUSTE À L'OUEST DU CRAN ROCHEUX (CH. 1+800)	28
FIGURE 2-33.	DÉBORDEMENT CÔTIER INDUIT PAR LE FRANCHISSEMENT DES VAGUES (SUBMERSION CÔTIÈRE) – TEMPÊTE DU 11 JANVIER 2017	30
FIGURE 2-34.	DÉBORDEMENT CÔTIER INDUIT PAR LE FRANCHISSEMENT DES VAGUES (SUBMERSION CÔTIÈRE) – TEMPÊTE DU 13 NOVEMBRE 2016.....	30
FIGURE 2-35	DÉBITS DE DÉBORDEMENTS MOYENS HORAIRES RECONSTITUÉS POUR LA PÉRIODE 1994-2018.....	36
FIGURE 3-1	STRUCTURE DE PONT CONVENTIONNELLE DE TYPE POUTRES D'ACIER AVEC DALLE DE BÉTON ARMÉ	45

FIGURE 4-1	ZONE D'ÉTUDE POUR LA RELOCALISATION DE LA ROUTE 138 ET CARACTÉRISATION DES COUCHES DE SURFACE	49
FIGURE 4-2	RELIEF DU TERRAIN ET MASSIF ROCHEUX DE PART ET D'AUTRE DU SILLON DE LA RIVIÈRE	49
FIGURE 4-3	EXEMPLE DE L'EFFET VISUEL DE LA STRUCTURE DE PONT PROPOSÉE TOUT JUSTE AU NORD DE L'AXE ACTUEL DE LA ROUTE 138 (VARIANTE C1)	51
FIGURE 4-4	EXEMPLE DE L'EFFET VISUEL DE LA STRUCTURE DE PONT PROPOSÉE SELON LA VARIANTE C2	53

CARTES

CARTE 1-1	LOCALISATION DE LA ZONE D'ÉTUDE	4
CARTE 2-1	NIVEAU D'EXPOSITION À L'ÉROSION CÔTIÈRE DE LA FLÈCHE DE SHELDRAKE (ZONE D'ÉTUDE LOCALE) SELON DREJZA ET AL. (2014).	31
CARTE 2-2	NIVEAU D'EXPOSITION À LA SUBMERSION CÔTIÈRE DE LA FLÈCHE DE SHELDRAKE (ZONE D'ÉTUDE LOCALE) SELON DREJZA ET AL. (2014).....	32

ANNEXES

ANNEXE A	PLANS D'AVANT-PROJET PRÉLIMINAIRE SOLUTION C (VARIANTES C1, C2 et C3)
----------	--

1 INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE

La mission du ministère des Transports du Québec (MTQ) est d'assurer, sur tout le territoire, la mobilité des personnes et des marchandises par des systèmes de transport efficaces et sécuritaires qui contribuent au développement durable du Québec (MTQ, 2009). La route 138 constitue le seul axe routier pour assurer le lien avec les communautés vivant sur la Côte-Nord, ainsi que pour assurer le développement socio-économique de cette région.

Le tronçon de la route 138, directement concerné par ce dossier, se situe tout juste à l'ouest du village de Sheldrake. Le tronçon de la route 138 à l'étude totalise 1 760 m entre les chaînages 0+090 et 1+850. La route 138 y traverse l'embouchure de la rivière Sheldrake par le biais du pont Touzel et d'un tronçon de talus routier, dont le remblai est supporté par la flèche littorale de Sheldrake. La flèche littorale s'étend sur environ 700 m de longueur, alors que l'estuaire de la rivière Sheldrake est caractérisé par une largeur moyenne d'environ 500 m. Le système côtier de la flèche de Sheldrake est essentiellement confiné entre deux segments de côtes rocheuses. L'embouchure de la rivière Sheldrake se trouve à l'extrémité ouest de la flèche. Une centrale hydroélectrique est localisée environ 6 km en amont. Cette dernière n'influence pas le régime hydraulique naturel du tronçon aval de la rivière puisqu'il s'agit d'une centrale au fil de l'eau, mais coupe tout de même une partie des apports sédimentaires provenant de l'amont (BAPE, 2009).

Au niveau du tronçon à l'étude, l'élévation de la route 138 est plus basse par rapport aux approches de part et d'autre. En conditions de tempêtes avec la présence d'une surcote et de fortes vagues, il est arrivé à diverses occasions que le tronçon de la route 138 qui repose sur la flèche se fasse submerger, incluant la projection de débris sur la chaussée dont la taille varie entre le sable et le galet. L'érosion s'avère aussi un facteur dominant, malgré la présence d'enrochement. En effet, du côté sud de la flèche, on retrouve des conditions de tempêtes possédant une capacité érosive élevée en présence de hauts niveaux d'eau et de vagues, et du côté nord, bien que les niveaux d'eau soient contrôlés par la marée, on retrouve la présence de glaces et de courants fluviaux capables d'éroder le talus routier et de modifier la position du chenal principal de la rivière.

Le principal objectif de cette étude est donc d'évaluer à la fois la faisabilité de la mise en place d'ouvrages de protection du littoral, mais aussi d'étudier la faisabilité de relocaliser le tronçon de la route 138 pour ainsi éviter que le talus routier repose sur un milieu aussi dynamique en raison des fortes sollicitations hydrodynamiques de part et d'autre de la flèche et du niveau de submersion significatif observé en période de tempêtes. Dans les deux cas, différents éléments techniques sont à considérer et une comparaison multicritère permettra de dresser un portrait clair de la situation. L'objectif principal étant, dans tous les cas, d'assurer la pérennité et la sécurité des usagers de la route, et ce, en limitant les impacts sur le milieu côtier.

Soulignons qu'au-delà de la zone d'étude locale, il s'avère nécessaire de considérer une zone d'étude encore plus étendue afin de positionner adéquatement le tronçon à l'étude de la route 138 sur le plan socioéconomique par rapport au village de Sheldrake, à la municipalité de Rivière-au-Tonnerre, ainsi que la MRC de la Minganie.

Le rapport de description du milieu, complété par WSP en 2019 (WSP, 2019), a visé à comprendre davantage l'environnement dans lequel s'inscrit ce projet de protection de la route 138 de manière à mieux concevoir la solution de protection retenue et à réduire les impacts de celle-ci sur l'environnement côtier. Le présent rapport d'étude a donc pour objectif d'identifier diverses solutions à la problématique d'érosion et de submersion côtière et de recommander la solution la plus adaptée au milieu dans un contexte de changements climatiques. Basés sur les recommandations d'analyse de solutions, des plans préliminaires d'avant-projet seront élaborés pour la zone d'intervention visée.

1.2 OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

Le présent mandat vise la recherche et l'analyse de solutions pour contrer l'érosion et réduire la vulnérabilité de cette portion du littoral face à la problématique d'érosion et de submersion côtière, tout en assurant la sécurité des usagers de la route 138 et en minimisant les impacts sur les milieux côtier et socioéconomique. Il vise également à faire une analyse multicritère des solutions jugées les plus appropriées de manière à recommander la solution qui répondrait globalement le mieux à l'ensemble des critères définis en fonction des performances attendues, des impacts appréhendés et des attentes du ministère et des autres intervenants du milieu. Cette étude sera accompagnée de plans d'avant-projet préliminaire qui illustreront les solutions retenues. À la suite de l'obtention d'un consensus avec les principaux intervenants du ministère sur la solution à mettre en œuvre, ce rapport préliminaire pourra, si jugé nécessaire par le MTQ, être présenté aux autorités et aux intervenants du milieu pour consultation. Sur cette base, une version finale, incluant les éléments jugés pertinents de la consultation, sera ensuite transmise au ministère afin qu'il puisse procéder aux étapes suivantes du projet (PC 1).

De façon plus spécifique, le travail consiste à examiner la problématique à travers les volets d'hydraulique maritime, de génie routier et d'analyse environnementale de manière à déterminer les solutions les mieux adaptées au site. Celles-ci devront permettre de rencontrer les principaux enjeux suivants :

- le maintien d'un lien routier sécuritaire et pérenne dans un contexte de changements climatiques;
- la conception d'ouvrages côtiers résilients et dont le risque résiduel pour la route et le milieu naturel est jugé acceptable compte tenu des incertitudes liées à ce type de problématique;
- la stabilité et le maintien de la qualité du milieu côtier en accord avec les enjeux environnementaux et l'état actuel des connaissances dans le domaine de la protection côtière;
- l'intégration au paysage et le maintien de fonctions écologiques de la zone à l'étude;
- recommander et présenter la solution la plus adaptée, et ce, basée sur une analyse multicritère et une consultation auprès du client;
- produire des plans d'avant-projet préliminaire qui illustreront les solutions envisagées.

1.3 ZONE D'ÉTUDE

La zone d'étude locale proposée dans le cadre de l'étude d'analyse de solutions à l'érosion et à la submersion côtière dans la flèche de Sheldrake se situe à l'ouest de Sheldrake. Le tronçon de la route 138 à l'étude totalise 1 760 m entre les chaînages 0+090 et 1+850. La Carte 1-1 illustre la localisation de cette zone d'étude locale.



La précision des limites et les mesures montrées sur ce document ne doivent pas servir à des fins d'ingénierie ou de délimitation foncière. Aucune analyse foncière n'a été effectuée par un arpenteur-géomètre.

Analyse de solutions à l'érosion et à la submersion côtière dans la flèche de Sheldrake dans la municipalité de Rivière-au-Tonnerre
Analyse de solutions et élaboration des plans d'avant-projet préliminaire

WSP
Projet n° : 181-09013-00
Page 4

2 PROBLÉMATIQUE ACTUELLE ET ZONES D'INTERVENTION VISÉES

2.1 HISTORIQUE DES INTERVENTIONS SUR LE MILIEU CÔTIER ET CONDITIONS DE TEMPÊTES VÉCUES

La route 138 traverse la rivière Sheldrake via le pont Touzel (P-14001), lequel est une structure à tablier inférieur en acier métallisé à arc avec poutre de type Langer (MTQ, 2015). Le pont s'appuie sur des culées en béton de part et d'autre de l'exutoire de la rivière. La route 138 a été construite sur la flèche littorale sur une longueur d'environ 800 m. L'information quant à la date de construction initiale des enrochements de protection n'est pas disponible. Néanmoins, le document *Évaluation patrimoniale du pont Touzel* (MTQ, 2015) stipule que la construction du pont a été réalisée conjointement avec la route 138. Des photos datant de 1972 et 1975 (Figure 2-1), dans ce même rapport, illustre qu'un enrochement est présent le long de la flèche littorale.



Figure 2-1. Photo du Pont Touzel en 1975 (MTQ, 2015)

Tel que mentionné en introduction, ce tronçon de route demeure très exposé à la submersion et à l'érosion côtière ce qui menace constamment l'intégrité de la route 138 durant les épisodes de tempêtes maritimes combinant hauts niveaux d'eau et fortes vagues. En effet, ce tronçon de route a subi divers dommages significatifs au cours des années, lesquels ont nécessité des interventions d'urgence et des réparations parfois coûteuses, sans oublier l'impact temporaire qu'ont eu ces travaux sur le maintien du lien routier pour assurer la sécurité des automobilistes. Les informations colligées à ce jour concernant les tempêtes ayant affecté le tronçon routier à l'étude, ainsi que les interventions réalisées au fil des années proviennent notamment de M. Jean-Victor Blais, employé du MTQ, et de l'analyse de suivis photographiques pour corroborer les dates. M. Blais précise par ailleurs que les informations demeurent toutefois incomplètes étant donné que certains de ses anciens collègues, ayant une meilleure connaissance du secteur, ne sont plus à l'emploi du MTQ. En résumé, les enjeux suivants ont été mentionnés par M. Blais pour le tronçon de route reposant sur la flèche de Sheldrake :

- Sécurité routière : « projection de sable, gravier et cailloux sur la chaussée lors des marées hautes combinées à des forts vents et vagues »
- Impact socio-économique : « Ce tronçon de route est le seul lien routier permettant l'alimentation en pétrole, en nourriture, ainsi que pour la circulation de patients entre les centres de santé. Toute la population à l'est de la rivière Sheldrake est dépendante de ce lien routier »
- Impacts environnementaux : « Corridor routier très vulnérable et fragile lors de tempêtes maritimes combinant hautes marées et fortes vagues, nécessitant la plupart du temps des travaux d'urgence. »
- Coût d'entretien : « La fréquence des bris et des dommages induits par les événements de tempêtes qui occasionnent du débordement sur la chaussée est plus fréquente par rapport aux années antérieures. Un coût approximatif d'environ [REDACTED] est le budget requis pour assurer l'entretien et le maintien de ce lien routier. »

Les informations les plus anciennes rendues disponibles par le MTQ en début de mandat concernent une intervention réalisée en 1994 qui visait la détérioration de l'enrochement de la culée *est* du pont Touzel occasionnée par l'action des vagues en 1992. À cet effet, WSP a reçu une note technique résumant la conception de l'enrochement mis en place à l'époque dont le calibre de la pierre de carapace variait entre 1 000 et 1 250 mm (MTQ, 1994). L'intervention aurait été réalisée entre la culée du pont et le chaînage 0+030, pour une longueur totale d'environ 50 m. La Figure 2-2 présente la coupe-type associée à cette intervention.

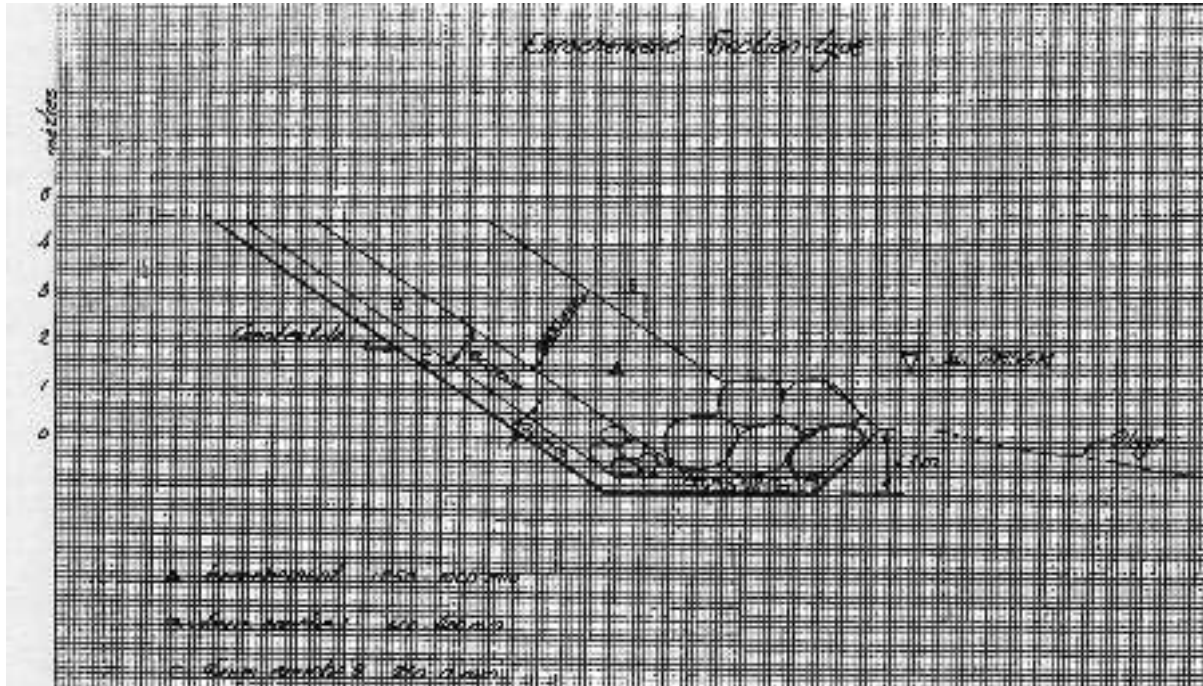


Figure 2-2. Section type de l'enrochement mis en place en 1994 à proximité du pont Touzel (MTQ, 1994)

Suivant cette première intervention documentée en 1994 au droit du pont Touzel, les principales interventions réalisées plus récemment et documentées par le MTQ sont résumées ici-bas. Il est à noter que d'autres interventions de plus faible envergure ont aussi été réalisées entre 1994 et aujourd'hui, mais celles-ci n'ont pas nécessairement été documentées par le MTQ.

1. Enrochement initial projet d'amélioration (ch. 1+998 à 2+090)

- Date : 2006 et 2009
- Numéro d'identification du projet / technique : 154920673 / 138-11-015
- Coûts approximatifs :
 - 2006 = [REDACTED]
 - 2009 = [REDACTED]

2. Réfection temporaire de l'enrochement – projet de conservation de la chaussée (ch. 0+140 à 1+000)

- Date : 2011-2012
- Réalisée par : MTQ
- Numéro d'identification du projet / technique : 154-11-0252 / 138-11-015
- Coût approximatif : [REDACTED] ([REDACTED] selon M. Jean-Victor Blais)

3. Intervention d'urgence (ch. 0+440 à 0+500)

- Date : novembre 2016
- Réalisée par : MTQ
- Coût approximatif : [REDACTED] (selon M. Jean-Victor Blais)

4. Intervention d'urgence – projet de conservation de la chaussée (ch. 0+390 à 4+490)

- Date : Fin décembre 2016 et janvier 2017
- Réalisée par : MTQ
- Numéro d'identification du projet / technique : 154160877 / 138-11-015
- Coûts approximatifs
 - 2016 = [REDACTED]
 - 2017 = [REDACTED]

La première intervention réalisée en 2006 visait la protection de la route 138 sur une distance d'environ 100 m, ainsi que des bâtiments à proximité du littoral (poissonnerie) dans l'anse à Ernest. La Figure 2-3 présente le géotextile et les différentes couches d'enrochement mis en place devant l'ancienne poissonnerie Bouchard.



Figure 2-3. Enrochement mis en place devant la poissonnerie en 2006 (ch. 1+998 à 2+090)

L'intervention de 2011 (PC1) a, quant à elle, permis de réaliser une réfection temporaire de l'enrochement afin de protéger un tronçon de route de la 138 reposant directement sur la flèche littorale, soit une longueur d'environ 860 m. Un document interne obtenu du MTQ (MTQ, 2011), stipule qu'une intervention devra être mise en place sur une longueur de 860 m (ch. 0+140 à 1+000) selon la conception de l'enrochement déjà en place (1994) et l'état de l'infrastructure en place. Le document mentionne aussi l'urgence d'intervenir dans ce secteur et documente les spécifications suivantes à respecter pour mettre en place cet ouvrage temporaire :

- Pente de 1,5H :1V;
- Carapace de 1 100 mm-1 300 mm de diamètre sur une épaisseur de 2,0 m;
- Sous-couche de 600 mm à 400 mm de diamètre sur une épaisseur de 900 mm;
- Compléter avec du tout-venant pour combler les vides avant d'installer la sous-couche;
- Aucune clé proposée au pied de l'enrochement;
- Aucune membrane géotextile ne sera installée.

Le montant estimé à l'époque et présenté dans le document interne du MTQ mentionnait que le coût serait d'environ [REDACTED] lequel a été confirmé autour de [REDACTED] de la part de M. Blais. La Figure 2-4 présente l'état de l'enrochement, près du chaînage 0+800, en juin 2011 avant la réfection de l'enrochement. La Figure 2-5 présente, quant à elle, l'état de l'enrochement entre les chaînages 0+600 à 0+900 en août 2012, soit après les travaux.



Figure 2-4. État de l'enrochement avant les travaux en juin 2011 (ch. 0+800)



Figure 2-5. État de l'enrochement après les travaux en août 2012 (ch. 0+600 à 0+900)

La troisième intervention d'urgence a été réalisée en novembre 2016 sur une distance d'environ 60 m (ch. 0+440 à 0+500) à la suite des dommages occasionnés par une tempête survenue un peu plus tôt en novembre 2016. La Figure 2-6 présente l'état de l'enrochement à la suite des travaux de novembre 2016.



Figure 2-6. État de l'enrochement suite à la fin des travaux vers la fin novembre 2016 (ch. approx. 0+440 à 0+500)

Finalement, une intervention d'urgence a été réalisée le 31 décembre 2016 à la suite de la tempête du 30 décembre 2016, ainsi qu'une intervention de plus petite envergure qui a été réalisée en janvier 2017 suite à l'évènement de tempête du 11 janvier 2017. Les Figure 2-7, Figure 2-8 et Figure 2-9 présentent les dommages observés le 30 décembre et le 11 janvier respectivement. Selon M. Blais, l'enrochement réalisé en 2016, s'endommage à chaque tempête.



Figure 2-7. Dommages causés par les tempêtes du 30 décembre 2016



**Figure 2-8. Dommages causés par les tempêtes du 30 décembre 2016
(ch. approx. 0+440 à 0+500)**



Figure 2-9. Tempête du 11 janvier 2017 – débordement significatif sur la chaussée et au niveau du pont Touzel

2.1.1 ÉTAT ACTUEL DES OUVRAGES DE PROTECTION (ÉTAT DES LIEUX)

Secteur de la flèche littorale de Sheldrake (ch. 0+000 à 1+000) – côté sud (Golfe St-Laurent)

Le début du secteur à l'étude est marqué par la présence du pont Touzel (Ch. 0+000). Le pont en forme d'arche en acier repose sur des culées en béton. À l'ouest, la culée repose sur un roc affleurant bien visible dans le secteur (Figure 2-10). La culée est s'appuie sur la flèche littorale, elle est protégée par un enrochement présenté à la Figure 2-11. L'empierrement sous le pont qui protège la culée est de plus faible dimension (calibre environ 200-500 mm) comparativement aux pierres de carapace protégeant le talus routier du côté nord et sud (Figure 2-12). Il est à noter qu'une intervention récente a été réalisée pour protéger la culée est du côté sud et nord (Figure 2-11).



