



PORT de  
**vancouver**

Administration portuaire  
Vancouver-Fraser

# Lignes directrices

Protection des rivages (havre de Vancouver), inspection,  
entretien, conception et réparation v1.1

Ingénierie et entretien

3 juin 2022

## Contenu

Résumé .....	1
Définitions et glossaire .....	1
1. Introduction .....	5
1.1. Base du document .....	5
1.2. Objectif et limites du document .....	5
2. Contexte .....	6
2.1. Aperçu .....	6
2.2. Systèmes de référence en matière de rivages.....	7
3. Inspection générale et entretien .....	7
3.1. Recommandations générales relatives à l'inspection .....	8
3.2. Recommandations générales relatives à la réparation.....	8
3.3. Situations de réparation .....	8
3.3.1. Érosion localisée de la crête .....	9
3.3.2. Dommages à mi-pente .....	9
3.3.3. Dommages aux pieds.....	9
3.4. Stabilité géotechnique .....	10
3.5. Contrôle de la végétation .....	10
4. Définition des critères de conception.....	10
4.1. Durée de vie théorique .....	10
4.2. Événement de conception.....	10
4.3. Niveaux d'eau.....	12
4.3.1. Profondeur de l'eau .....	12
4.3.2. Système de référence altimétrique.....	12
4.3.3. Niveau moyen de la mer et augmentation du niveau de la mer.....	13
4.3.4. Niveaux de marée .....	14
4.3.5. Onde de tempête.....	14
4.3.6. Niveau total d'eau à des fins de conception.....	15
4.4. Climat éolien.....	15
4.5. Vitesses du