Figure 2-10. Pont Touzel, vue sur la culée ouest reposant sur le roc – (ch. 0+100)



Figure 2-11. Pont Touzel, vue sur la culée est (ch. 0+000) – Septembre 2018



Figure 2-12. Culée est du pont Touzel et empierrement de protection – (ch. 0+090)

L'enrochement sud de la flèche littorale, faisant face au golfe Saint-Laurent et protégeant la route 138, est un ouvrage de protection dont les caractéristiques sont variables en raison des nombreuses interventions réalisées au fil des ans. L'enrochement couvre la presque totalité de la flèche littorale, soit entre les chaînages 0+090 et 0+960. Les éléments suivants résument nos observations suivant la visite de septembre 2018 :

- De façon générale, l'enrochement qui longe la route 138 du côté sud est peu homogène (calibre carapace, pente, élévation crête) principalement en raison des nombreuses interventions réalisées au cours des années. Certaines encoches d'érosion sont présentes en crête (Figure 2-16) et sur les bases de nos observations et des observations obtenues, aucune clé en enrochement n'a été mise en place au fil des ans, et ce, peu importe sur l'ensemble du tronçon enroché;
- La distance entre la glissière existante et le haut de talus de l'enrochement (accotement derrière les glissières) varie entre 1,5 et 6 m pour une moyenne d'environ 3,7 m;
- L'information obtenue quant aux diverses interventions révèle qu'un géotextile ainsi que des sous-couches de pierre ont été mis en place en 1994, mais que les interventions d'urgence réalisées plus récemment ont uniquement visé l'ajout de pierres de carapace, à l'exception de l'intervention de 2011 où des sous-couches de pierres avaient été mises en place;
- Le calibre de la carapace demeure très variable le long de la route avec des tronçons où ceux-ci présentent un calibre très étalé 300-1 000 mm (Figure 2-13), tandis que d'autres secteurs présentent un calibre qui respecte plus les règles de l'art pour ce type d'ouvrage de protection 1 100-1 300 mm (Figure 2-15).

- La pente de l'enrochement varie le long du tronçon enroché (Figure 2-13, Figure 2-14 et Figure 2-15), lequel peut être décrit ainsi :
 - ch. 0+090 à 0+150 – 1V : 1,5 H;
 - ch. 0+200 à 0+300 – 1V : 3H;
 - ch. 0+340 à 0+750 – 1V : 2 à 2,5H;
 - ch. 0+0+800 à 0+960 – 1V : 1,75H.
- L'élévation de la crête de l'enrochement varie le long de l'ouvrage :
 - Elle est de l'ordre de 7,8 m près du pont Touzel (ch. 0+090 à 0+150);
 - Elle décroît entre le chaînage 0+200 à 0+400 diminuant de 7,2 à 5,7 m;
 - Elle augmente brièvement entre les chaînages 0+440 à 0+500 à 6,5 m pour se stabiliser ensuite entre les chaînages 0+550 à 0+700 vers l'élévation 6,1 m;
 - Elle augmente ensuite entre les chaînages 0+750 à 0+960 pour atteindre 9,9 m.
- Sur certains tronçons, des pierres de plus faible calibre (100-300 mm) ont été mises en place en crête en bordure de la pierre de carapace;
- Un tronçon de l'enrochement a subi une intervention qui a mené au relèvement de la crête et à la mise en place d'une pierre de carapace dont la pente diffère aussi quelque peu comparativement à la section adjacente (Figure 2-15);
- Des pierres ont été déversées à partir du haut du talus sur le dernier tronçon de l'enrochement (Figure 2-16). Ce tronçon présente une crête d'enrochement plus élevée que le secteur *ouest* et une pente un peu plus forte. Une seule couche de pierre de carapace est présente et semble relativement stable étant donné la présence de végétation plus abondante qui recouvre le talus (Figure 2-17).



Figure 2-13. Calibres de pierres en place et pente de l'enrochement (ch. 0+150) – septembre 2018



Figure 2-14. Pente de l'enrochement – vue vers l'ouest (ch. 0+400) – septembre 2018



Figure 2-15. Transition entre deux sections d'enrochement avec une différence au niveau de l'élévation de la crête et de la pente (ch. 0+440) – septembre 2018



Figure 2-16. Déversement de pierres de calibre étalé et encoche d'érosion en crête (ch. 0+800) – septembre 2018



Figure 2-17. Couche de pierres de carapace et présence abondante de végétation (ch. 0+960) – septembre 2018

Quant à la plage qui borde l'enrochement entre le pont Touzel et l'extrémité *est*, celle-ci présente une pente relativement forte ($\sim 1V : 9H$) de la haute-plage jusqu'à la zone d'avant-plage (Section 2.4.3.2) et on note une berme de plage (plage sèche) très étroite par endroit avec présence de végétation, laquelle devient absente sur un bon tronçon avant de réapparaître à l'extrémité *est* du secteur enroché (Figure 2-18). L'élévation de la plage demeure relativement basse ce qui diminue sa capacité à atténuer les vagues en période de tempêtes dès que le niveau d'eau devient plus élevé (Figure 2-19). Enfin, le profil de plage demeure assez constant le long de l'enrochement avec une largeur d'environ 20 à 30 m. Quant à la granulométrie, l'information est présentée à la section 2.4.3.3. Des variations saisonnières au niveau de la largeur et de la pente de la plage sont certes présentes suivant la dynamique hydro-sédimentaire du secteur, mais aucune donnée historique quant à l'évolution des profils de plage permet de se prononcer davantage sur cet aspect.



Figure 2-18. Pente de la plage devant l'enrochement – présence (ch. 0+150) et absence (ch. 0+300) de berme de plage (plage sèche)



Figure 2-19. Plage submergée à marée haute – dommages subis à la suite de la tempête du 30 décembre 2016 (ch. 0+300)

Secteur de la flèche littorale de Sheldrake (ch. 0+000 à 0+800) – côté nord (rivière Sheldrake)

Le talus routier situé du côté nord et faisant face à la rivière Sheldrake est, quant à lui, exposé à l'érosion induite par les courants fluviaux et les glaces. Un premier tronçon d'empierrement débute près de la culée est du pont. Celui-ci a été mis en place en bas de talus sous une végétation arbustive dense près du chaînage 0+120. Le calibre de pierres est relativement uniforme (800-1 000 mm). Une rampe en enrochement a aussi été construite afin de rejoindre le haut de talus près du chaînage 0+180 (Figure 2-20). L'accotement derrière la glissière laisse présager que l'intervention est récente et que la roche a été déversée à partir du haut du talus afin de construire la rampe, laquelle permet d'accéder à la pointe de sable et à l'enrochement de protection à proximité de la culée est (Figure 2-21).



Figure 2-20. Empierrement protégeant le bas de talus et rampe d'accès rejoignant la route 138 (ch. 0+100 à 0+180)



Figure 2-21. Jonction de la rampe en enrochement avec la route 138 – côté nord (ch. 0+180)

Du chaînage 0+200 à 0+320, l'enrochement est principalement présent en bas du talus sous une bande de végétation assez dense. Des signes de dégradation significative sont notables et s'expliquent entre autres en raison de la forte pente de l'ouvrage (stabilité du pied de l'enrochement) et du calibre relativement faible et étalé de la pierre de carapace (Figure 2-22). Le géotextile est quant à lui visible dans la partie supérieure de l'enrochement. Sa mise en place date sûrement de plusieurs années et aucune information disponible ne permet de documenter si certaines interventions de maintenance ont été réalisées au fil des ans. Nos observations suggèrent plutôt qu'il a été mis en place en même temps que la construction de la route 138. En somme, l'ouvrage ne procure plus une protection adéquate au niveau du talus routier et des signes d'érosion évidents sont visibles entre le pied de l'ouvrage et la strate arbustive. L'action des glaces durant la débâcle pourrait être la principale cause du décrochement des pierres qui recouvraient le géotextile en crête (Figure 2-22).



Figure 2-22. Dégradation significative de l'enrochement dans le bas du talus routier et signes d'érosion notables – côté nord (ch. 0+200 à 0+320)

Le tronçon d'enrochement suivant (0+320 à 0+420) présente un enrochement dont la carapace est un peu plus uniforme, mais qui présente tout de même différents signes de dégradation. Dans l'ensemble, ce tronçon d'enrochement est tout de même plus stable que le secteur plus en aval en raison de la bathymétrie plus favorable (pente et profondeur d'eau plus faibles). La végétation semble aussi plus présente à mi-talus ce qui semble indiquer que l'érosion est un peu moins importante dans ce secteur (Figure 2-23).



Figure 2-23. Empierrement qui présente certains signes de dégradation et dont le pied de l'ouvrage semble relativement stable (ch. 0+320 à 0+420)

Plus en amont entre les chaînages 0+420 à 0+540, l'enrochement présente un décrochement assez franc sur une longueur d'environ 120 m. Il en résulte que le talus demeure plus exposé, mais sans présenter d'encoches d'érosion trop sévères, malgré l'exposition du géotextile (Figure 2-24). La section suivante (ch. 0+540 à 0+700) comporte un enrochement qui atteint le haut de talus, lequel présente un calibre de pierres de carapace très variable. Des signes de décrochages ponctuels sont présents, mais la pente est relativement uniforme (Figure 2-25). La présence de végétation et l'allure générale de l'ouvrage suggèrent que ce tronçon enroché est relativement stable.

Enfin, l'empierrement atteint un remblai servant de descente pour les bateaux entre les chaînages 0+700 et 0+800. Malgré différents signes de dégradation notables, la protection semble adéquate et ce tronçon relativement stable (Figure 2-26).



Figure 2-24. Décrochement en milieu de pente (ch. 0+420 à 0+540)



Figure 2-25. Empierrement de protection (ch. 0+540 à 0+700)



Figure 2-26. Protection en enrochement près de la descente de bateau – ch. 0+700 à 0+800

Secteur est de la flèche littorale jusqu’au début de l’anse à Ernest (ch. 1+000 à 1+850)

Plus à l’est, la plage s’élargit quelque peu en s’éloignant de la flèche littorale. La première section de la plage est bordée par un talus de nature sablonneuse comportant quelques petits arbustes et de l’ammophile (Figure 2-28 et Figure 2-29). Un milieu dunaire est présent entre la berme de plage (plage sèche) et le bas du talus. La plage a une pente relativement constante de 1V : 12H et une largeur d’environ 40 m au chaînage 1+100. Des signes d’érosion du talus laissent présager une faible érosion liée à des événements de pluie entraînant le drainage des superficies vers la mer (Figure 2-27).

Le talus se prolonge jusqu’à la fin de la plage qui se termine par un cran rocheux au chaînage 1+900 (Figure 2-30). Au chaînage 1+400 à 1+600, la largeur de plage demeure d’environ 40 m avec une pente d’environ 1V : 12H. Le haut de la plage comporte un milieu dunaire vallonné et plus large entre la plage et la route 138 plus au nord (Figure 2-31).

Enfin, l’extrémité est du secteur d’étude local (ch.1+600 à 1+850) est influencée par la présence de crans rocheux prenant la forme d’épis naturels (Figure 2-31) et se terminant par une pointe de roc au chaînage 1+900. Des encoches d’érosion sont bien visibles au pied de la dune où la végétation est plus éparse. Ces encoches semblent avoir été causées par l’attaque des vagues en périodes de hauts niveaux d’eau, mais il est à noter que la pente de la dune est relativement forte ce qui ne contribue pas à la stabilité du pied de talus (Figure 2-32). Il est aussi plausible que le cran rocheux tout juste à l’est de ce secteur crée un effet de bout, exacerbant ainsi l’érosion du bas du talus adjacent à l’ouest.



Figure 2-27. Talus de nature sablonneuse avec faible érosion en crête - vue du haut de talus vers le sud-est (ch. 1+100) – septembre 2018



Figure 2-28. Berme de plage sèche et dune végétalisée (ch. 1+300)



Figure 2-29. Berme de plage sèche et dune végétalisée (ch. 1+400)



Figure 2-30. Cran rocheux à l'extrémité est de la zone d'étude locale (ch. 1+800).



Figure 2-31. Vue d'ensemble de la plage et du système dunaire séparant la route 138 du littoral (ch. 1+850)



Figure 2-32. Encoches d'érosion dans le bas du talus tout juste à l'ouest du cran rocheux (ch. 1+800)

2.2 CARACTÉRISATION DU RISQUE D'ÉROSION ET DE SUBMERSION CÔTIÈRE

La caractérisation du risque d'érosion et de submersion côtière le long de la flèche de Sheldrake a été produite par Drejza et al. (2014). La Carte 2-1 présente le niveau de risque à l'érosion pour la zone d'étude locale, ainsi que l'horizon temporel associé. Il est possible de constater qu'une section importante du tronçon sud de la 138 (ch. 0+000 à 0+900) présente un risque d'érosion bien présent en 2019. Il s'agit toutefois tel que décrit dans la section précédente, d'un secteur partiellement anthropisé avec la présence d'enrochement qui permet tout de même de contrôler l'érosion et d'éviter un recul trop marqué du talus routier sur lequel repose la route 138. Les observations présentées dans la section précédente confirment d'ailleurs clairement cette exposition à l'érosion pour le secteur de la flèche de Sheldrake.

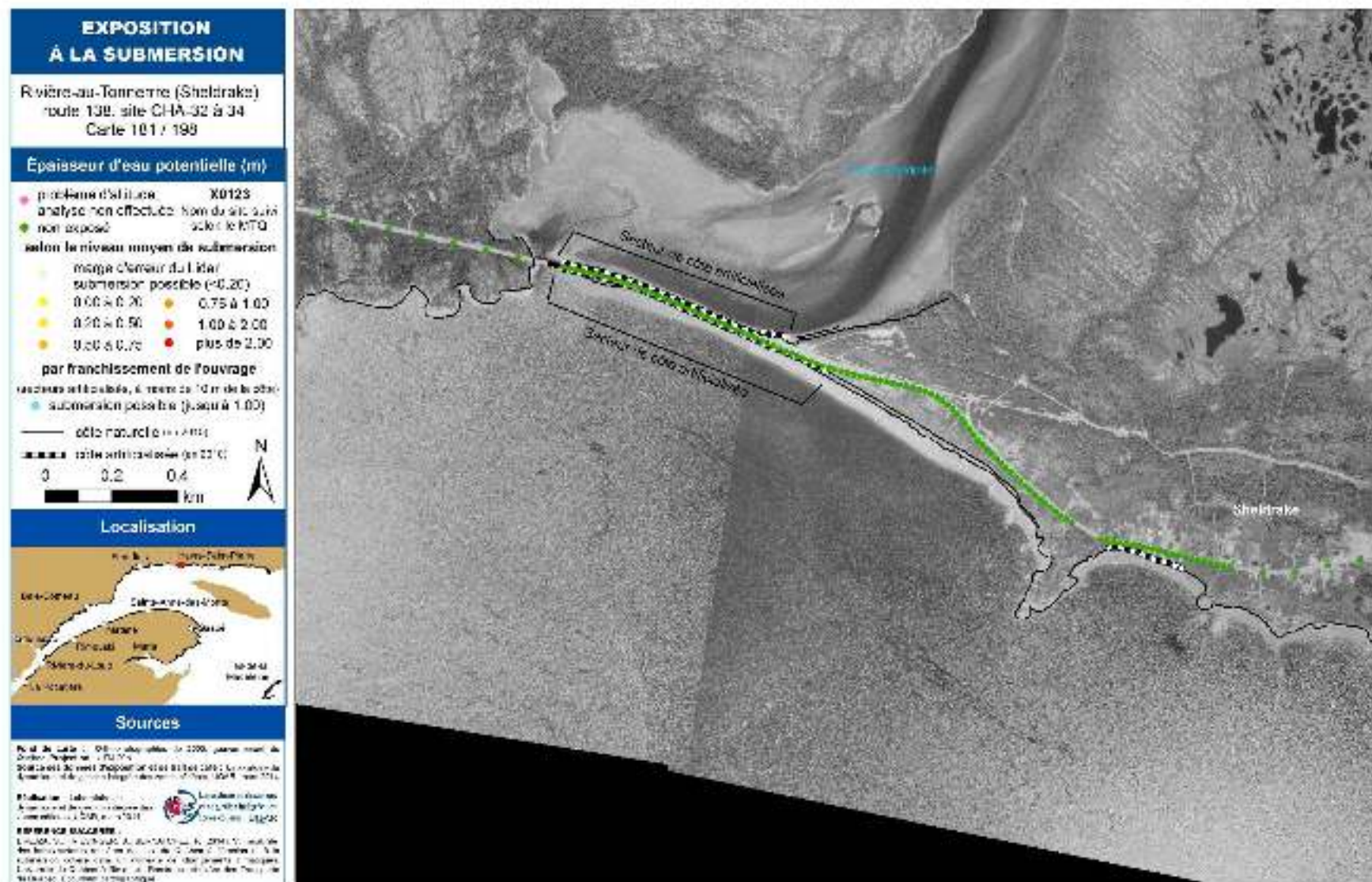
La Carte 2-2 présente pour sa part le niveau de risque à la submersion côtière le long de la flèche de Sheldrake, toujours selon Drejza et al. (2014). De manière générale, cette étude de 2014 démontre que la flèche de Sheldrake (ch.0+000 à 0+900) sur laquelle repose la route 138 n'est pas exposée à la submersion côtière. Ces résultats viennent par contre s'opposer aux observations recueillies et présentées dans la section précédente. En effet, sur la base des informations et photographies obtenues de la part du MTQ, il a été clairement démontré que le tronçon de la route 138 dans ce secteur a fait face à divers épisodes significatifs de débordements côtiers causés par le franchissement des vagues sur la chaussée, apportant gravier, cailloux et blocs durant ces épisodes de tempêtes. Les Figure 2-33 et Figure 2-34 en témoignent d'ailleurs très bien.



Figure 2-33. Débordement côtier induit par le franchissement des vagues (submersion côtière) – tempête du 11 janvier 2017



Figure 2-34. Débordement côtier induit par le franchissement des vagues (submersion côtière) – tempête du 13 novembre 2016



Carte 2-2 : Niveau d'exposition à la submersion côtière de la flèche de Sheldrake (zone d'étude locale) selon Drejza et al. (2014).

Une analyse visant à quantifier de façon plus détaillée le risque et le niveau de submersion de la flèche de Sheldrake a été réalisée en évaluant les débits de débordements franchissant la crête du revêtement en enrochement. La formule proposée dans le manuel EurOtop (2018) a été utilisée pour effectuer cette analyse :

$$q = 90 \cdot \exp \left[- \left(1.5 \frac{R_c}{H_{m0} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta} \right)^{1.3} \right] \cdot \sqrt{g \cdot H_{m0}^3}$$

où	q	=	débit de débordement [l/s/m]
	R_c	=	revanche [m]
	H_{m0}	=	hauteur de la vague au pied du remblai [m]
	γ_f	=	coefficient de rugosité [0.6]
	γ_β	=	coefficient d'obliquité des vagues [1.0]
	g	=	accélération gravitationnelle [9.81 m/s²]

Les conséquences du franchissement des vagues sur la route 138 peuvent représenter un risque plus ou moins important pour les automobilistes selon le degré de débordement observé et la limite de vitesse permise dans le tronçon à risque. Ce débit de débordement correspond à la quantité d'eau moyenne qui franchit la crête d'un ouvrage lors de la remontée des vagues sur celui-ci. Selon la configuration de l'ouvrage (pente, hauteur de la crête, % d'imperméabilité) et des conditions hydrauliques en vigueur, le débit de débordement est calculé et peut ensuite être comparé aux valeurs cibles du guide établi par le USACE (2006) pour différents types de structures et niveaux de dommages (Tableau 2-1). Le guide suggère un seuil de débit de débordement pour la sécurité structurale de 50 l/s/m comme seuil à partir duquel le début des dommages est observé, ainsi que des valeurs de référence pour la sécurité routière. Selon ce guide, à partir de 0,5 l/s/m, le franchissement des vagues peut s'avérer non sécuritaire pour la circulation routière peu importe la vitesse des automobilistes. Quant aux autres références sur le sujet fournissant des valeurs cibles (Allsop et al., 2008; Eurotop, 2018), celles-ci indiquent qu'une valeur de 10 l/s/m s'avère le seuil à partir duquel il devient non sécuritaire pour la circulation routière à basse vitesse (Tableau 2-2). Ces mêmes références indiquent par ailleurs des dommages structuraux au niveau des accotements des structures de protection non pavées pour des valeurs allant de 5 à 50 l/s/m.

Tableau 2-1 Valeurs théoriques (l/s/m) des débits de débordement pour assurer la sécurité routière et structurale (USACE, 2006).

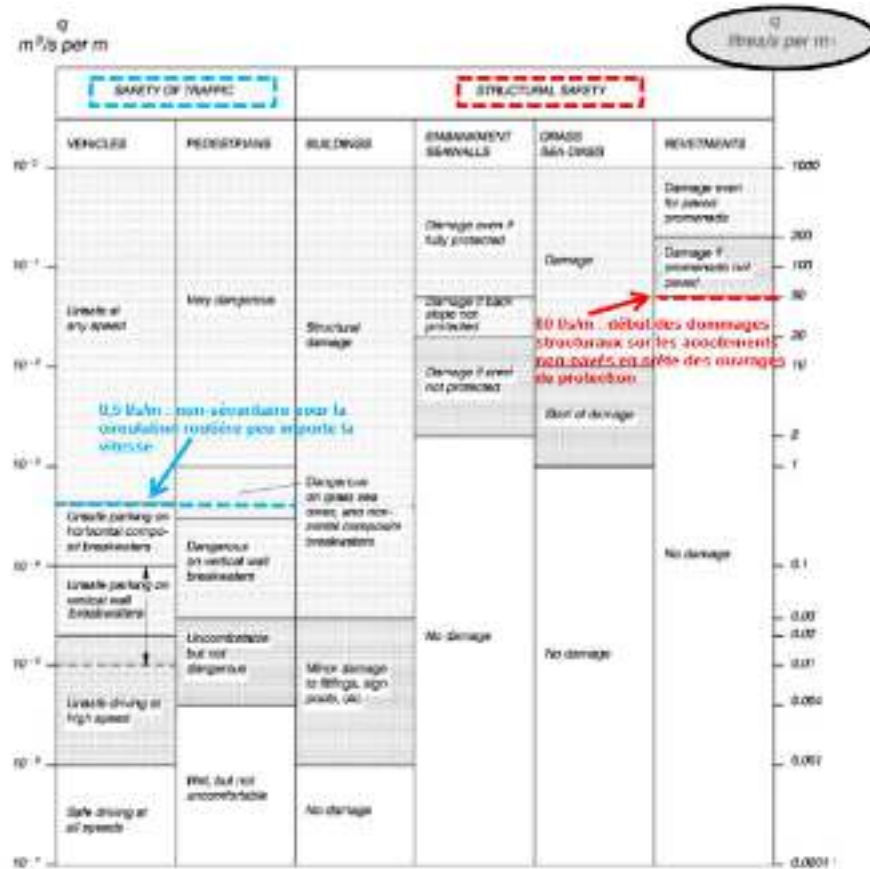


Tableau 2-2 Valeurs théoriques (l/s/m) des débits de débordement pour assurer la sécurité routière et structurale (Allsop et al., 2008; Eurotop, 2018).

DÉBIT DE DÉBOREMENT MAXIMUM RECOMMANDÉ	UK ¹ , q [l/m/s]	EU ² , q [l/m/s]
Piétons (sécurité publique)		
Non sécuritaire pour piétons non avisés	0,03 < q	0,3 < q < 0,6
Non sécuritaire pour piétons avisés	0,03 < q < 0,1	10 < q < 20
Non sécuritaire pour personnel expérimenté	1 < q < 10	20 < q
Véhicules (sécurité routière)		
Non sécuritaire pour conduite à vitesse élevée ou modérée	0,01 < q < 0,05	Critère de débris
Non sécuritaire pour conduite à vitesse faible	10 < q < 50	10 < q < 75
Revêtement (sécurité structurale)		
Aucun dommage	50 > q	0.1
Dommage aux promenades/accotements non pavés	50 < q < 200	5 < q < 10
Dommage aux promenades/accotements pavés	200 < q	Aucune donnée

- 1 interprété de Allsop et al., 2008
- 2 interprété de Eurotop 2018

Il est à noter que les valeurs seuils proposées dans la littérature demeurent relativement étendues et que celles-ci varient quelque peu selon les références consultées. Ceci témoigne en quelque sorte de l'incertitude associée à l'utilisation de ces valeurs cibles pour des fins de conception. En effet, pour palier, ou du moins réduire cette enveloppe d'incertitudes, une approche recommandée est de réaliser, lorsque possible, une analyse locale des événements de tempêtes historiques qui ont provoqué des dommages structuraux le long du talus routier et/ou des problèmes de circulation et d'évaluer, à l'aide des équations théoriques, les débits de débordement associés. Ceci permet, la plupart du temps, de quantifier les débits de débordement associés à ces événements de tempêtes et ainsi corrélés avec les dommages observés pour obtenir des intrants de conception plus fiables.

Pour le secteur de Sheldrake, puisque ces informations historiques quant aux dommages observés en périodes de tempêtes et aux interventions réalisées sont disponibles, les séries temporelles de vagues et de niveaux d'eau reconstituées dans le cadre de la description du milieu physique (WSP, 2019) ont été utilisées pour évaluer les débits de débordements moyens horaires pour la période 1994 à 2018. La revanche a quant à elle été évaluée en considérant une élévation variant entre 5,7 et 6,0 m pour la crête de l'enrochement. Ceci correspond aux élévations tel que relevées en septembre 2018. Par ailleurs, une surélévation locale du niveau d'eau au pied de l'ouvrage a été considérée lors d'événements extrêmes en raison de l'effet de déferlement des vagues (connu sous le terme « wave setup » en anglais). Les niveaux d'eau ont donc été majorés d'une hauteur correspondant à 10 % de la hauteur des vagues au pied du remblai routier pour tenir compte de ce phénomène (Kamphuis, 2000).

La Figure 2-35 présente les résultats obtenus. L'analyse révèle cinq événements où le débit de débordement a franchi les 50 l/s/m, considéré comme étant le seuil à partir duquel des dommages structuraux sont généralement observés le long des accotements non pavés en crête des ouvrages de protection côtiers. Par contre, dès que le niveau de protection fourni par l'ouvrage de protection n'est pas adéquat en raison des déficiences structurales, ce qui est le cas pour divers tronçons le long de la flèche de Sheldrake, il devient alors tout à fait plausible de voir des dommages apparaître le long d'un accotement non pavé pour des débits de débordement inférieurs à 50 l/s/m. Ainsi, un événement comme celui du 30 décembre 2016 dont le débit de débordement a été estimé à 32 l/s/m (Tableau 2-3) est un bon exemple en ce sens, puisque des dommages significatifs ont été observés à la suite du passage de cette tempête (Figure 2-7; Figure 2-8) et pour laquelle la tempête du 13 novembre 2016 avait possiblement fragilisé le littoral à plusieurs endroits quelques jours avant cet événement. Quant à la sécurité routière, la Figure 2-35 démontre clairement le nombre d'événements historiques pour lesquels le critère de 10 l/s/m a été dépassé. Selon l'Eurotop 2018 (Tableau 2-2), ce critère de sécurité routière pourrait aussi être défini sur la base des débris observés sur la chaussée à la suite du passage d'événements de tempêtes.

Le Tableau 2-3 présente un sommaire des quelques événements récents qui ont été documentés par des photos et pour lesquels des dommages et la projection de débris ont également été observés. Il est à noter que les événements de 2002 et 2008 auraient été les plus significatifs, suivi de la tempête de janvier 2017. Par contre, aucune information photo n'a pu être répertoriée pour les événements de tempêtes de 2002 et 2008.

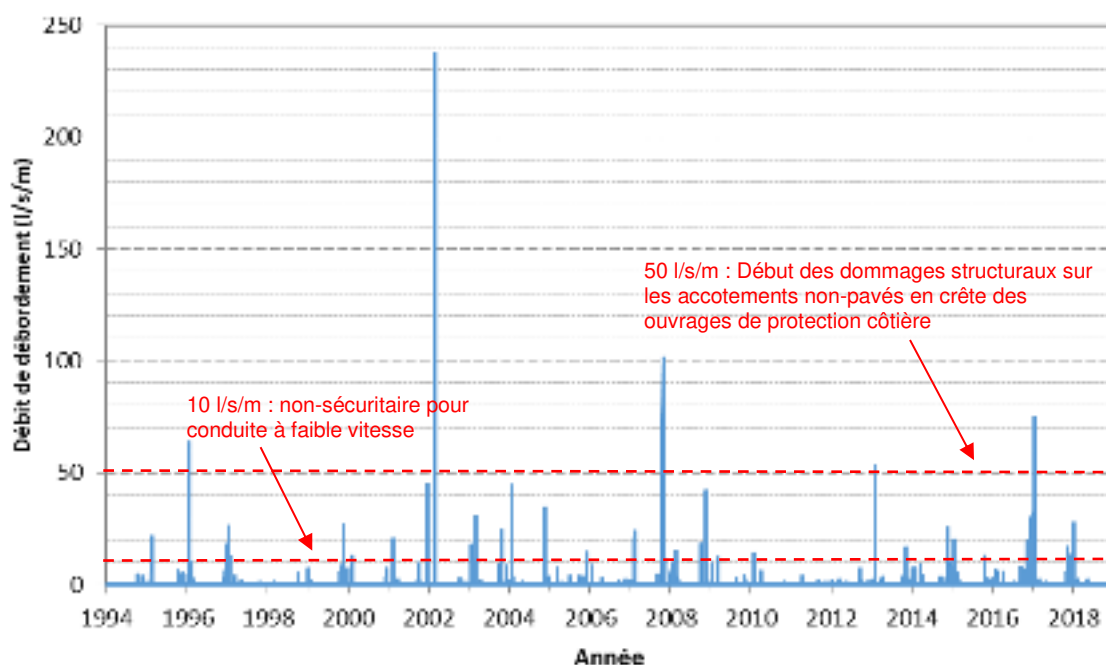


Figure 2-35 Débits de débordements moyens horaires reconstitués pour la période 1994-2018.

Tableau 2-3 Sommaire des événements de débordement observés récemment dans la flèche de Sheldrake le long de la R-138.

DATE	DÉBIT DE DÉBORDEMENT MAXIMAL (l/s/m)	NIVEAU D'EAU (m, NMM)	HAUTEUR DES VAGUES AU PIED DE L'ENROCHEMENT (m)	PHOTOS ET DOMMAGES
13 novembre 2016	3	1,4	2,7	
30 décembre 2016	32	3,0	2,6	 Figures 2-7 et 2-8
11 janvier 2017	74	2,5	3,3	

3 ANALYSE DE SOLUTIONS

3.1 REVUE GÉNÉRALE DES TECHNIQUES DE PROTECTION CÔTIÈRE

Une revue générale des techniques de protection côtière a été réalisée dans un premier temps afin d'exposer les principales options de protection et de stabilisation des rives en milieu côtier, lesquelles présentent différentes caractéristiques et conditions d'application devant être bien analysées avant tout projet d'ingénierie.

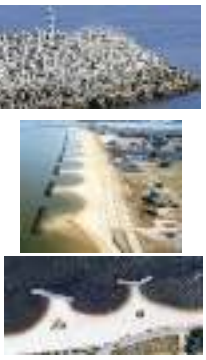
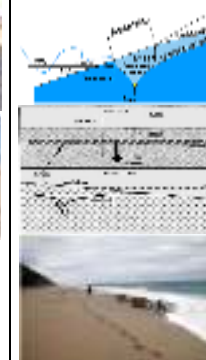
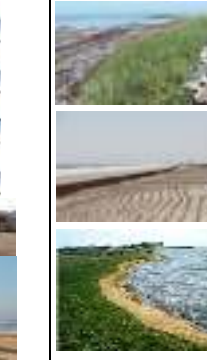
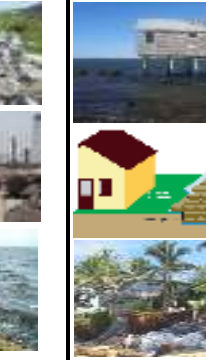
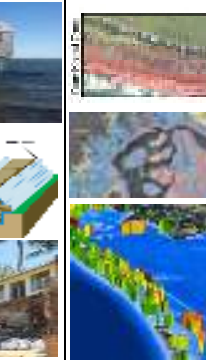
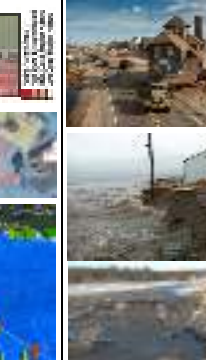
La revue de ces techniques est présentée sous forme d'un tableau résumé afin de favoriser sa compréhension et de rapidement permettre d'identifier certains éléments spécifiques propres à chacune des techniques tout en permettant une comparaison facile entre elles. Le Tableau 3-1 présente cette information.

3.2 SOLUTIONS PROPOSÉES POUR LA FLÈCHE DE SHELDRAKE

Une rencontre avec le MTQ s'est tenue le 5 septembre 2019 afin de présenter une analyse des solutions envisagées pour contrer le risque d'érosion et de submersion côtière le long de la route 138 dans la flèche de Sheldrake. L'objectif de cette rencontre était d'exposer aux intervenants les diverses solutions d'aménagement envisagées en dressant un bilan des avantages et inconvénients et en présentant les concepts d'aménagement projetés. De façon plus spécifique, cet exercice avait pour but d'en discuter avec l'équipe de projet du MTQ afin de recueillir leurs commentaires et ainsi prioriser uniquement les solutions jugées les plus adaptées en confrontant chacune d'elles aux différents critères de conception et enjeux identifiés au projet.

L'analyse des solutions a été présentée en deux volets, soit un premier volet présentant des alternatives de protection côtière de l'infrastructure routière et un deuxième volet présentant une analyse visant la relocalisation de la route 138 à l'extérieur de l'emprise actuelle.

Tableau 3-1 Sommaire des techniques de protection contre l'érosion et la submersion côtière

SOMMAIRE DES TECHNIQUES DE PROTECTION CONTRE L'ÉROSION CÔTIÈRE													
CLASSE	AMÉNAGEMENT DE PROTECTION AVEC STRUCTURES							AMÉNAGEMENT DE PROTECTION SANS STRUCTURE		ADAPTATION ET ACCOMODATION			AMÉNAGEMENT HYBRIDE
APPROCHE	Durcissement et fixation de la ligne de rivage			Stabilisation de la ligne de rivage				Stabilisation de la ligne de rivage		Mesures contre la submersion et l'inondation	Zonage	Retrait	Combinaisons
TYPE	Murs chasse-mer et murs de soutènement	Revêtements	Brise-lames	Épis et jetées	Plages perchées (suspendues)	Protection enfouies	Drainage	Recharges de plage	Végétalisation				
DESCRIPTION ET CARACTÉRISTIQUES	Les murs chasse-mer et les murs de soutènement sont des structures verticales qui fixent la position du trait de côte en protégeant de l'érosion et de la submersion côtière. Ces structures rigides sont généralement construites directement au pied de talus ce qui limite l'empiètement dans le milieu marin. L'intégration d'un déflecteur en crête d'ouvrage contribue à minimiser davantage le franchissement des vagues.	Les revêtements sont des structures rigides et semi-perméables érigées en pente nécessitant le reprofilage du talus. Des pentes de 1.5H:1V à 2.0H:1V sont généralement visées ce qui occasionne soit de l'empiètement dans le milieu marin ou le recul du trait de côte. Les revêtements sont dans la plupart des cas construits en enrochement et composés de couches de pierres de divers calibres.	Les brise-lames sont des structures conçues pour dissiper l'énergie des vagues plus au large, loin des zones à protéger. Ils sont généralement construits en pierres de gros calibre et peuvent être soit de type attaché (à la côte) dans le cas des aménagements portuaires et marins ou de type détaché (de la côte) et positionnés plus au large, dans la zone de déferlement, parallèlement au rivage, pour la protection des berges. Les brise-lames détachés sont généralement construits en groupe et favorisent le dépôt de sédiments entre la rive et les structures favorisant la stabilisation de la plage et de la ligne de rivage.	Les épis et jetées sont des structures attachées à la rive et disposées de façon perpendiculaire au trait de côte. Ces ouvrages sont la plupart du temps construits en groupe (champ d'épis) et captent une fraction de la dérive sédimentaire favorisant ainsi la stabilisation et le maintien de la plage. Les épis peuvent être construits avec divers matériaux, mais se composent plus fréquemment de pierres et leur mise en place est souvent combinée avec une recharge de plage.	Le principe de plage perchée consiste à mettre en place une structure d'appui submergée ou non dans le profil de la plage afin de supporter et de retenir le sable de la portion supérieure de la plage. Cette structure vient en quelque sorte remplacer artificiellement le bas du profil de plage. Malgré la structure d'appui, la plage peu se faire éroder en conditions de tempêtes. Ce processus, contrairement à un profil de plage classique où le sable est libre d'être transporté à nouveau dans le haut de plage, est irréversible (perte nette) dans le cas d'une plage perchée.	Cette approche favorise l'esthétisme et l'attrait récréatif des lieux en proposant un ouvrage de protection enfoui, souvent dans le haut de plage au pied du talus. À noter que ces ouvrages ne favorisent pas le maintien de la plage. Toutefois, suivant l'érosion de la plage, les structures enfouies continuent d'assurer la protection des berges en attendant la réhabilitation et le rechargement du site. Les murs et les revêtements peuvent servir de structures enfouies.	Cette technique consiste à abattre la nappe phréatique localement sous la plage, parallèlement à la ligne de rivage. Le pompage en continu de la nappe phréatique favorise l'accrétion au-dessus de la zone drainée où les sédiments mis en suspension dans la zone inférieure de déferlement ont tendance à y être déposés. Ces conditions augmentent la fraction de l'eau des vagues évacuée par percolation plutôt que par ruissellement sur la plage, ce qui limite la perte de sédiments. La non-saturation des sédiments de plage limite leur mise en suspension.	La recharge de plage consiste à ajouter des matériaux sacrificiels (sable, gravier, cailloux, galets) le long de la plage. Lors des tempêtes, ces matériaux se font éroder au lieu d'éroder directement la dune ou le talus. L'effort de suivi et d'entretien (recharges récurrentes) est donc un élément clé à la réussite à long terme d'une recharge de plage. La disponibilité en quantité et en qualité d'une source (terrestre ou marine) de matériel de recharge à proximité est un enjeu important. La recharge est souvent combinée à d'autres techniques de protection côtière et contribue au maintien d'un aspect plus naturel au littoral en plus de répondre à divers enjeux environnementaux et récréationnels.	La végétalisation est une technique de stabilisation des berges efficace dans les zones où les sollicitations hydrodynamiques sont plus faibles. L'utilisation des végétaux permet de capter les sédiments et d'engraisser naturellement les plages en plus de dissiper l'énergie des vagues et de réduire les effets des tempêtes. Par contre, en présence de fortes tempêtes et d'une dynamique des glaces importante, la végétalisation à elle seule ne suffit pas pour contrer l'érosion. Elle est donc souvent intégrée à d'autres techniques de protection ce qui favorise la conservation de la qualité des habitats côtiers et la valeur écologique et esthétique de la côte. L'ajout de végétation est souvent associé aux techniques du type "Building with Nature", "Nature-based Solution" et "Living Shoreline".	Ce type de mesures vise à adapter les infrastructures et les bâtiments localisés dans les zones à risque afin d'éliminer ou de réduire les risques associés à la submersion et à l'érosion côtière. Les infrastructures à risque peuvent par exemple être rehaussées ou simplement renforcées pour résister à des événements extrêmes. Ces mesures d'adaptation peuvent être temporaires (pour se protéger d'un événement spécifique) ou permanentes. Une analyse coût-avantages est généralement requise pour évaluer la pertinence de ce type de mesure selon la valeur des infrastructures à protéger.	Le zonage consiste à implémenter et faire respecter des lois visant à limiter, contrôler ou interdire le développement résidentiel ou commercial dans les zones à risque d'érosion et de submersion. Les zones à risque sont habituellement identifiées dans un premier temps et par la suite, différentes lois et réglementations sont mises de l'avant pour contrôler le développement à l'intérieur de ces zones. Ces lois et règlements peuvent aussi spécifier des critères de conception plus strictes pour le développement en zone à risque.	Le retrait consiste à relocaliser physiquement une infrastructure ou un bâtiment à l'extérieur d'une zone à risque d'érosion ou de submersion. Il peut dans certains cas être plus économique à long terme de se retirer de la zone à risque que d'investir dans l'aménagement de structures de protection côtières qui n'éliminent pas complètement les risques et qui nécessitent habituellement de l'entretien.	L'aménagement hybride consiste à tout simplement combiner différents types de techniques de protection. Par exemple, la réalisation d'un revêtement en empièchement combiné à une recharge de plage avec l'ajout de végétalisation en haut de talus. Le retrait et la surélévation d'une infrastructure routière combinée à une mesure de protection telle qu'un revêtement ou un mur chasse-mer s'avèrent aussi un aménagement hybride qui regroupe différentes mesures de protection.
GÉOMÉTRIE/ CONFIGURATION	- Vertical - Courbe - Pente linéaire abrupte - Terrasses (palliers)	- Pente linéaire - Terrasses (palliers) - Double-pente	- Détaché, rectiligne parallèle à la rive - Attaché à la rive de géométrie variable - Détaché et submergé (récif artificiel) - Configuration simple ou en série	- Rectiligne avec ou sans angle - En forme de "L" - En forme de "T" - Curviligne - Configuration simple ou champ d'épis	- Structure de retenue trapézoïdale - Parfois combinée à des épis submergés	- Enfouis sous la berme de plage - Parallèle au trait de côte - Vertical ou en pente - Recouvert de matériaux de plage (dune)	- Drain parallèle à la plage - Pompage de la nappe phréatique en permanence - Nécessite granulométrie spécifique	- Profil de construction trapézoïdale - Profil à l'équilibre (après construction)	- Plantation en palliers - Profil à l'équilibre (après construction)	N/A	N/A	N/A	N/A
ATTRIBUTS	- Déflecteur en crête - Trottoir/promenade en porte-à-faux - Ancrage et tirants à l'arrière	- Insertion de végétaux - Combinaison de matériaux	- Longueur, espacement et élévation (submergé ou immergé) - Perméabilité/transmission des vagues - Distance de la côte et longueur d'intervention - Angle par rapport aux trains de vagues - Recharge conjointe recommandée	- Longueur, espacement et élévation (submergé ou immergé) - Perméabilité - Angle par rapport aux trains de vagues - Recharge conjointe recommandée - Longueur d'intervention	- Profondeur/élévation de la crête - Perméabilité/transmission des vagues - Combinée à une recharge de plage	- Fréquence d'attaque des vagues - Réflexion - Débit de débordement - Système d'ancrage peut être requis	- Puissance du système de pompage - Diamètre des conduites de drainage - Profondeur du système de drains - Longueur - Réutilisation des eaux pompées	- Insertion de végétaux - Utilisation de divers matériaux de recharge - Combinée à d'autres méthodes de protection	- Protection contre déchaussement - Utilisation de diverses techniques de stabilisation - Choix des espèces				
AVANTAGES	- Fixe la position du trait de côte - Empiètement dans le milieu marin réduit - Peut protéger de l'érosion et de la submersion si bien conçu - Relativement esthétique et favorise les aménagements récréotouristiques - Nécessite peu d'entretien si bien conçu	- Ouvrages très répandus (faciles à construire) - Coûts de construction moins élevés par rapport à d'autres structures - Fixe la position du trait de côte - Ouvrages assez faciles à réparer et à adapter - Réduit la réflexion des vagues p/r aux murs verticaux	- Dissipe l'énergie des vagues plus loin de la côte - Favorise l'accrétion des sédiments derrière les ouvrages - Conserve partiellement l'aspect naturel du littoral - Les brise-lames peuvent servir d'habitat pour certaines espèces - Peut améliorer la durabilité et la performance d'une recharge de plage	- Favorise l'accrétion des sédiments sur le littoral - Ouvrages adaptables (budget, matériaux, envergure) - Conserve partiellement l'aspect naturel du littoral - Peut améliorer la durabilité et la performance d'une recharge de plage	- Améliore la durabilité d'un projet de recharge de plage - Option attrayante pour le récréotourisme (maintient de la plage) - Possibilité d'avoir des structures d'appui submergées (aspect visuel)	- Option attrayante pour le récréotourisme (structures cachées) - Aucun obstacle visible sur la plage - Réduit les risques de dommages suivant l'érosion importante de la plage	- Maintien de l'aspect naturel de la plage - Peut améliorer la durabilité et la performance d'une recharge de plage	- Favorise le maintien de l'aspect naturel de la plage - Possibilité d'ajuster la granulométrie des matériaux pour augmenter la durabilité - Peut être facilement combiné à d'autres techniques de protection - Peut contribuer à l'accrétion de plages à l'extérieur de la zone d'intervention - Ne durci pas le trait de côte (résilience)	- Méthode douce qui stabilise le littoral et améliore son aspect naturel - Favorise la biodiversité de l'écosystème côtier - Peut être favorablement combiné à d'autres mesures de protection - Possibilité de faire des projets communautaires	- Évite de modifier l'environnement côtier - Peut faire partie d'une stratégie d'adaptation à long terme - Maintien d'infrastructures/bâtiments en milieu côtier	- Contrôle le développement dans les zones vulnérables - Permet d'agir en prévision d'une augmentation des risques - Évite la construction d'ouvrages de protection mal adaptés	- Atténuation complète des risques côtiers - Nul besoin de protéger le littoral de l'érosion et de la submersion - Aucun besoin d'entretenir des structures de protection côtières - Solution viable à long terme	- Peut atténuer les désavantages de certaines techniques de protection - Permet de mieux adapter les mesures aux sites à protéger - Contribue à intégrer des mesures de compensation environnementale - Peut améliorer l'aspect esthétique des ouvrages de protection
INCONVÉNIENTS	- Coûts de construction élevés - Favorise l'érosion de l'estran au pied du mur (réflexion des vagues) - Augmentation de l'érosion aux extrémités (effet de bout) - Artificialise le littoral - Ouvrage peu résilient (difficile à adapter/réparer)	- Ne protège pas de la submersion (à moins d'être combiné à une digue) - Accentue l'érosion de l'estran au pied de l'ouvrage (réflexion des vagues) - Augmentation de l'érosion aux extrémités (effet de bout) - Augmentation de l'érosion aux extrémités (effet de bout) - Plus d'empiètement dans le milieu marin p/r à un mur - Enjeux d'approvisionnement en pierres de qualité	- Coûts de construction élevés - Défis de construction importants - Empiètement important dans le milieu marin - Conception complexe en milieu macro-tidal	- Introduit des obstacles transversaux sur la plage - Nécessite une dérive sédimentaire dominante pour être efficace - Peut occasionner des déficits sédimentaires ailleurs	- Introduit des obstacles longitudinaux sur le profil de plage - Les pertes nettes de sédiments de plage sont irréversibles - Enjeux d'approvisionnement en sédiments de granulométrie adéquate - Efforts d'entretien relativement importants - Superficie d'empiètement dans le milieu marin importante	- Efforts d'entretien relativement importants - Superficie d'empiètement importante - Coûts de construction élevés (protections multiples) - Aucune structure pour capter les sédiments	- Approche assez peu répandue - Requiert un système actif (système de pompage) - Enjeux techniques en période de gel	- Enjeux d'approvisionnement en matériaux (granulométrie et volume) - Besoins de suivi et d'entretien rigoureux - Superficie d'empiètement dans le milieu marin importante - Coûts de construction importants - Nécessite une zone tampon pour assurer la dynamique de la plage	- Efficacité limitée pour les événements extrêmes (vagues de tempête) - Doit souvent être combiné à d'autres mesures de protection - Nécessite d'adapter les infrastructures/bâtiments - Mesures d'apadation parfois peu esthétiques	- Risque résiduel souvent supérieur à la moyenne (zone vulnérable) - Nécessite d'adapter les infrastructures/bâtiments - Mesures d'apadation parfois peu esthétiques	- Réduction des superficies constructibles (pertes foncières) - Perte de valeur de terrains/résidences - Enjeux d'uniformité des règlements de zonage - Acceptabilité sociale parfois difficile	- Investissement initial important - Acceptabilité sociale parfois difficile - Besoin de trouver des terrains adéquats pour la relocalisation	- Augmente généralement le coût des interventions - Peut augmenter les superficies d'empiètement (milieu marin)
ILLUSTRATION DU CONCEPT													
MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION	- Béton - Poutrelles de bois - Acier (mur de palplanches) - Gabions de roches	- Pierres - Acier (murs de palplanches) - Matelas articulés en béton - Géotubes - Blocs de béton partiellement enfouis	- Pierres - Géotubes - Blocs de béton préfabriqués (dolos) - Bois	- Pierres - Acier (murs de palplanches) - Poutres de bois - Béton - Géotubes	- Pierres - Béton - Géotubes - Sable, gravier, galet (recharge de plage)	- Pierres et gabions de roches - Béton - Géotubes - Géosacs - Blocs de béton - Tubes en matériaux biodégradables	- Acier - Plastique	- Sable (granulométrie variable) - Gravier/cailloux - Galets/pierres rondes - Combinaison matériaux	- Plantes et arbustes - Fascine, fagot de branches - Couverture contrôle érosion	N/A	N/A	N/A	N/A

3.2.1 REVUE DES SOLUTIONS RETENUES

Au cours de la rencontre du 5 septembre 2019, différentes considérations ont été présentées à l'équipe de projet du MTQ afin d'identifier les solutions dites envisageables pour le présent site d'étude. Ces considérations ont été établies sur la base des principaux enjeux et constats présentés précédemment (section 2), ainsi qu'en confrontant différents critères techniques et environnementaux spécifiques au site d'étude. **Ces dernières se résument ainsi et confirment clairement que le statu quo (non-intervention) n'est pas jugé acceptable pour le tronçon de route à l'étude :**

- L'élévation du pont Touzel et de la route 138 entre le chaînage 0+090 et 0+800 s'avère trop basse. En conditions de tempêtes avec la présence d'une surcote et de fortes vagues, la remontée des vagues sur l'enrochement (versant sud) entraîne du franchissement (débordement) sur la chaussée, incluant la projection de gravier, cailloux et de blocs plus grossiers (Figure 2-7, Figure 2-8, Figure 2-33 et Figure 2-34). Ce type d'évènement a été observé à plusieurs reprises dans ce secteur au cours de la période plus récente ce qui a nécessité des interventions d'urgence de la part du MTQ afin de nettoyer la chaussée pour rétablir la circulation et assurer la sécurité routière le long de ce tronçon routier. Le niveau de vulnérabilité de la R-138 est très élevé en 2020 et il est anticipé que l'impact des changements climatiques (rehaussement du NMM, augmentation de la fréquence des tempêtes, période d'englacement réduite) viennent exacerber cette problématique de submersion côtière dans les prochaines années, augmentant par le fait même le risque pour la sécurité routière et la fréquence d'intervention par le MTQ. Ainsi, le coût de maintenance de la R-138 dans ce secteur ne fera qu'augmenter dans le futur.
- Malgré la présence d'enrochements de protection entre le pont Touzel et l'extrémité est de la flèche (0+950), le talus routier exposé aux aléas côtiers (versant sud) a été fortement attaqué par les vagues de tempêtes à diverses occasions au cours des dernières années, ce qui a également nécessité des interventions d'urgence de la part du MTQ afin de procéder à des travaux de remblayage et de mise en place d'enrochements temporaires (Figure 2-4, Figure 2-6 et Figure 2-8). Le calibre d'enrochement en place (~1100-1300 mm) le long de ce tronçon n'est pas suffisant pour résister aux sollicitations induites par les vagues de tempêtes. L'absence d'une clé au pied des enrochements contribue également à l'instabilité des structures. Finalement, le fait que plusieurs interventions temporaires ont été réalisées à différentes périodes au cours des dernières années fait en sorte que la géométrie des enrochements de protection (calibre carapace, pente, élévation crête, etc.) demeure très variable le long de la flèche de Sheldrake, ce qui favorise l'instabilité des ouvrages de protection dans son ensemble.
- Les impacts engendrés par les interventions d'urgence induites par la problématique d'érosion et de submersion côtière le long de ce corridor routier se résument ainsi :
 - Sécurité routière : la projection de sable, gravier, cailloux et blocs plus grossiers sur la chaussée lors des épisodes de tempêtes, incluant l'englacement de la chaussée en période hivernale en raison du franchissement par les vagues, engendre des conditions routières difficiles et non sécuritaires pouvant mener à la fermeture temporaire (partielle ou complète) de la route 138 (ch. 0+000 à 1+000).

- Impact socio-économique : ce tronçon de route est le seul lien routier permettant l'alimentation en pétrole, en nourriture, ainsi que pour la circulation de patients entre les centres de santé. Toute la population à l'est de la rivière Sheldrake est dépendante de ce lien routier unique.
 - Impacts environnementaux : il s'agit d'un corridor routier très vulnérable et fragile lors de tempêtes maritimes et qui nécessite la plupart du temps des travaux d'urgence en berge.
 - Coût d'entretien : la fréquence des bris et des dommages induits par les événements de tempêtes qui occasionnent du débordement sur la chaussée est de plus en plus fréquente comparée aux années antérieures. Un coût approximatif d'environ [REDACTED] est le budget requis pour assurer l'entretien et le maintien de ce tronçon routier. Ce montant d'entretien reflète les coûts estimés par le MTQ en procédant à des travaux en régie interne, ce qui permet de croire que les coûts seraient beaucoup plus significatifs s'ils avaient été réalisés par un entrepreneur externe.
- La plage bordant le tronçon de route de la 138 et qui forme une partie de la flèche de Sheldrake est en constant recul depuis 1970. En effet, la ligne de rivage présente un recul constant depuis 1967 à l'exception d'un seul tronçon pour lequel des petites avancées ont été observées historiquement en raison de la dérive littorale dominante qui transporte des sédiments en direction *est* (Drejza et al., 2014). Ainsi, les apports sédimentaires à la cellule hydrosédimentaire, exacerbée par la présence de l'enrochement, ne permettent pas de recharger et de stabiliser de façon naturelle la flèche littorale et les terrasses de plages adjacentes. Ce constat confirme que la cellule hydro-sédimentaire est en déficit depuis plusieurs années.
 - La plus forte érosion est observée au niveau de la ligne de rivage longeant la flèche littorale et ce, principalement pour la période récente 2005-2013 (~15m). La plus faible élévation des profils de plage qui longent l'enrochement dans ce secteur semble en partie expliquer ce recul plus prononcé. La pente de plage relativement forte témoigne en effet d'un environnement très dynamique où l'énergie des vagues est significative. Les sédiments n'ont pas la possibilité de s'accumuler, entre autres, en raison de l'artificialisation de la flèche (réflexion des vagues), et le déficit sédimentaire observé au niveau de la cellule de Sheldrake résulte à une érosion constante depuis plusieurs années.
 - Du côté nord de la flèche (versant nord), bien que les niveaux d'eau soient contrôlés par la marée, on retrouve la présence de glaces et de courants fluviaux capables d'éroder le talus routier et de modifier la position du chenal principal de la rivière. Les enrochements protégeant le talus routier dans ce secteur présentent des signes évidents d'instabilité principalement occasionnés par les sollicitations par les glaces (débâcle) et dans une moindre mesure, par la combinaison des courants de marée et fluviaux (Figure 2-22 et Figure 2-24). La forte pente des structures de protection et l'absence de clé en raison de la bathymétrie peu favorable contribuent aussi à la détérioration des enrochements de protection dans ce secteur.

Parmi les différentes solutions analysées et présentées lors de la rencontre du 5 septembre, une discussion plus approfondie sur la base des considérations mentionnées ici-haut, ainsi que des avantages et inconvénients de chacune des alternatives a permis de converger et de prioriser uniquement le développement de solutions visant la relocalisation de la route plus au nord à l'opposé de prioriser des solutions de protection côtière en conservant le tronçon routier dans son axe actuel. **Les trois solutions retenues pour le développement des plans d'avant-projet préliminaire correspondent aux solutions suivantes :**

- **SOLUTION C - VARIANTE C1** : Tracé actuel aux approches avec un pont de 1 100 m tout juste au nord de l'axe routier existant, Pont Touzel démantelé
- **SOLUTION C - VARIANTE C2** : Contournement amont de 2,7 km avec un pont de 520 m de longueur traversant sur l'île, Pont Touzel démantelé
- **SOLUTION C - VARIANTE C3** : Contournement amont de 6,6 km avec un pont de 210 m de longueur à proximité des lignes à haute tension et une route de raccordement de 1000 m, Pont Touzel démantelé

Par ailleurs, malgré les nombreux enjeux et désavantages associés au développement de solutions de protection côtière pour la flèche de Sheldrake, deux solutions (Solutions A et B) ont tout de même été discutées et analysées sommairement durant la rencontre du 5 septembre dernier. Cependant, il a été convenu avec le MTQ, durant cette rencontre, d'uniquement conserver ces deux solutions de protection côtière pour fins de comparaison avec les solutions retenues (variantes C1, C2 et C3). Ainsi, celles-ci seront analysées sommairement et présentées lors de la réalisation de l'analyse comparative multicritère (section 4.2) afin de fournir un tableau comparatif plus complet au MTQ, mais ne feront pas l'objet d'une analyse plus détaillée ni de la réalisation de plans d'avant-projet préliminaire. Le Tableau 3-2 ici-bas résume le choix des solutions qui seront conservées pour l'analyse comparative multicritère, ainsi que les trois solutions parmi elles qui ont été retenues pour une analyse plus exhaustive et le développement de plans d'avant-projet préliminaire.

Tableau 3-2 Solutions à l'étude pour réduire la problématique d'érosion et de submersion côtière le long de la R-138 dans la flèche de Sheldrake

SOLUTIONS À L'ÉTUDE	INCLUS DANS L'ANALYSE MULTICRITÈRE	RÉALISATION D'UNE ANALYSE DÉTAILLÉE ET DE LA PRODUCTION DES PLANS D'AVANT-PROJET PRÉLIMINAIRE
Statu Quo (non-action)	OUI	N/A
SOLUTION A – Protection Côtière Enrochement nord et sud, mur de palplanche et rehaussement de la route 138	OUI	NON
SOLUTION B – Protection Côtière Brise-lames détachés au large, réfection enrochement nord et sud, recharge de plage et rehaussement de la route 138	OUI	NON
SOLUTION C – VARIANTE C1 Relocalisation de la route 138 Tracé actuel aux approches avec un pont de 1100 m tout juste au nord de l'axe routier existant, pont Touzel démantelé (retenue)	OUI	OUI
SOLUTION C – VARIANTE C2 Relocalisation de la route 138 Contournement amont de 2,7 km avec un pont de 520 m passant sur l'île, pont Touzel démantelé (retenue)	OUI	OUI
SOLUTION C – VARIANTE C3 Relocalisation de la route 138 Contournement amont de 6,6 km avec un pont de 210 m à proximité des lignes à haute tension et une route de raccordement de 1000 m, pont Touzel démantelé (retenue)	OUI	OUI

Les principales raisons qui justifient l'exclusion des solutions de protection côtière (Solutions A et B) pour la flèche de Sheldrake, tel que présenté lors de la rencontre du 5 septembre, sont les suivantes :

- De façon générale, durcir le littoral dans un milieu aussi énergétique et dynamique n'est pas adapté à la dynamique côtière et aucunement résilient aux impacts des changements climatiques à long terme, en plus des impacts à prévoir sur la dégradation du milieu adjacent (amplification érosion). De plus, aucune solution du type « douce » (ex: recharge de plage, végétalisation) ne peut à elle seule assurer une protection adéquate et sécuritaire de la R-138.
- Étant donné le niveau de submersion côtière significatif observé en période de tempêtes, toutes les interventions envisagées visant à conserver le corridor routier actuel devront considérer le rehaussement du pont Touzel et de la route 138 sur l'ensemble du tronçon. Ce rehaussement de l'ordre de 5 à 7 m présente les principaux enjeux suivants :

- Évaluer la faisabilité de rehausser le pont Touzel (condition actuelle du pont, maintien de son intégrité structurale, pont temporaire durant les travaux, fondation de la pile du côté est, etc.);
 - Conserver la circulation en alternance sur la route 138 durant les travaux;
 - Nécessite de reconstruire la fondation de la route dans son ensemble (environ 1km) et de protéger celle-ci avec un mur de palplanche et enrochements du côté nord et sud pour assurer un niveau de protection qui permet de conserver l'intégrité de la fondation de la route à long terme (sécurité routière).
- Les seules solutions envisageables pour maintenir un lien routier sécuritaire dans le corridor actuel (*hold the line*) nécessitent des ouvrages de protection de type « durs », lesquels vont dans tous les cas, nécessiter un certain niveau de maintenance durant leur vie utile en plus de présenter un risque résiduel élevé étant donné la vulnérabilité du site. Peu importe la solution côtière retenue pour conserver le lien routier dans sa position actuelle, la mise en œuvre de celle-ci sera complexe et coûteuse.
 - D'après la cartographie du zonage du risque produit par l'UQAR, ceux-ci considèrent que la flèche demeure un secteur « inconstructible ».
 - À plus long terme et considérant le caractère relativement imprévisible de certaines variables environnementales en lien avec les changements climatiques, maintenir un lien routier sur une flèche littorale engendre certes un risque à bien des égards en plus des impacts sur le milieu côtier en raison du risque résiduel toujours présent post-construction (sécurité routière, impacts socio-économiques, coupure d'accès aux services d'urgence, dégradation du milieu côtier et impacts environnementaux, etc.).
 - Sur la base des enseignements qui découlent des tempêtes historiques et de l'adoption d'une stratégie de gestion intégrée du littoral, il s'avère que la relocalisation est la seule solution qui peut être qualifiée de « définitive » pour le présent site d'étude. Un changement d'approche des risque côtiers est perceptible au Québec et la relocalisation s'inscrit dans cette optique, soit la notion de reculer les infrastructures clés à une distance suffisante de la côte afin d'enrayer le risque encouru à court et long terme. Si on développe davantage ce concept, l'option de durcir le littoral et de conserver la ligne dure (*hold the line*) devrait uniquement être envisagée lorsque la relocalisation n'est pas possible.

Les prochaines sections présentent un résumé des critères de conception retenus pour le développement des solutions à l'étude afin de rencontrer les objectifs et critères d'aménagement visés.

3.3 CRITÈRES DE CONCEPTION

3.3.1 GÉNIE ROUTIER ET OUVRAGE D'ART

Les aménagements routiers ont été réalisés selon la norme du MTQ *Tome 1 - Conception routière* (2019). De façon plus spécifique, le contournement de la route actuelle et de l'estuaire de la rivière Sheldrake nécessite une première série de critères en lien avec la conception routière et une seconde pour la conception de l'ouvrage d'art pour la traversée de la rivière Sheldrake.

Pour la route, les critères de conception utilisés sont les suivants :

- Route nationale – DJMA 500-2000
- Vitesse de conception 100 km/h

Selon les normes du MTQ, ces critères nous ont permis de fixer les paramètres suivants :

- Largeur de voie – 3,5 m avec accotements de 2,5 m
- Emprise nominale allant de 30 à 35 m
- La géométrie des fossés
- Rayon de courbure horizontale minimum 600 m
- Pente maximale utilisée : 5,0 %
- Facteur « K » courbe convexe: 74
- Facteur « K » courbe concave : 49

Pour la conception de l'ouvrage d'art, les critères suivants ont été considérés :

- Hydraulique du cours d'eau
- Topographie des berges
- Bathymétrie
- Géotechnique

Présentement, l'aspect géotechnique a été analysé sur la base des couches de surface (WSP, 2019), des photos aériennes haute-résolution, ainsi que sur la base d'une évaluation visuelle lors d'une visite terrain réalisée à l'aide d'une embarcation les 28 et 29 octobre 2019. Aucun forage ou investigation plus détaillée n'ont été réalisés à cette étape du projet. Pour les autres critères en lien avec la conception du pont, ils ont été relevés de façon visuelle durant la visite terrain d'octobre 2019, ainsi que tirés du rapport de description du milieu (WSP, 2019). Enfin, en raison de la largeur du cours d'eau à traverser et du désir de minimiser les impacts sur l'environnement, le nombre d'appuis du pont devra être minimisé et localisé en dehors des zones sensibles. Ce critère mérite donc de considérer de longues portées dans le processus de conception.

Le type de structure qui est proposé s'inspire du manuel de conception des structures du ministère des transports (MTQ, Manuel de conception des structures, 2020) lequel fait état des divers types de structures selon les contraintes du site. Ce manuel considère entre autres les structures de type conventionnel qui peuvent être utilisées et fait aussi état des types de pont de grande envergure avec des portées libres de plus de 100 m. Pour notre analyse, bien que la largeur de la rivière Sheldrake est supérieure à 100 m, un ouvrage de type conventionnel a été

retenu. Les ponts de grande envergure de type à hauban, suspendus et autres types de structures sont des ouvrages complexes et coûteux qui peuvent être évités dans notre situation. Sur cette base, si l'on considère que les plus grandes portées auront 90 m, il est proposé de concevoir un pont de type poutres d'acier avec dalle de béton armé (Figure 3-1). Ce choix est basé sur le principe que l'on peut construire des piliers dans le lit de la rivière. Le nombre et la position des piliers seront ajustés pour minimiser l'impact de leur présence dans le cours d'eau. Ce type de structure permet la préfabrication de certains éléments structuraux, ce qui est à considérer d'un point de vue logistique de construction.

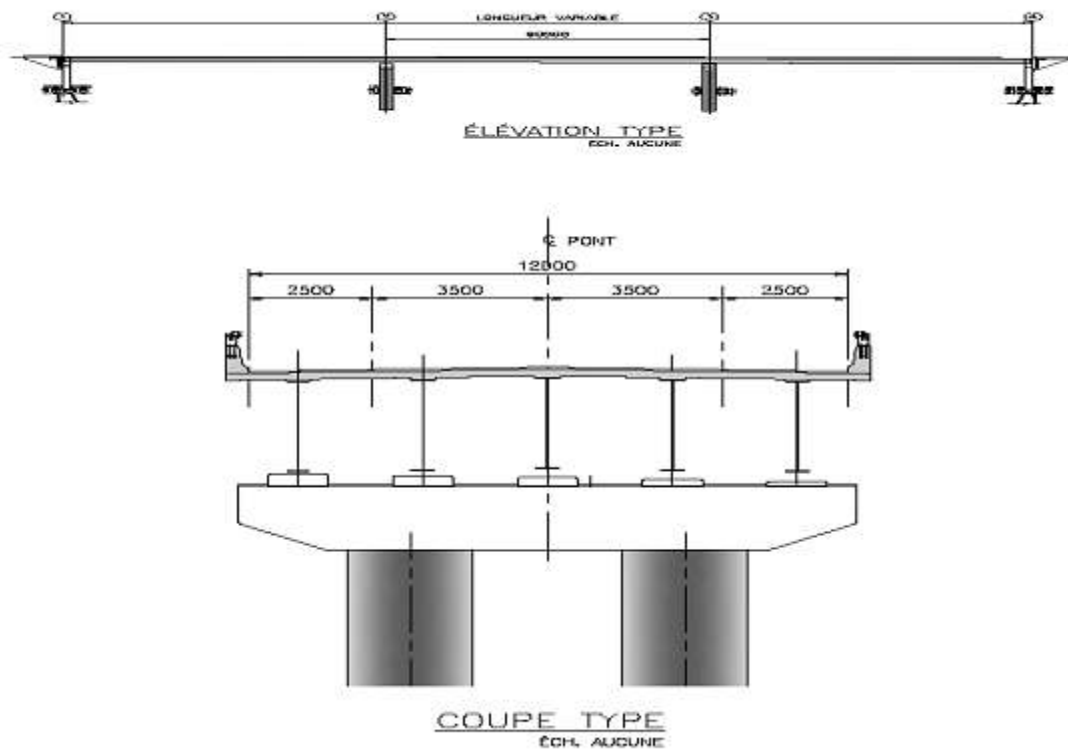


Figure 3-1 Structure de pont conventionnelle de type poutres d'acier avec dalle de béton armé

3.3.2 ENVIRONNEMENT (COMPOSANTE BIOLOGIQUE ET SOCIALE)

La description du milieu (WSP, 2019) a permis d'établir un certain nombre d'enjeux environnementaux à considérer dans l'élaboration du concept d'aménagement. Ceux-ci sont repris ici-bas et permettent d'établir les divers critères de conception en lien avec le milieu biologique et social.

- La rivière Sheldrake est identifiée comme une rivière qui supporte une petite population de saumon atlantique, ce qui représente un élément sensible important au sein de la zone d'étude élargie. De ce fait, la solution retenue devra minimiser les impacts sur la montaison, la fraie et l'habitat de l'espèce. En ce sens, le maintien de conditions propices à la montaison du saumon atlantique sur la rivière s'avère le principal enjeu dans le cadre du projet. En effet, les habitats de fraie étant localisés en amont de la centrale, les interventions en aval de celle-ci sont peu susceptibles d'avoir des conséquences directes sur la reproduction. De plus, le tronçon aval de la rivière présentant de nombreux affleurements d'argile, un fond principalement sableux et une influence de la salinité, les habitats n'y présentent qu'un potentiel limité pour l'espèce. En somme, si la franchissabilité du tronçon aval est assurée dans le cadre des travaux, les impacts sur le saumon seront nettement restreints. Le bruit subaquatique pourrait dans le contexte du présent projet être un enjeu important en ce sens, puisqu'une ambiance sonore subaquatique perturbée (au-delà des seuils d'effets comportementaux et/ou physiologiques) pourrait faire en sorte de causer des comportements d'évitement de la zone ou des blessures internes chez les saumons exposés. Des comportements similaires pourraient également survenir chez les mammifères marins fréquentant les eaux légèrement plus au large de l'estuaire de la rivière.
- En ce qui a trait à la présence de milieux humides et hydriques, la solution retenue devra tenir compte des empiètements susceptibles d'être induits dans ces milieux. Un empiètement minimal est recommandé afin de limiter les impacts sur l'environnement et les ressources, mais également de manière à éviter le déclenchement du processus d'étude d'impact sur l'environnement. En ce sens, le *Règlement relatif à l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement de certains projets* établit le déclencheur à 5 000 m² d'empiètement dans un milieu hydrique. Les travaux réalisés dans un milieu humide sont néanmoins assujettis à une autorisation ministérielle en vertu de la *Loi sur la qualité de l'environnement*, sans toutefois déclencher l'étude d'impact. Une compensation pourrait également être exigée en vertu du *Règlement sur la compensation pour l'atteinte aux milieux humides et hydriques*. Dans le cas d'une infrastructure routière réalisée par le MTQ, la compensation financière pourrait être remplacée par des travaux de restauration ou de création de milieux humides ou hydriques. Finalement, en vertu du 3^e paragraphe de l'article 5 du *Règlement relatif à l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement de certains projets*, la construction d'une route dont l'emprise prévue est d'une largeur égale ou supérieure à 35 m sur une longueur excédant 1 km hors d'un périmètre d'urbanisation déterminé dans le schéma d'aménagement et de développement de la MRC n'est également pas assujettie. Par conséquent, le périmètre d'urbanisation de la municipalité de Rivière-au-Tonnerre correspondant principalement au secteur habité et desservi par le service d'aqueduc, tout aménagement ou contournement routier évitant cette zone ne déclenchera pas d'étude d'impact.
- Le littoral maritime de la zone d'étude comporte également une zone de fraie du capelan, à l'est de l'embouchure de la rivière Sheldrake. La solution retenue et la conception devront ainsi tenir compte de cette fonction et idéalement en assurer la pérennité. Ceci implique de ne pas occasionner une modification de la nature (granulométrie) du substrat et de ne pas favoriser l'accentuation de la pente de la plage. La flèche littorale étant toutefois en érosion tant en amont qu'en aval, le maintien de l'intégrité du secteur à long terme apparaît difficilement réalisable sans une intervention de grande ampleur.
- L'ensemble des milieux aquatiques de la rivière Sheldrake et du golfe du Saint-Laurent sont considérés comme habitat du poisson en vertu de la *Loi sur les Pêches*. Advenant une atteinte à ces milieux, une compensation pour l'habitat du poisson pourrait aussi être exigée par le ministère des Pêches et des Océans du Canada (MPO). La mise en place de

mesures de contrôle quant à l'émission de matières en suspension est également souhaitable bien que la rivière présente une turbidité parfois élevée en raison de l'abondance de sable et d'argile, en berge.

- La zone d'étude constitue également un habitat important pour la faune aviaire, notamment pour les oiseaux aquatiques. Elle comporte d'ailleurs trois aires de concentration des oiseaux aquatiques (ACOA) en raison de son utilisation intensive par les oies, les bernaches et les canards en périodes migratoires. L'embouchure de la rivière, caractérisée par des eaux calmes et peu profondes, est abondamment utilisée par la sauvagine, alors que la zone intertidale du côté sud de la flèche littorale est utilisée par les limicoles pour l'alimentation. Le maintien de l'intégrité des conditions de ces habitats doit être pris en compte dans le choix de la solution et la conception.
- La route 138 traverse actuellement le village de Sheldrake. Ce secteur de la municipalité de Rivière-au-Tonnerre est, somme toute, isolé en raison de sa situation géographique. Le déplacement potentiel de la route 138 à l'extérieur du village de Sheldrake risque d'accentuer cet isolement et constitue un enjeu important pour la population du secteur. Le contournement et les raccordements doivent donc tenir compte de cet aspect.
- Il est aussi important de considérer l'existence d'un projet de réaménagement de la rampe de mise à l'eau, donnant accès à l'embouchure de la rivière Sheldrake dans la conception de la solution retenue. En effet, une étude d'impact portant sur ce projet a été déposée en 2018. Il sera nécessaire de porter une attention particulière à cet élément, lors de l'analyse des variantes, afin de ne pas nuire à la mise en place de la nouvelle rampe de mise à l'eau.
- La route 138 est également une route panoramique employée par plusieurs utilisateurs (résidents du village, usagers des sentiers de motoneige, touristes, chasseurs, pêcheurs, villégiateurs, etc.). La préservation du paysage constitue donc un enjeu supplémentaire, notamment en ce qui a trait au tourisme dans la région. Le secteur constitue d'ailleurs un haut lieu du tourisme pour les ornithologues en raison de la présence, le long du littoral, d'aires de concentration d'oiseaux aquatiques et de la diversité des paysages dans un faible rayon.
- Finalement, le pont Touzel, localisé à l'intérieur du tronçon routier à l'étude, revêt une importance particulière en raison de son architecture peu commune (pont à tablier inférieur à arc avec poutre de type Langer). Sans revêtir un caractère patrimonial reconnu par la Loi, la rareté architecturale de ce type de pont lui confère néanmoins un intérêt patrimonial classé « moyen ». Malgré un certain intérêt pour la conservation de ce patrimoine, la communauté ne semble pas y accorder d'intérêt particulier. Ainsi, la logistique et les coûts se rapportant à son potentiel déplacement (maintien de la circulation en tout temps et construction d'un ouvrage temporaire pour le remplacer), la réintégration du pont dans la structure de la future traverse de cours d'eau sera considérée, sans toutefois être garantie. En effet, techniquement il pourrait être envisageable de le rehausser pour qu'il fasse partie du nouveau tracé de la route, mais demeure complexe et son déplacement serait difficile pour une réutilisation en raison de la nécessité de le démanteler en pièces, le transporter et le reconstruire à l'endroit désiré.

4 ÉLABORATION DES CONCEPTS ET PLANS D'AVANT-PROJET PRÉLIMINAIRE

4.1 RELOCALISATION DE LA ROUTE 138 (SOLUTION C)

4.1.1 DESCRIPTION GÉNÉRALE DES CONDITIONS AU TERRAIN

Le développement des variantes de relocalisation de la route 138 a été réalisé afin de rencontrer les principaux objectifs suivants :

- Conserver une distance la plus courte possible pour la traverse de la rivière Sheldrake;
- Conserver une approche conventionnelle pour la conception de l'ouvrage d'art;
- Identifier des points de traverse dont les conditions géotechniques semblent favorables;
- Viser un contournement de route qui demeure pratique pour les utilisateurs de la route et des habitants du village de Sheldrake;
- Viser à conserver un point de vue sur le fleuve.

Dans le secteur d'étude (Figure 4-1), le relief est relativement plat et le massif rocheux est apparent en surface de part et d'autre du sillon de la rivière (Figure 4-2). La rivière Sheldrake demeure encaissée de son embouchure jusqu'à la centrale hydroélectrique. Sur les deux rives, la topographie est plus abrupte sans pour autant être extrême et on retrouve une épaisseur de mort terrain contrairement aux surfaces rocheuses visibles lorsqu'on s'éloigne de la rivière.

Considérant le relief de la zone d'étude et la caractérisation des milieux humides, aucun secteur spécifique n'a été identifié comme étant un obstacle à l'implantation de la route 138. Ainsi, les tracés proposés reposent plutôt sur la localisation des points de traverse de la rivière Sheldrake. Quant aux conditions géotechniques, il est à noter que l'ensemble des trajets routiers étudiés reposeront sur le roc presque partout. Par contre, pour l'implantation des ponts, les conditions géotechniques demeurent inconnues en berge, ainsi que dans le lit de la rivière. Ceci représente un enjeu majeur à toute implantation d'un ouvrage d'art, donc la réalisation de forages et d'une étude géotechnique détaillée seront certes requis durant la phase d'ingénierie détaillée. Enfin, quant à la végétation, mis à part les rives de la rivière, aucune limitation particulière n'a été considérée.

Les prochaines sections présentent les trois variantes de relocalisation considérées (C1, C2 et C3). **L'Annexe A** présente quant à elle les plans d'avant-projet préliminaire pour chacune de ces variantes de relocalisation.



Figure 4-1 Zone d'étude pour la relocalisation de la route 138 et caractérisation des couches de surface



Figure 4-2 Relief du terrain et massif rocheux de part et d'autre du sillon de la rivière

4.1.2 RELOCALISATION DE LA ROUTE 138 SELON LA VARIANTE C1

La **variante C1** a été développée de façon à conserver les approches existantes de la route 138 (aucun contournement). La traverse de l'estuaire de la rivière Sheldrake se fait avec un pont d'une longueur de 1100 m traversant l'estuaire tout juste au nord de l'axe actuel de la route 138 (**Annexe A**). Afin de pallier la problématique de débordement sur la chaussée par la remontée des vagues en période de tempêtes, un rehaussement minimal de 6 m a été considéré dans le secteur du pont Touzel (ch. 86+500). Ainsi, le profil en élévation du nouveau tablier du pont présente un point bas (soffite) à l'élévation 16,5 m (NMM) et atteint l'élévation 19,5 m (NMM) à son point le plus haut afin de respecter des pentes de 0,5 % (**Annexe A**). La variante C1 implique peu d'empiètement dans le lit du cours d'eau, puisque la majorité des piliers de ponts (13) seront localisés et implantés dans le remblai de la route existante, soit du côté nord de la flèche.

Sur la base de l'argumentaire présenté à la section 3.2 du présent rapport, sachant que la flèche de sable actuelle entre le pont Touzel et la rive *est* de la rivière est appelée à disparaître à plus long terme considérant que la maintenance des structures de protection existantes ne serait pas maintenue, il est primordial de concevoir une structure de pont dont les assises seront stables dans le sol et capables de résister aux forces exercées par les courants, par les vagues de tempêtes (WSP, 2019) et les glaces. En effet, des vitesses d'écoulement allant de 1,8 à 2,5 m/s peuvent être observées en période de crue dans l'axe projeté du pont et atteignent 3 à 4 m/s sous le pont Touzel. En ce qui concerne les efforts de glace, cette composante devra être étudiée davantage, mais des épaisseurs de glace maximales allant de 1 à 1,5 m durant la débâcle sont susceptibles d'être observées à l'embouchure de la rivière du côté nord.

Ces assises, sous forme de piliers, seront construites sur une distance de 1100 m pour traverser l'estuaire de la rivière Sheldrake et joindre les rives *ouest* et *est*. À titre d'exemple, l'effet visuel de cette structure proposée construite côté nord de la route actuelle est montré ici-bas (Figure 4-3).



Figure 4-3 Exemple de l'effet visuel de la structure de pont proposée tout juste au nord de l'axe actuel de la route 138 (Variante C1)

Ainsi, à plus long terme, une fois la flèche de sable partiellement ou complètement érodée, les piliers en place assureront le support de la route d'une berge à l'autre et la structure proposée sera indépendante de l'évolution de la flèche de sable. Celle-ci sera donc libre de se rééquilibrer de façon naturelle, puisque la maintenance des enrochements de protection existants ne sera plus requise.

Quant à la faisabilité technique visant la réutilisation du pont Touzel, celle-ci a été analysée. Bien qu'il serait techniquement possible de le rehausser, son déplacement vers l'amont pour que celui-ci fasse partie intégrante du nouveau tracé occasionne un défi technique de taille. Quant à la possibilité de le maintenir en place afin de connecter le nouveau pont à cette structure existante, cette alternative demeure aussi techniquement complexe. De plus, cet ouvrage demeure hautement vulnérable en raison de sa culée *est* dont la fondation repose dans la flèche de Sheldrake et pour laquelle une protection en enrochement est requise pour assurer sa stabilité et ainsi éviter l'érosion et l'affouillement par les courants, glaces et effet des vagues. Selon les plans de construction obtenus, la culée *est* est appuyée sur des pieux de 24 m de longueur, mais il n'est pas possible de confirmer si ceux-ci s'appuient au roc ou non. Ainsi, puisqu'il n'est pas envisagé de maintenir une protection autour de cette culée et d'assurer un suivi à long terme, conserver le pont Touzel en place afin de le connecter à la nouvelle structure de pont n'a pas été retenu pour le développement de la variante C1.

Finalement, il s'avère que le défi technique que comporte le rehaussement et/ou le déplacement du pont Touzel demeure complexe et dispendieux et par conséquent, l'option de considérer un nouvel ouvrage traversant l'estuaire de la rivière Sheldrake en entier pour relier les rives *ouest* et *est* demeure beaucoup plus avantageuse. Enfin, il ne faut pas minimiser aussi

l'importance que jouera le pont Touzel durant la construction, puisqu'il sera requis de maintenir la circulation en tout temps. Le déplacer et le réutiliser pour connecter avec le nouvel axe de route proposé aurait donc nécessité la construction d'un ouvrage temporaire durant les travaux pour le maintien de la circulation, ce qui, une fois de plus, s'ajoute à la complexité et aux coûts de travaux. Par contre, une fois la mise en service du nouveau tracé, le pont Touzel devra être démantelé ou relocalisé au choix par le MTQ.

4.1.2.1 ENJEUX DE CONSTRUCTION

D'un point de vue constructibilité, il est préférable que la nouvelle structure soit positionnée du côté nord de l'axe actuel. Le côté nord présente des avantages d'un point de vue de la bathymétrie et jouit, bien qu'appeler à disparaître, d'une protection naturelle contre l'assaut des vagues qui s'avère tout de même avantageux par rapport à une construction du côté sud dans la zone de déferlement. Tel que mentionné, malgré que l'axe du pont proposé soit positionné au nord de la flèche, les piles seront tout de même conçues pour reprendre les charges induites par les vagues en raison de l'érosion accélérée que subira la flèche à plus long terme lorsque les structures de protection en enrochement ne seront plus entretenues. Dans tous les cas, malgré que la flèche sera davantage érodée et possiblement arrasée significativement à plus long terme (diminution de l'élévation de sa crête), incluant la possibilité de formation d'une brèche, il s'avère que le positionnement du pont du côté nord demeure un choix plus logique que directement du côté sud dans la zone de déferlement où l'action des vagues est significative et où le risque d'affouillement autour des piles est plus prononcé.

Par ailleurs, en plus de permettre le maintien de la circulation, la route actuelle sera aussi très avantageuse pour faciliter les travaux, puisqu'en étant adjacente au tracé de la nouvelle structure, elle permettra l'accès à la machinerie pour la construction des piles.

Enfin, d'un point de vue environnemental (biologique et social), les enjeux en phase de construction se résument ainsi :

- Les empiètements temporaires causés par l'aménagement de jetées comme aire de travail;
- Le bruit subaquatique pendant la construction et l'enfoncement de pieux (enjeu pour la montaison du saumon et les mammifères marins);
- La gestion de l'eau et des matières en suspension considérant la proximité avec la rivière et le golfe Saint-Laurent;
- La gestion de la circulation en alternance;
- La gestion de l'accès à la rampe de mise à l'eau en rive est.

La circulation routière pourra quant à elle être maintenue en alternance sur le tronçon existant pendant les travaux, minimisant ainsi les impacts pour les résidents et usagers de la route.

4.1.3 RELOCALISATION DE LA ROUTE 138 SELON LA VARIANTE C2

La variante C2 (**Annexe A**) se veut l'option qui permet de réduire considérablement la longueur du pont pour la traverse de la rivière par rapport à la variante C1, tout en conservant une longueur de contournement raisonnable et un point de vue appréciable sur l'estuaire de la rivière. Le point de traverse proposé permet d'utiliser l'affleurement rocheux qui forme une île au milieu du lit de la rivière (Figure 4-4). En rive *ouest*, le roc est visible en surface et en rive *est*, il y a un banc de sable qui se prolonge sur la berge. Afin d'obtenir un alignement

intéressant à cet endroit, il faut du côté *ouest* de la rivière construire une route de contournement d'une longueur de 2,2 km avant de traverser la rivière avec un nouveau pont de 520 m de long composé de six portées. Les assises du pont côté *ouest* seraient au roc jusqu'à l'île, tandis qu'en rive *est*, il est anticipé que les fondations soient sur pieux considérant la couche de sable en surface. Pour finaliser le trajet du côté *est*, le raccordement à la route existante se réalise avec un nouveau tronçon de route de 500 m pour se raccorder au tronçon de la route 138 existant.

Tout comme la variante C1, mais de façon moins prononcée, les vagues pourraient à plus long terme atteindre certaines piles du pont suivant l'érosion progressive de la flèche ou si une brèche venait à se former. Ce critère, tout comme l'effort par les glaces, les courants et l'affouillement potentiel autour des piles devra être considéré durant la phase d'ingénierie détaillée si cette option est retenue. Dans l'axe projeté du pont, des vitesses d'écoulement allant de 1,5 à 2,5 m/s peuvent être observées en période de crue. Tout comme la variante C1, des glaces ayant une épaisseur de 1 à 1,5 m sont susceptibles d'être observées en période de débâcle. Quant à l'élévation préliminaire du tablier et du soffite du nouveau pont, une élévation minimale à 13 m (NMM) a été considérée en fonction des conditions topographiques en rive, ainsi qu'en considérant le régime d'écoulement fluvial et l'action potentielle des vagues à plus long terme.

D'un point de vue de l'empiètement dans le lit du cours d'eau, il s'agit de la variante présentant le plus d'impact en raison du nombre de piliers requis (7) pour effectuer la traverse de la rivière Sheldrake. En effet, malgré que la variante C1 compte treize piliers, il est estimé que l'empiètement proprement dit dans le cours d'eau sera un peu plus significatif pour la variante C2.



Figure 4-4 Exemple de l'effet visuel de la structure de pont proposée selon la variante C2

4.1.3.1 ENJEUX DE CONSTRUCTION

Le principal enjeu anticipé durant la construction s'avère être la mise en place des piliers du pont pour lesquels des jetées temporaires et possiblement l'utilisation de barges seront requises. Les zones peu profondes à certains endroits et l'effet des marées seront aussi des facteurs à considérer et pourraient se définir comme des limitations pour l'utilisation de certains équipements et machinerie.

En ce qui a trait aux enjeux environnementaux en phase de construction, les principaux impacts appréhendés sont les suivants :

- le bruit subaquatique pendant la construction des piliers (enjeu pour la montaison du saumon principalement);
- les empiètements temporaires causés par l'aménagement de jetées comme aire de travail;
- la gestion de l'eau et des matières en suspension considérant la proximité avec la rivière et le golfe Saint-Laurent et l'abondance de substrat rocheux.

Comparativement à la variante C1 (circulation en alternance), la circulation routière serait maintenue dans les deux directions sur le tronçon existant pendant les travaux, minimisant ainsi les impacts pour les résidents et usagers de la route.

4.1.4 RELOCALISATION DE LA ROUTE 138 SELON LA VARIANTE C3

La variante C3 (**Annexe A**) profite du secteur où la rivière Sheldrake se rétrécit de façon naturelle et notable et représente la localisation la plus proche de l'embouchure où l'on retrouve ces conditions favorables pour la traverse de la rivière Sheldrake. Selon cette variante, une longueur de contournement de 6,6 km est requise et la longueur du pont totalise une distance de 210 m (4 piliers). En rive est, on y aperçoit un affleurement rocheux qui suggère que l'appui pour le pont à cet endroit serait adéquat. En rive ouest, il y a plutôt présence de mort terrain dont l'épaisseur et la nature seront à définir lors des investigations géotechniques. La topographie des deux rives n'est ni trop escarpée ni trop plane pour la construction d'un pont. Ainsi, aucun problème n'est anticipé pour la géométrie ou encore de problème pour le dégagement d'espace libre sous le pont. Ainsi, l'élévation minimale du soffite a été fixée de façon préliminaire à une élévation de 13m (NMM) en fonction des conditions topographiques en rive, ainsi qu'en considérant le régime d'écoulement fluvial. Sous l'axe de traverse proposé, des vitesses d'écoulement de l'ordre de 2,5 à 3,5 m/s sont observées en période de crue en raison de l'étranglement de la rivière dans ce secteur. Tout comme pour les variantes C1 et C2, des épaisseurs de glace maximales de l'ordre de 1 à 1,5 m sont susceptibles d'être observées durant la débâcle printanière.

Pour aller rejoindre le rétrécissement de la rivière, la partie routière de cette variante s'avère être la plus longue par rapport aux variantes C1 et C2. Le tracé proposé fait en sorte que l'axe de la route passera à proximité de petits lacs, mais sans les affecter. Certaines zones humides sont par contre rencontrées.

Le tracé proposé du côté est fait en sorte que le village de Sheldrake serait contourné par le nord. Le raccordement à la route 138 se fait à l'est du village pour permettre de traverser la rivière Couture à un endroit étroit pour éviter la construction d'un pont. Cette localisation est favorable en permettant la mise en place d'un ponceau uniquement. Une route collectrice d'une longueur de 1 000 m est proposée pour donner accès au village.

4.1.4.1 ENJEUX DE CONSTRUCTION

Tout comme la variante C2, le principal enjeu anticipé durant la construction s'avère être la mise en place des piliers du pont pour lesquels des jetées temporaires et possiblement l'utilisation de barges seront requises. Les zones peu profondes à certains endroits et l'effet des marées, seront aussi des facteurs à considérer et pourraient se définir comme des limitations pour l'utilisation de certains équipements et machinerie.

D'un point de vue environnemental, les enjeux en phase de construction sont :

- le bruit subaquatique pendant la construction des piliers (enjeu pour la montaison du saumon principalement);
- Les empiètements temporaires causés par l'aménagement de jetées comme aire de travail;
- la gestion de l'eau et des matières en suspension considérant la proximité avec la rivière et le golfe Saint-Laurent et l'abondance de substrat rocheux;
- Le bruit, le camionnage et les poussières durant la construction de la route collectrice à proximité du village.

La circulation routière pourra être maintenue sur le tronçon existant pendant les travaux, minimisant ainsi les impacts pour les résidents et usagers de la route.

4.1.5 ÉVALUATION SOMMAIRE DES IMPACTS

La **variante C1** constitue la solution nécessitant le moins d'intervention au sein du milieu naturel et le trajet le plus court parmi ceux proposés. Elle implique d'intervenir principalement en marge de l'axe existant de la route et ne requerra donc pas de déboisement ou d'interventions significatives dans des milieux humides ou aquatiques (empiètement de moins de 100 m²), puisque les piliers proposés pour l'appui du pont seront localisés pour la plupart directement dans la flèche de Sheldrake du côté nord (**Annexe A**).

L'essentiel des impacts anticipés découlera donc de la mise en place de piliers au sein du milieu. À priori, les piliers seront, tel que mentionné, insérés dans la flèche littorale du côté nord, n'induisant pas d'empiètement direct sur le lit de la rivière, à l'exception possiblement des premiers piliers rencontrés en rive *ouest*. Toutefois, l'enfoncement de ces derniers contribuera à l'émission de bruit dans l'environnement subaquatique. Des mesures devront donc être prises afin de limiter les impacts sur la faune ichthyenne, notamment la montaison du saumon, et les mammifères marins.

En ce qui a trait aux aspects sociaux, la variante C1 minimise les impacts en phase d'exploitation puisqu'elle ne contribue pas à isoler davantage la communauté de Sheldrake. Économiquement, elle n'implique également pas l'entretien d'un tronçon routier supplémentaire. La qualité du paysage est maintenue pour les usagers de la route puisque l'aspect visuel et le point de vue sur la mer demeurent très similaires aux conditions existantes. L'impact sur les activités de cueillette de mollusque, positif ou négatif, demeure quant à lui incertain, mais ne devrait pas être important selon toute vraisemblance en considérant les vents dominants (vagues) et l'axe d'écoulement de la rivière. Les bancs coquilliers pourraient donc se déplacer légèrement sans toutefois être réduits significativement en taille ou disparaître.

La **variante C2** correspond au scénario de relocalisation de la route impliquant la plus courte distance totale de trajet routier possible. Le tronçon ouest, d'une longueur de 2,2 km, traverse deux dénuvés humides et une aulnaie et induira donc un empiètement dans des milieux humides (0,29 à 4,35 ha). Il nécessitera également le déboisement d'une faible superficie de peuplement résineux. Le tronçon est présentera, quant à lui, une longueur de 500 m et traversera un dénuvé sec avant de se raccorder à la route 138 actuelle. À noter que le passage de ce nouveau tronçon de route à travers le milieu naturel est susceptible de fragmenter l'habitat de certaines espèces fauniques (mammifères terrestres, oiseaux, etc.). Néanmoins, la richesse du milieu étant évaluée comme faible à moyenne, les impacts devraient être faibles.

L'ouvrage à construire afin d'enjamber la rivière Sheldrake, d'une longueur de 520 m, impliquera la mise en place de piliers en caissons dans la rivière, ainsi que de deux autres piliers aux extrémités en rive. Ces piliers, au nombre de 7, devraient occasionner un empiètement total de l'ordre de 200 à 300 m² au sein de l'habitat du poisson, et ce, selon le type de piliers préconisés. Bien que ces piliers représentent un empiètement dans l'habitat et causeront la perturbation sonore subaquatique pendant leur mise en place, ils devraient bénéficier à la faune ichthyenne comme le saumon Atlantique en créant des zones de repos en aval des piliers une fois l'ouvrage construit. À priori, aucun empiètement sur des bancs coquilliers n'est appréhendé, mais la modification des courants à proximité des piliers pourrait influencer ces derniers qui seront remodelés en fonction du nouvel écoulement.

D'un point de vue social, la variante C2 ne contribue pas à isoler davantage la communauté puisque le trafic est maintenu dans la communauté. La qualité du paysage sera modifiée quelque peu, mais la vue sur la mer sera conservée dans une bonne proportion. L'impact sur les activités de cueillette de mollusque, positif ou négatif, demeure quant à lui incertain selon l'évolution à prévoir à plus long terme au niveau de la flèche. Néanmoins, l'impact anticipé demeure limité et pourrait toucher principalement le banc directement à l'aval de l'îlot rocheux situé dans l'axe du futur pont.

La **variante C3** correspond, quant à elle, au scénario de relocalisation de la route impliquant le contournement de la municipalité et la distance la plus longue à parcourir. Cette solution propose un contournement de 6,6 km avec un raccordement de 1 km donnant accès au village de Sheldrake. Le tronçon ouest, d'une longueur d'environ 2,9 km, traverse potentiellement trois dénuvés humides et une aulnaie et induira donc un empiètement dans des milieux humides (4,13 à 6,8 ha). Il nécessitera également le déboisement d'une superficie de peuplements résineux. Le tronçon est présentera, quant à lui, une longueur approximative de 3,7 km et traversera trois dénuvés humides avant de se raccorder à la route 138 actuelle à l'est de la rivière Couture. Considérant les interventions et l'artificialisation du milieu sur l'ensemble du nouveau tronçon routier, la fragmentation de certains habitats de la faune terrestre ou aviaire est susceptible de survenir. La nature des habitats présents et la richesse relative associée à ces derniers laissent toutefois présager d'un impact relativement faible. Finalement, une seconde traverse de cours d'eau à l'aide d'un ponceau devra également être aménagée afin de permettre le passage au droit de la rivière Couture.

L'ouvrage à construire afin d'enjamber la rivière Sheldrake, d'une longueur de 210 m, impliquera la mise en place de deux piliers dans la rivière, ainsi que de deux autres piliers aux extrémités en rive. Ces piliers, au nombre de 4, devrait occasionner un empiètement total de l'ordre de 100 à 200 m² au sein de l'habitat du poisson, et ce, selon le type de piliers préconisés. Tel que mentionné précédemment, bien que ces piliers représentent un empiètement dans l'habitat, ils devraient bénéficier à la faune ichthyenne en créant des zones de repos en aval des piliers.

D'un point de vue social, la variante C3 induit le contournement de la municipalité et pourrait contribuer à isoler davantage la communauté puisqu'elle fera en sorte de réduire le trafic et potentiellement l'achalandage au sein des services de la municipalité. Néanmoins, le contournement du village pourrait également apporter une certaine quiétude chez les résidents qui verront réduire le trafic lourd près de leur propriété. La qualité du paysage sera pour sa part modifiée significativement pour les usagers de la route qui perdront le visuel sur la mer, mais sur une faible distance.

Finalement, dès la fin des travaux, et ce, que ce soit pour la variante C1, C2 ou C3, le pont Touzel sera démantelé, tout comme la route 138 existante. Aucune limitation d'un point de vue patrimonial vise à conserver ce pont (intérêt patrimonial classé « moyen »). Malgré que la municipalité pourrait désirer le conserver pour aménager un accès piéton ou cyclable, il n'est aucunement recommandé de continuer à entretenir la protection des culées de cet ouvrage pour plusieurs raisons déjà mentionnées, sachant en plus que la maintenance et l'entretien des protections en enrochement le long de la flèche ne seront plus réalisés par le MTQ en condition d'exploitation.

4.1.6 ESTIMATION DES COÛTS

Les coûts estimés pour la réalisation des travaux de relocalisation de la route 138 (variantes C1, C2 et C3) sont présentés au Tableau 4-1.

L'estimation des coûts qui est présentée dans la présente section est préliminaire et permet d'obtenir un ordre de grandeur du coût des travaux pour supporter la prise de décision quant aux choix de la variante de relocalisation à prioriser. L'avancement technique du projet est fait en sorte que la précision des coûts estimés peut varier au-delà de 30 % et ce, principalement en lien avec l'incertitude quant aux conditions géotechniques et sur l'impact de cette composante sur la conception des ouvrages d'art proposés.

Les coûts présentés sont basés sur des projets de routes et d'ouvrages d'art similaires à partir desquels des coûts moyens ont pu être établis. Par la suite, ces coûts ont été ajustés pour tenir compte de l'inflation sur des projets comparables considérant l'année de construction de l'ouvrage de référence. Pour considérer la localisation géographique du site des ouvrages proposés, une allocation d'éloignement de 25 % a été considérée.

Pour compléter l'estimation des coûts, une contingence de 30% a été appliquée sur les coûts du projet de construction afin d'inclure les incertitudes au niveau des conditions géotechniques et de l'avancement technique du projet.

Les coûts estimés considèrent les frais directs aux travaux de construction. Les autres frais comme les honoraires professionnels, acquisition de terrain, démantèlement de la route existante et du Pont Touzel, activités connexes ne sont pas inclus dans les coûts présentés. Les coûts sont exprimés en dollars d'aujourd'hui et aucun frais d'inflation n'a été calculé.

4.2 ANALYSE COMPARATIVE MULTICRITÈRE

Le Tableau 4-2 et le Tableau 4-3 présentent respectivement une comparaison multicritère des solutions et variantes d'aménagement considérées dans le cadre du présent projet. Le Tableau 4-2 présente, quant à lui, une analyse comparative pour l'ensemble des solutions analysées dans le cadre de ce projet (Tableau 3-2), tandis que le Tableau 4-3 se concentre uniquement sur la comparaison des variantes retenues visant la relocalisation de la route 138 (Solution C).

L'objectif de fournir deux tableaux comparatifs étant de permettre une comparaison de l'ensemble des solutions évaluées par WSP, ainsi qu'une comparaison plus spécifique quant aux variantes recommandées de relocalisation afin de fournir un tableau comparatif plus complet au MTQ.

La comparaison multicritère vise à fournir une vue globale de la situation afin de supporter le processus de décision pour la sélection de la solution optimale. L'analyse des solutions et variantes porte essentiellement sur des critères discriminants de natures technique, environnementale et socioéconomique. Les critères à caractère technique visent surtout à qualifier le coût de chaque solution, l'effort de suivi et d'entretien requis, la durée de vie et la performance anticipée des aménagements, leur résilience face aux changements climatiques, l'envergure des études de conception à réaliser en ingénierie détaillée, ainsi que l'envergure des travaux. L'analyse environnementale identifie pour sa part les principaux enjeux sur les milieux physique et biologique, ainsi que les délais prévus pour l'obtention des autorisations environnementales. Enfin, le volet socioéconomique de l'analyse considère les enjeux associés à l'esthétisme général des aménagements, la perturbation de la circulation durant les travaux, l'empiètement sur les lots de propriétés attenants aux axes routiers proposés, l'impact sur les communautés desservies par ce lien routier et la sécurisation des infrastructures existantes.

Finalement, afin de faciliter la lecture et la compréhension générale de ces tableaux et discriminer les solutions sur la base de chaque critère d'analyse, un code de couleur a été utilisé. Le vert est employé pour identifier la solution jugée préférable (impact faible) tandis que le rouge distingue celle qui est considérée comme étant la pire (impact élevé). La couleur jaune identifie tant qu'à elle la solution mitoyenne (impact modéré).

Tableau 4-2 Analyse multicritère comparative de l’ensemble des solutions étudiées pour le site Sheldrake

CRITÈRES DISCRIMINANTS	STATU QUO (NON-INTERVENTION)	SOLUTION A (ENROCHEMENT NORD ET SUD, MUR DE PALPLANCHE ET REHAUSSEMENT DE LA ROUTE 138)	SOLUTION B (BRISE-LAMES DÉTACHÉS AU LARGE, RÉFECTION ENROCHEMENT NORD ET SUD, RECHARGE DE PLAGE ET REHAUSSEMENT DE LA ROUTE 138)	SOLUTION C (RELOCALISATION DE LA ROUTE 138 – 3 VARIANTES COMBINÉES)
CRITÈRES TECHNIQUES				
COÛTS DES TRAVAUX				
Durée de vie estimée de l'aménagement	Variable selon niveau de sollicitation à venir en climat futur et l'effort d'entretien effectué par le MTQ dans les prochaines années	50 ans avec un programme de suivi annuel et entretiens périodiques	50 ans avec un programme de suivi annuel et entretiens périodiques	75-100 ans avec entretien minimal
Vulnérabilité à moyen et long terme de l'infrastructure routière à l'érosion et la submersion côtière	Très élevée Dans un contexte de changements climatiques, l'érosion et la dégradation de la flèche de sable, ainsi que l'abaissement du profil naturel du terrain sera exacerbé et, par conséquent, la vulnérabilité du tronçon routier face aux aléas côtiers va augmenter, incluant un risque significatif pour la sécurité routière	Modérée Malgré un rehaussement significatif du tablier du pont Touzel et une conception adéquate de celui-ci pour assurer sa stabilité, l'abaissement de la flèche (voir apparition d'une brèche) à plus long terme fera en sorte d'augmenter l'énergie des vagues au droit du pont. Ainsi, un risque résiduel sera toujours présent à plus long terme en lien avec la vulnérabilité côtière et ce, spécialement dans un contexte de changements climatiques.	Modérée Malgré un rehaussement significatif du tablier du pont Touzel et une conception adéquate de celui-ci pour assurer sa stabilité, l'abaissement de la flèche (voir apparition d'une brèche) à plus long terme pourrait rendre l'action des vagues possibles au droit du pont.	C1 : Modéré C2 : faible C3 : Négligeable
Effort de suivi et d'entretien requis pour assurer la performance de l'ouvrage et la sécurité routière	Très Important Interventions d'entretien de plus en plus fréquentes et onéreuses à prévoir dans un contexte de changements climatiques et risque élevé pour la sécurité routière durant et post-tempêtes	Modéré La conception sera réalisée de manière à assurer un rehaussement adéquat de la route et une stabilité de la flèche et du remblai routier pour minimiser le risque d'érosion et de submersion côtière. Par contre, puisqu'il s'agit d'une solution côtière, un risque résiduel demeure présent en climat futur quant à la performance de l'ouvrage, spécialement dans un contexte de changements climatiques. Un effort de suivi et d'entretien devra être maintenu à court et long terme pour mesurer la performance et conserver le niveau de service requis pour assurer la sécurité routière.	Modéré La conception sera réalisée de manière à assurer un rehaussement adéquat de la route et une stabilité de la flèche et du remblai routier pour minimiser le risque d'érosion et de submersion côtière. Par contre, puisqu'il s'agit d'une solution côtière, un risque résiduel demeure présent en climat futur quant à la performance de l'ouvrage, spécialement dans un contexte de changements climatiques. Un effort de suivi et d'entretien devra être maintenu à court et long terme pour mesurer la performance et conserver le niveau de service requis pour assurer la sécurité routière.	Faible Suivis et entretiens typiques pour conserver le niveau de service requis pour assurer la sécurité routière.
Envergure des travaux	N/A	Très importante	Très importante	Très importante
Incertitude sur la performance des ouvrages et les impacts de ceux-ci sur le milieu	N/A	Modérée à élevée L'approche de conception et les méthodes de mise en œuvre sont connues et éprouvées, mais la mise en place d'une telle solution de protection le long d'une flèche littorale présente certes un lot d'incertitudes quant à la performance anticipée à long terme pour assurer la sécurité routière. Un impact notable sur la dynamique sédimentaire le long de la flèche et dans les zones adjacentes est anticipé, particulièrement dans un contexte de changements climatiques. Faisabilité de rehausser le pont Touzel à confirmer.	Modérée à élevée L'approche de conception et les méthodes de mise en œuvre sont connues et éprouvées, mais la mise en place d'une telle solution de protection le long d'une flèche littorale présente certes un lot d'incertitudes quant à la performance anticipée à long terme pour assurer la sécurité routière. Un impact notable sur la dynamique sédimentaire le long de la flèche et dans les zones adjacentes est anticipé, particulièrement dans un contexte de changements climatiques. Pour la conception des brise-lames, des études plus approfondies avec analyses en laboratoire physique sont recommandées pour optimiser la conception des ouvrages et s'assurer de minimiser les impacts dans les secteurs adjacents. Les conditions géotechniques représentent aussi un enjeu pour l'assise des brise-lames. Faisabilité de rehausser le pont Touzel à confirmer.	Faible à modérée Les conditions géotechniques devront être confirmées durant la phase d'ingénierie détaillée pour minimiser les incertitudes quant à la performance des ouvrages. En conditions post-construction, l'impact de la mise en place des ponts sera faible sur la modification des conditions d'écoulement et de la dynamique sédimentaire. La flèche sera libre d'évoluer et de se ré-équilibrer de façon naturelle au gré des tempêtes et des saisons, ce qui est souhaitable d'un point de vue de la dynamique sédimentaire.
Facilité d'adapter la solution à plus long terme en fonction de l'évolution du climat et d'une meilleure compréhension des processus littoraux (résilience de l'aménagement)	N/A	Non résilient au climat futur de façon naturelle. Ouvrages de protection de type « dur » nécessitant une intervention anthropique complexe et coûteuse pour conserver le niveau de performance requis et assurer la sécurité routière.	Non résilient au climat futur de façon naturelle. Approche de protection nécessitant une intervention anthropique complexe et coûteuse pour conserver le niveau de performance requis et assurer la sécurité routière. La mise en place des brise-lames et de la recharge de plage fait en sorte par contre de stabiliser le trait de côte et favorise quelque peu la résilience de cette solution	N/A
CRITÈRES ENVIRONNEMENTAUX				
Modification de la dynamique littorale	Faible	Importante	Importante	Faible
Empiètement dans un milieu humide, hydrique et/ou marin (sous la PMSGM)	Faible Variable selon les travaux de réfection d'entretien et d'urgence qui seront réalisés au fil des ans	Modérée à élevée Selon le scénario de rehaussement de la route retenu, l'empreinte du remblai routier et de l'enrochement de protection augmentera.	Très importante La mise en place de brise-lames détachés et de recharge de plage empiètera de façon significative dans le milieu hydrique.	Faible Variable selon le nombre et la localisation des piliers de pont.
Délais d'obtention des permis environnementaux, nécessité ou non de réaliser une étude d'impacts sur l'environnement	N/A	Étude d'impact sur l'environnement probablement requise, puisque longueur d'intervention sera supérieure à 500 m.l.	Étude d'impact sur l'environnement probablement requise, puisque longueur d'intervention sera supérieure à 500 m.l. et la superficie d'empiètement supérieure à 5 000 m² (sous PMSGM)	Étude d'impact sur l'environnement non requise, puisque l'intervention se trouve hors d'un périmètre d'urbanisation et que l'emprise du nouveau tronçon routier se limite à 35 m.

CRITÈRES DISCRIMINANTS	STATU QUO (NON-INTERVENTION)	SOLUTION A (ENROCHEMENT NORD ET SUD, MUR DE PALPLANCHE ET REHAUSSEMENT DE LA ROUTE 138)	SOLUTION B (BRISE-LAMES DÉTACHÉS AU LARGE, RÉFECTION ENROCHEMENT NORD ET SUD, RECHARGE DE PLAGE ET REHAUSSEMENT DE LA ROUTE 138)	SOLUTION C (RELOCALISATION DE LA ROUTE 138 – 3 VARIANTES COMBINÉES)
CRITÈRES TECHNIQUES				
COÛTS DES TRAVAUX				
CRITÈRES SOCIOÉCONOMIQUES				
Impact sur la circulation durant les travaux de construction	Faible à modéré Perturbation de la circulation possible lors d'événements de tempêtes et des travaux d'urgence subséquents	Important Perturbation importante de la circulation à prévoir due au rehaussement de la route, à la circulation accrue de camions et à la mise en place des enrochements et du mur de palplanche. Circulation en alternance à confirmer.	Important Perturbation importante de la circulation à prévoir due au rehaussement de la route, à la circulation accrue de camions et à la mise en place des enrochements et des brise-lames. Circulation en alternance à confirmer.	Faible à modéré Travaux réalisés en dehors de l'axe routier existant. Circulation en alternance pour C1 uniquement. Perturbations à prévoir pour raccordement au tronçon existant.
Sécurisation des infrastructures existantes	Non	Oui	Oui	Oui pour nouveaux tracés
Esthétisme général, altération du paysage pour les usagers	N/A	Faible Peu d'impacts visibles par les usagers de la route. Permet de conserver le corridor routier actuel ce qui favorise l'acceptation sociale.	Faible Permet de conserver le corridor routier actuel ce qui favorise l'acceptation sociale. Réaménagement du littoral et construction des brise-lames détachés modifieront le paysage visible de la route.	Faible à modéré Voie de contournement plus ou moins longue, selon le scénario retenu et perte partielle du point de vue sur la mer. Réaménagement possible de l'accès au village de Sheldrake pour C3. Démolition du pont Touzel

Tableau 4-3

Analyse multicritère comparative des solutions retenues de relocalisation de la route 138 (Solution C) pour le site de Sheldrake

CRITÈRES DISCRIMINANTS	VARIANTE C1 (TRACÉ ACTUEL AUX APPROCHES AVEC UN PONT DE 1100 M TOUT JUSTE AU NORD DE L'AXE ROUTIER EXISTANT)	VARIANTE C2 (CONTOURNEMENT AMONT DE 2,7 KM AVEC UN PONT DE 520 M PASSANT SUR L'ÎLE)	VARIANTE C3 (CONTOURNEMENT AMONT DE 6,6 KM AVEC UN PONT DE 210 M À PROXIMITÉ DES LIGNES À HAUTE TENSION ET UNE ROUTE DE RACCORDEMENT DE 1000 M)
CRITÈRES TECHNIQUES			
COÛTS DES TRAVAUX			
LONGUEUR DE ROUTE / LONGUEUR DE PONT	Pont 1100 m	Route 2 700 m / Pont 520 m	Route 6 600 m / Pont 210 m
Nombre de piliers requis pour la traverse (préliminaire)	13 piliers	7 piliers	4 piliers
Vulnérabilité à moyen et long terme de l'infrastructure routière face à l'érosion et la submersion côtière	Modérée L'incertitude quant au niveau d'érosion et l'évolution future de la flèche de sable, incluant la possibilité de voir apparaître une brèche, représente un enjeu important à tenir en compte durant le processus de conception des piliers du pont. Ainsi, malgré que la conception soit réalisée de manière à assurer une hauteur libre suffisante du tablier (débordement par les vagues) et la stabilité des piliers en conditions futures, il s'avère que l'abaissement et l'érosion progressive de la flèche feront en sorte d'augmenter l'énergie des vagues sur les piliers et sous l'ouvrage. Ainsi, un risque résiduel sera toujours présent à plus long terme en lien avec la vulnérabilité côtière et ce, particulièrement dans un contexte de changements climatiques. De plus, les enrochements existants en place seront certes remobilisés au gré des tempêtes et ainsi, un suivi périodique de l'évolution de la flèche est recommandé.	Faible à modérée L'infrastructure routière est plus en retrait du littoral, mais pourrait malgré tout éventuellement être exposée aux tempêtes maritimes advenant une érosion significative de la flèche littorale ou la formation d'une brèche. L'incertitude quant au niveau d'érosion et l'évolution future de la flèche de sable aura un impact moindre sur la conception des piliers du pont comparativement à la variante C1, mais un risque résiduel demeure présent à plus long terme en lien avec la vulnérabilité côtière et ce, spécialement dans un contexte de changements climatiques.	Négligeable L'infrastructure bénéficie d'un retrait significatif du littoral et sa vulnérabilité à l'érosion et la submersion côtière est négligeable.
Élévation minimale du soffite du pont (préliminaire)	16,5 m (NMM)	13 m (NMM)	13 m (NMM)
CRITÈRES ENVIRONNEMENTAUX			
Empiètement en milieux humides	N/A	0,29 à 4,35 ha	4,13 à 6,8 ha
Empiètement permanent en milieux hydriques	< 100 m²	200-300 m²	100-200 m²
Empiètement temporaire en milieux hydriques (jetées de construction)	Faible à modéré	Modéré	Faible à modéré
Fragmentation de l'habitat (contournement routier)	Non	Oui	Oui
Impacts appréhendés sur la faune benthique (bancs coquillers)	Faibles à modérés Le milieu devrait s'adapter au fil de la dégradation ou de la transformation de la flèche littorale. Par conséquent, les bancs coquillers pourraient changer, mais toutefois sans être affectés significativement.	Faibles à modérés La modification des courants en aval du pont pourrait induire des effets sur le banc coquiller présent à proximité.	Négligeables Cette variante est localisée plus en amont et ne devrait pas affecter les bancs coquillers.
Impacts appréhendés sur la faune aviaire	Modérés Dérangement par le bruit pendant les travaux pour la sauvagine, les limicoles et les oiseaux marins.	Modérés Dérangement par le bruit pendant les travaux pour la sauvagine et les oiseaux forestiers et fragmentation de l'habitat.	Faibles Dérangement par le bruit pendant les travaux pour la sauvagine et les oiseaux forestiers et fragmentation de l'habitat.
Impacts en lien avec le bruit subaquatique lors des travaux	Modérés à élevés Fonçage de plusieurs pieux près du milieu marin (impacts sur les mammifères marins et le saumon).	Faibles à modérés Travaux en rivière (impacts sur le saumon).	Faibles à modérés Travaux en rivière (impacts sur le saumon).
Impact sur la montaison du saumon Atlantique	Modérés à élevés Le chenal étant très étroit au droit de la flèche littorale et la durée des travaux de fonçage plus étendue, la perturbation est susceptible d'avoir plus d'incidence sur le saumon et d'occasionner des comportements d'évitement.	Faibles à modérés Durée et ampleur des travaux relativement importantes, toutefois dans un tronçon de rivière plus élargi permettant l'évitement des perturbations sans interrompre la montaison. Néanmoins des impacts sur les MES, le bruit subaquatique et des empiètements dans l'habitat du saumon sont prévus.	Faibles à modérés Durée et ampleur des travaux en rivière restreintes. Néanmoins des impacts sur les MES, le bruit subaquatique et des empiètements dans l'habitat du saumon sont prévus.

CRITÈRES DISCRIMINANTS VARIANTE C1 (TRACÉ ACTUEL AUX APPROCHES AVEC UN PONT DE 1100 M TOUT JUSTE AU NORD DE L'AXE ROUTIER EXISTANT) VARIANTE C2 (CONTOURNEMENT AMONT DE 2,7 KM AVEC UN PONT DE 520 M PASSANT SUR L'ÎLE) VARIANTE C3 (CONTOURNEMENT AMONT DE 6,6 KM AVEC UN PONT DE 210 M À PROXIMITÉ DES LIGNES À HAUTE TENSION ET UNE ROUTE DE RACCORDEMENT DE 1000 M)			
CRITÈRES TECHNIQUES			
COÛTS DES TRAVAUX			
CRITÈRES SOCIOÉCONOMIQUES			
Dérangement de la circulation durant les travaux	Modéré à élevé Circulation en alternance lors des travaux.	Faible Circulation inchangée.	Faible Circulation inchangée.
Isolement de la communauté de Sheldrake (évitement du secteur résidentiel)	Non Maintien de l'achalandage et du trafic routier dans le village. Aucun impact appréhendé en ce qui a trait à la vitalité économique.	Non Maintien de l'achalandage et du trafic routier dans le village. Aucun impact appréhendé en ce qui a trait à la vitalité économique.	Oui Réduction de l'achalandage et du trafic routier dans le village. Possibilité d'un impact faible à modéré en ce qui a trait à la vitalité économique.
Quiétude des résidents de la communauté de Sheldrake (diminution du trafic lourd)	Inchangée Au terme de l'aménagement, le trafic passe toujours à l'intérieur du village.	Inchangée Au terme de l'aménagement, le trafic passe toujours à l'intérieur du village.	Oui Au terme des travaux, le nouveau tronçon routier contourne complètement le village, apportant ainsi davantage de quiétude.
Impact sur le temps de voyageant occasionné par la longueur de la voie de contournement	Négligeable Le nouveau tracé sera adjacent à la route existante	Faible Le tracé augmentera d'environ 650 m le trajet pour traverser la rivière Sheldrake.	Modéré Le tracé augmentera de 2 à 3 km environ le trajet pour traverser la rivière Sheldrake, selon que la destination se trouve à l'ouest ou à l'est du village.
Altération du paysage pour les usagers	Faible Cette variante occasionne un rehaussement de la chaussée, mais permet de conserver la vue sur le milieu côtier.	Moyenne Cette variante provoque une perte partielle de la vue sur le milieu côtier dans le secteur contournant l'embouchure de la rivière. L'élévation de la route et la faible densité de végétation devrait toutefois permettre de garder une certaine vue sur la mer. Sinon, la perte de vue sera de courte durée.	Importante Cette variante occasionne la perte de la vue sur le milieu côtier sur une distance d'environ 6,8 km.
Accès à la rampe de mise à l'eau lors des travaux	Accès restreint Présence de machinerie et de signaleurs.	Inchangé Aucune perturbation puisque le contournement se trouve plus au nord. Du bruit pourrait toutefois être perçu pendant les travaux.	Inchangé Aucune perturbation puisque le contournement passe beaucoup plus au nord.

5 RECOMMANDATIONS

Sur la base des enseignements qui découlent des tempêtes historiques et de l'adoption d'une stratégie de gestion intégrée du littoral, il s'avère que la relocalisation est la seule solution qui peut être qualifiée de « définitive » pour le présent site d'étude. Un changement d'approche des risques côtiers est perceptible au Québec et la relocalisation s'inscrit dans cette optique, soit la notion de reculer les infrastructures clés à une distance suffisante de la côte afin d'enrayer le risque côtier encouru à court et long terme. Dans un contexte de changements climatiques, si on développe davantage ce concept, l'option de durcir le littoral et de fixer le trait de côte (*hold the line*) devrait uniquement être envisagée lorsque la relocalisation d'infrastructures clés n'est pas possible.

Ainsi, la solution C qui vise la relocalisation de la route 138 représente à notre avis une solution définitive et l'option d'intervention la plus adaptée pour contrer la problématique d'érosion et de submersion côtière à l'intérieur de la zone d'étude visée. En effet, fixer et durcir le littoral dans un milieu aussi énergique et dynamique de façon à conserver un niveau de service permettant d'assurer la sécurité routière des usagers de la route 138 n'est pas recommandé. Étant donné le niveau d'érosion et de submersion côtière significatif observé en période de tempêtes, toutes les interventions envisagées visant à conserver le corridor routier actuel (*hold the line*) devront considérer le rehaussement du pont Touzel et de la route 138 sur l'ensemble du tronçon en plus de revoir l'ensemble des ouvrages de protection. Ce rehaussement minimal d'une hauteur d'environ 6 m représente des enjeux considérables au niveau du pont Touzel, de la protection du remblai routier, ainsi qu'au niveau du maintien de la circulation durant la période de travaux. De plus, à plus long terme et considérant le caractère relativement imprévisible de certaines variables environnementales en lien avec les changements climatiques, maintenir un lien routier sur une flèche littorale engendre certes un risque à bien des égards (sécurité routière, impacts socio-économiques, coupure d'accès aux services d'urgence) en plus des impacts significatifs sur le milieu côtier et la dégradation des zones adjacentes en raison du risque résiduel toujours présent post-construction.

Parmi les options de relocalisation étudiées, il est recommandé de mettre en place la variante C2 ou C3. L'option de relocalisation selon la variante C1, malgré qu'elle permette de demeurer dans le corridor actuel de la route 138, représente plusieurs défis techniques au niveau de la conception des piliers du pont en plus de représenter la solution la plus dispendieuse, et ce, de façon notable par rapport à C2 et C3. Malgré que la conception des piliers serait réalisée en considérant la possibilité de voir la flèche complètement érodée à plus long terme, incluant la possibilité qu'une brèche se forme, il s'avère que le plus grand nombre de piliers à mettre en place dans une zone aussi dynamique implique une complexité additionnelle au niveau conception et construction pour ce tracé de route. Tout comme les variantes C2 et C3, les conditions géotechniques représentent certes un inconnu, mais ceci se traduit par une complexité plus grande pour la variante C1 en raison de l'incertitude quant à l'évolution de la flèche lorsque la maintenance des ouvrages de protection existants sera abandonnée par le MTQ post-construction. En effet, l'impact anticipé des conditions hydrauliques projetées sur l'évaluation des efforts structuraux par les vagues, courants et glaces sur les piliers de pont s'avère certes le principal enjeu en phase de conception. La dynamique le long de la flèche et à l'embouchure de la rivière représente des conditions propices à l'affouillement autour des piliers, et ce, particulièrement dans un contexte où l'action et le déferlement des vagues est déjà présent et sera accentué à plus long terme. Une incertitude quant à l'élévation minimale du soffite du pont demeure aussi présente puisque cette composante demeure difficile à évaluer à plus long terme en raison de la remontée et du

débordement par les vagues, ne sachant pas comment la topographie et les pentes de la flèche vont évoluer à court et moyen terme.

Quant au choix à privilégier entre la variante C2 et C3, nous sommes d'avis que la population de Sheldrake, ainsi que la municipalité de Rivière-au-Tonnerre devraient être consultées dans un premier temps afin de leur présenter les deux variantes à l'étude et ainsi recueillir leurs avis et préoccupations. En effet, malgré que la variante C3 est moins dispendieuse d'environ [REDACTED], la principale différence demeure le contournement du village et la route de raccordement requise selon C3. Les impacts au niveau social s'avèrent donc un enjeu afin d'évaluer si la quiétude des résidents de voir le trafic lourd contourner le village est davantage perçu comme un avantage par rapport à l'isolement et la perte de vitalité que ce contournement pourrait aussi apporter. Dans tous les cas, le présent projet de relocalisation doit s'inscrire dans une stratégie et optique d'aménagement et de planification globale pour faciliter l'acceptabilité sociale. De plus, il est intéressant de mentionner que selon le tracé de la variante C3, deux autres sites vulnérables à l'érosion (Havre Couture, Anse à Ernest) le long du tracé actuel pourraient être évités, ce qui rend cette variante encore plus intéressante pour réduire le niveau de vulnérabilité de la route 138 dans la municipalité de Sheldrake.

Durant la période de travaux, que ce soit la variante C2 ou C3 qui est retenue, la circulation routière pourra être maintenue dans les deux directions dans le corridor de la route 138 actuel. D'un point de vue strictement environnemental, la variante C2 représente, par rapport à C3, la variante présentant le plus d'impacts en période d'exploitation en raison du plus grand nombre de piliers requis (7) et par conséquent de l'empiètement permanent dans le lit du cours d'eau. Toujours selon cette variante et en raison du plus grand nombre de piliers, le pont proposé risque de modifier davantage les courants en aval de l'ouvrage et possiblement induire des effets sur le banc coquiller présent à proximité. Quant au tronçon routier, que ce soit selon la variante C2 ou C3, une fragmentation de l'habitat sera engendrée par l'aménagement du nouveau corridor routier, soit une coupure de part et d'autre de la route. Enfin, l'empiètement dans les milieux humides est quelque peu plus important selon la variante C3 comparativement au corridor proposé pour la variante C2. En ce qui concerne les impacts à prévoir durant la période de travaux, il est anticipé que l'empiètement dans le lit du cours d'eau induit par les ouvrages temporaires (jetées) sera plus imposant selon la variante C2, en plus de générer davantage de matière en suspension (MES) vu l'importance des travaux en rivière.

Sur la base des critères analysés et selon l'envergure des travaux proposés, aucune des variantes de relocalisation étudiées ne déclencherait la tenue d'une étude d'impact. En effet, l'intervention se trouve hors d'un périmètre d'urbanisation et l'emprise du nouveau tronçon routier proposé se limite à 35 m. De plus, aucune structure de pont excède un empiètement de plus de 5 000 m² dans l'habitat du poisson.

Par ailleurs, en phase d'exploitation, peu importe la variante de relocalisation retenue, il est recommandé de démanteler le pont Touzel afin d'interrompre la circulation routière dans l'axe actuel de la route 138. Aucune limitation d'un point de vue patrimonial vise à conserver ce pont (intérêt patrimonial classé « moyen »). Malgré que la municipalité pourrait désirer le conserver pour aménager un accès piéton ou cyclable, il n'est pas recommandé de continuer à entretenir cette structure étant donné la vulnérabilité du site face aux aléas côtiers. Ce démantèlement est en effet requis pour éviter tout problème de stabilité que cet ouvrage pourrait subir à court et moyen terme une fois que le corridor sera abandonné et sachant que la maintenance et l'entretien des ouvrages de protection le long de la flèche seront eux aussi abandonnés en phase d'exploitation. Quant à l'accès à la flèche elle-même, nous recommandons que celle-ci devienne uniquement accessible aux piétons et cyclistes en visant une remise en valeur du site

pour la pratique de la pêche, l'observation d'oiseaux, cueillette de mollusques et autres activités similaires. Dans cette optique, il est recommandé de retirer le pavage et les glissières en crête et de ne pas mettre en place d'infrastructures additionnelles pour éviter tout dommage ou effort d'entretien pour la municipalité. Il est donc proposé de tout simplement renaturaliser la crête de la flèche. Celle-ci évoluera au gré des saisons et tempêtes et l'érosion continuera d'être observée ce qui va certes modifier sa configuration à moyen et long terme, sans exclure la possibilité de voir apparaître une brèche dans le futur. À titre d'exemple, la flèche sableuse à l'embouchure de la rivière Pentecôte tout juste au sud-ouest de Port-Cartier présente elle aussi cette même particularité quant à la possibilité de voir apparaître une brèche dans les prochaines années. D'ailleurs, la route 138 dans ce secteur n'emprunte pas la flèche sableuse, mais contourne plutôt celle-ci au nord où les tempêtes maritimes et l'action des vagues n'impactent pas le tronçon routier. En somme, lorsque le nouveau corridor routier de la route 138 sera mise en service (phase d'exploitation) et que les efforts d'entretien des ouvrages existants seront abandonnés, il est proposé d'effectuer des suivis visuels à l'aide de photographies (idéalement par drone) afin de suivre l'évolution morphologique de la flèche de Sheldrake et ainsi documenter l'impact sur le milieu.

À plus court terme dans l'attente de voir une voie de contournement de l'axe actuel mise en service, il est recommandé de poursuivre les efforts de suivi et d'entretien tels qu'effectués au cours des dernières années. Bien qu'il soit recommandé de relocaliser le tronçon de route actuel avec une certaine urgence vu la vulnérabilité du site et les interventions réalisées les dernières années, la mise en service de la nouvelle voie de contournement pourrait encore prendre quelques années avant de voir le jour. Ainsi, il sera très important de réaliser des suivis fréquents de l'état des ouvrages de protection existants. Pour les prochaines interventions, il est recommandé d'augmenter le calibre de pierres de carapace et de mettre en place tout nouvel enrochement en suivant les règles de l'art (calibre et étalement, clé en enrochement, couches filtres, qualité de la pierre, disposition des pierres, etc.) en plus d'évaluer la possibilité de rehausser la crête à une élévation pouvant aller jusqu'à 1 à 1,5 m au-dessus de l'élévation de la chaussée pour former une barrière contre le débordement par les vagues et débris en période de tempêtes. Malgré qu'il ne soit pas intéressant d'un point de vue financier d'investir largement dans des ouvrages de protection sachant que le corridor actuel sera abandonné, il est requis d'assurer un minimum de protection pour la sécurité des usagers. De plus, il demeure toujours préférable d'éviter tout travaux en urgence pour éviter de déverser des pierres de différents calibres dont la disposition n'est pas adéquate, malgré la protection temporaire visée par ce type d'intervention.

Finalement, en vue de la phase d'ingénierie détaillée pour ce projet, une fois le corridor routier sélectionné (C2 ou C3), les principales activités suivantes devront entre autres être réalisées avant de débiter le processus de conception proprement dit :

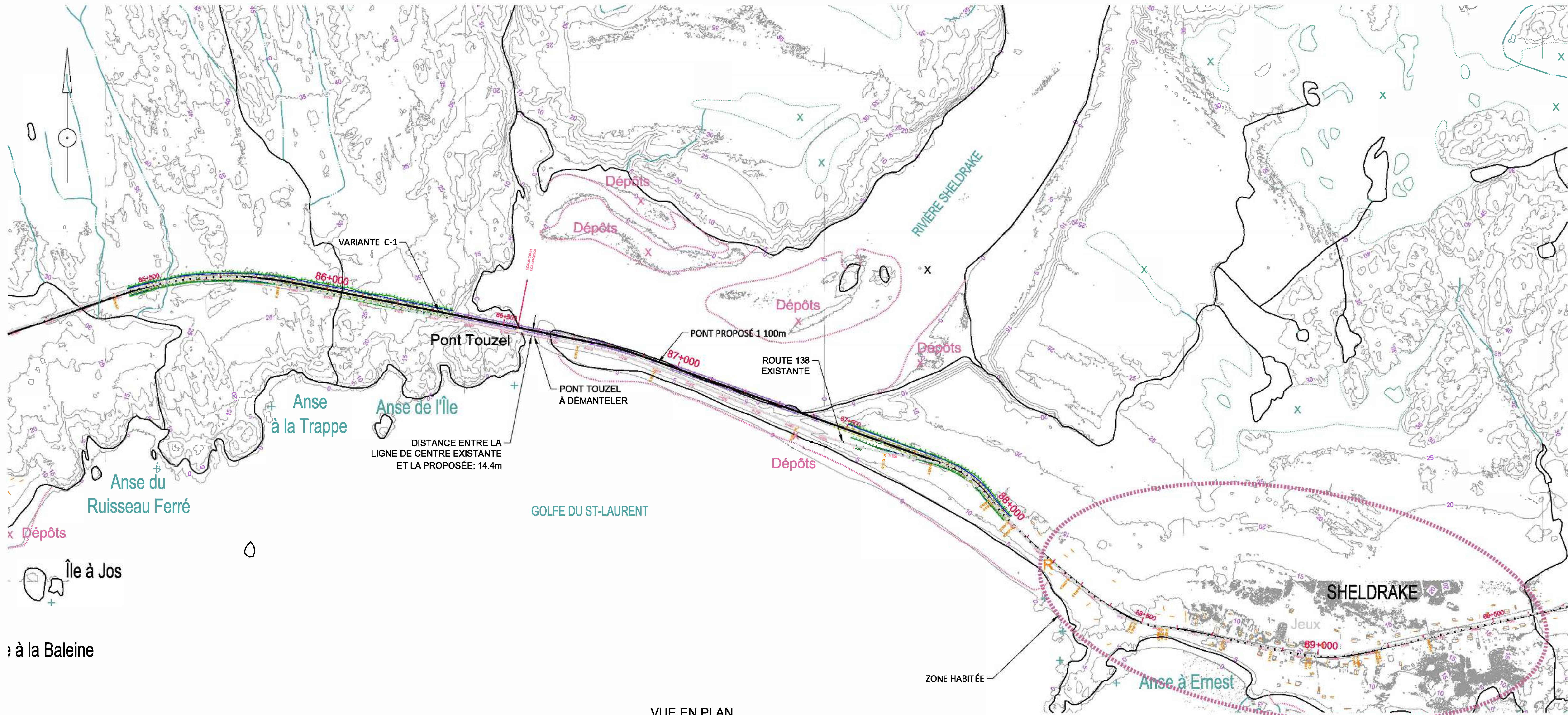
- Campagne géotechnique et forages afin de caractériser les conditions de sols et la présence de roc sur l'ensemble du corridor sélectionné, incluant le lit de la rivière pour la conception de piliers du pont;
- Campagne de relevés topographiques (drone caméra-GPS, GPS RTK) et bathymétriques, incluant la mesure de niveaux d'eau dans l'axe du pont, incluant la prise de photos et vidéos de la dynamique des glaces à l'aide d'une caméra accessible par télémétrie;
- Étude hydraulique détaillée sur la base des données hydrométriques acquises durant la campagne de relevés, incluant des calculs préliminaires d'affouillement autour des piliers de pont vu la nature de la rivière Sheldrake où la migration des chenaux principaux et secondaires peut être observée en période de crue et durant la débâcle printanière.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

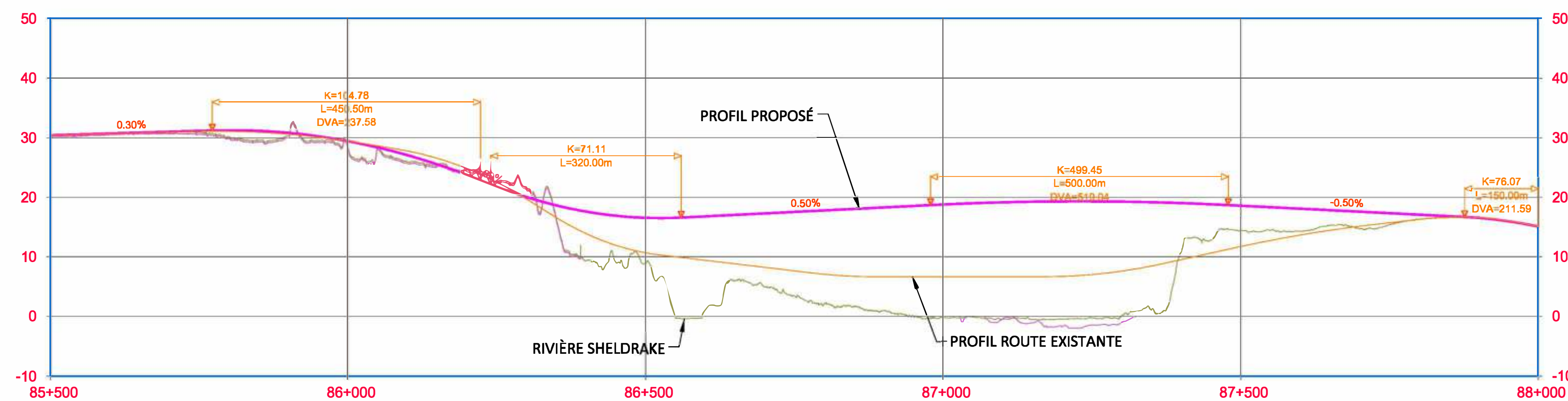
- Allsop, W., Bruce, T., Pullen, T., van der Meer, J. 2008., Direct Hazards from Wave Overtopping – The Forgotten Aspect of Coastal Flood Risk Assessment. 43rd Defra Flood and Coastal Management Conference (1 – 3 July 2008).
- BUREAU D'AUDIENCES PUBLIQUES EN ENVIRONNEMENT, 2009. Projet d'aménagement hydroélectrique sur la rivière Sheldrake à Rivière-au-Tonnerre – Rapport d'enquête et d'audience publique. Rapport numéro 263.
- CIRIA. 2007. *The Rock Manual: The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition)*. C683, London.
- CIRIA. 2010. *Beach management manual*. Second Edition. C685.
- DREJZA, S., FRIESINGER, S., P. BERNATCHEZ et G. MARIE (2014), Vulnérabilité des infrastructures routières de l'Est du Québec à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques : Développement d'une approche et d'un indice pour quantifier la vulnérabilité des infrastructures routières à l'érosion et à la submersion côtière dans un contexte de changements climatiques sur 9 sites témoins. Volume III. Projet X008.1. Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières, Université du Québec à Rimouski. Remis au ministère des Transports du Québec, mars 2015, 308 p.
- EurOtop, 2018. Manual on wave overtopping of sea defences and related structures. An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application. Van der Meer, J.W., Allsop, N.W.H., Bruce, T., De Rouck, J., Kortenhaus, A., Pullen, T., Schüttrumpf, H., Troch, P. and Zanuttigh, B., www.overtopping-manual.com.
- Kamphuis, J.W., (2000), "Introduction to Coastal Engineering and Management", World Scientific, Singapore-New Jersey-London-Canada.
- MTQ. 2019. Tome 1. Conception routière (2019.06.15).
- MTQ. 2020. Manuel de conception des structures.
- MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC. 2009. *Érosion des berges. Les Îles-de-la-Madeleine*. Plan d'action 2009-2012. Direction Bas-Saint-Laurent-Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine. 22 avril 2009.
- MTQ. 2007. Service de la géotechnique et de la géologie; direction du laboratoire des chaussées; Ministère des Transports du Québec.
- U.S. Army Corps of Engineers. 2006. Coastal Engineering Manual, Engineer Manual 1110-2-1100 (U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C., 6 volumes, 2006).
- WSP. 2019. Analyse de solutions à l'érosion et à la submersion côtière dans la flèche de Sheldrake dans la municipalité de Rivière-au-Tonnerre – Description du milieu physique, biologique et humain. Rapport de WSP Canada Inc. au Ministère des Transports. 173 p. et annexes.

ANNEXE

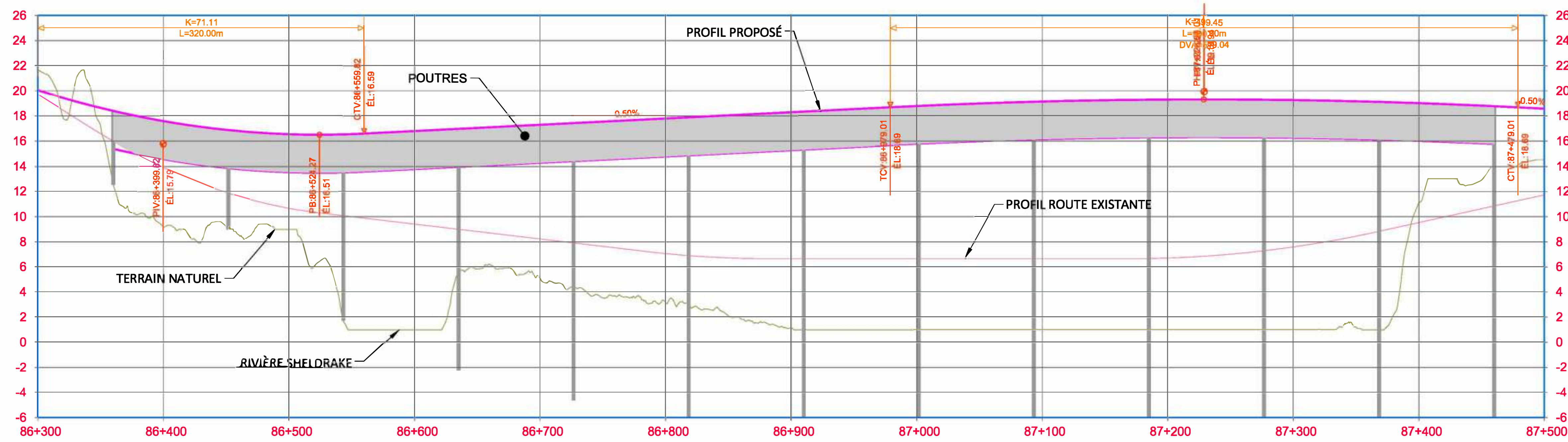
A PLANS D'AVANT-PROJET PRÉLIMINAIRE SOLUTION C (VARIANTES C1, C2 ET C3)



VUE EN PLAN
ÉCHELLE HOR.: 1:5000

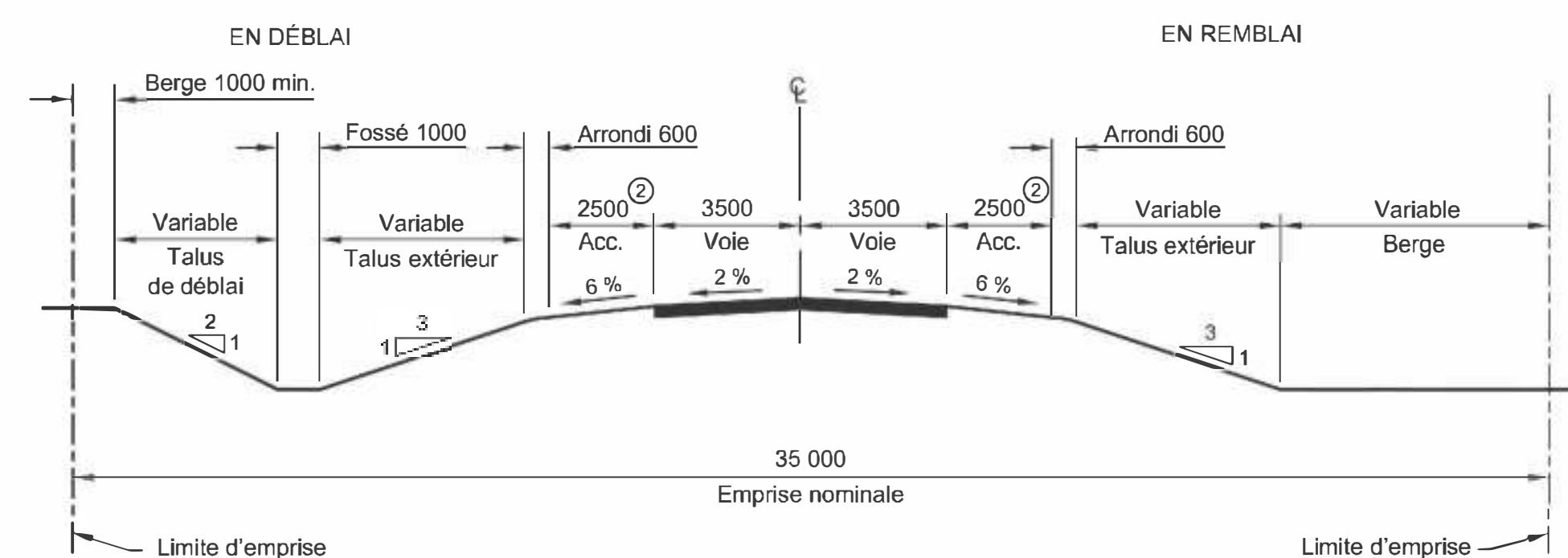
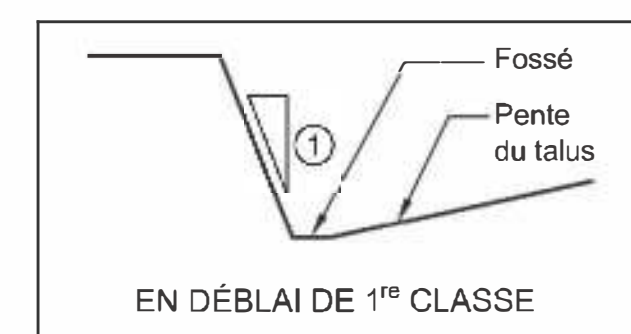


VUE EN PROFIL
ÉCHELLE HOR.: 1:5000
VER.: 1:500



VUE EN PROFIL
ÉCHELLE HOR.: 1:2000
VER.: 1:200

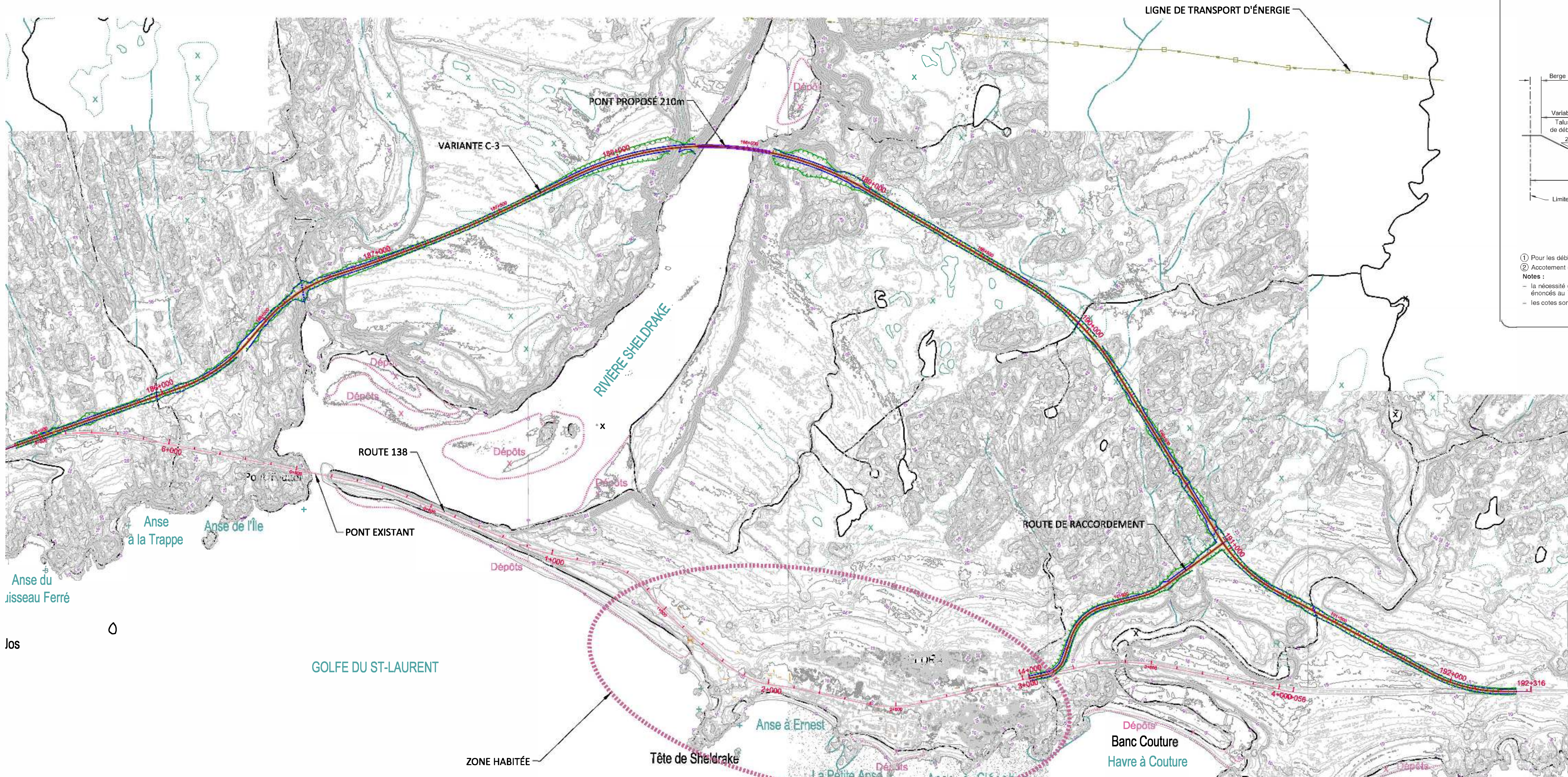
ROUTE NATIONALE : DJMA 500 – 2000
ROUTE RÉGIONALE : DJMA > 2000 – 10 000



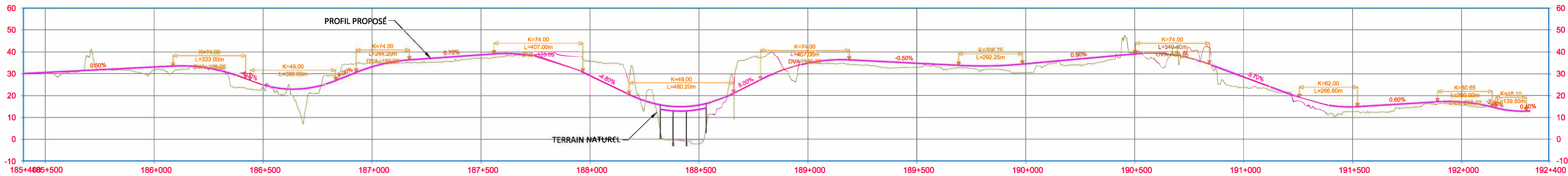
TYPE C : ROUTE NATIONALE OU RÉGIONALE

ÉTUDE DE CONCEPT
DATE: 2020-07-18

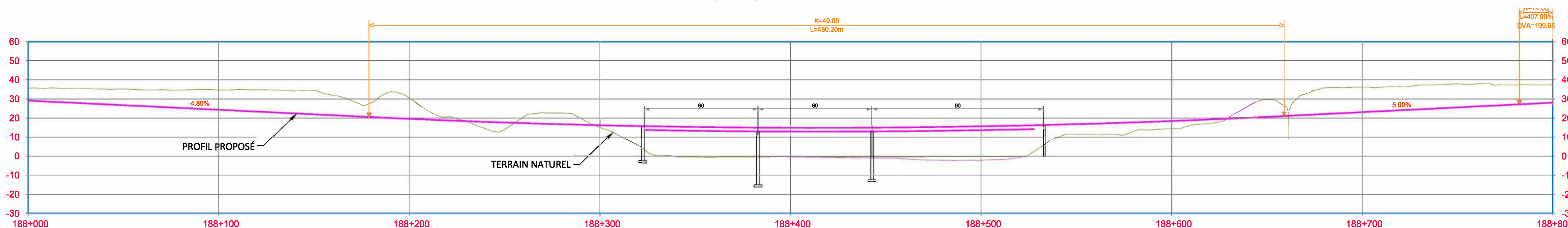
Route	Tronçon	Section
Route	Tronçon	Section
Faillet cartographique	Latitude	Longitude
Municipalité		Code
Municipalité régionale de comté		Code
Cronoscription électorale		Code
Centre de services		Code
Cadastre		Code
Cronoscription foncière		Code
Description		
AAAA-MM-JJ	Statut	Par
	Date d'émission du plan	
Mandataire		
Sous		
Vérificateur		
Équipe technique	Jasmin Beaulieu, tech. Benoit Turgeon, ing. Nicolas Guillemette Ing., M.Sc.	
Unité administrative	Sous-ministère aux territoires Direction générale de la Côte-Nord Direction des projets	
Titre	ROUTE DE CONTOURNEMENT SHELDRAKE SOLUTION C (VARIANTE C-1)	
Échelle	0 100 200 m	
Identification du dossier		
Identification du projet		
Numéro de plan		
Identification de regroupement		



VUE EN PLAN
ÉCHELLE HOR.: 1:7500



VUE EN PROFIL
ÉCHELLE HOR.: 1:7500
VER.: 1:750



VUE EN PROFIL
ÉCHELLE HOR.: 1:1000
VER.: 1:100

Contenu normal

ROUTE NATIONALE DJMA 500 – 2000
ROUTE RÉGIONALE : DJMA > 2000 – 10 000

EN DÉBLAI DE 1^{re} CLASSE

EN REMBLAI

TYPE C : ROUTE NATIONALE OU RÉGIONALE

Notes :

- ① Pour les déblais de 1^{re} classe, se référer au Tome II – Construction routière, chapitre 1 – Terrassement.
- ② Accotement (voir la section 5.6 – Recouvrement de l'accotement).

la nécessité d'un dispositif de retenue et, le cas échéant, la sur largeur de l'accotement doivent être évaluées en fonction des critères énoncés au Tome VII – Dispositifs de retenue;

les cotes sont en millimètres.

Route	Tronçon	Section
Route	Tronçon	Section
Faillet cartographique	Latitude	Longitude
Municipalité		Code
Municipalité régionale de comté		Code
Cronoscription électorale		Code
Centre de services		Code
Cadastre		Code
Cronoscription foncière		Code
Description		
AAA-MM-JJ	Statut	Par
	Date d'émission du plan	
Mandataire		
Sceau		
Vérificateur		
Équipe technique	Jasmin Beaulieu, tech. Benoît Turgeon, ing. Nicolas Guillemette ing., M.Sc.	
Unité administrative	Sous-ministère aux territoires Direction générale de la Côte-Nord Direction des projets	
Titre	ROUTE DE CONTOURNEMENT SHELDRAKE SOLUTION C (VARIANTE C-3)	
Échelles	0 10 20 30 40 50 60 m	
Identification du dossier		
Identification du projet		
Numéro de plan		
Identification de regroupement		

ÉTUDE DE
CONCEPT
DATE: 2019-12-18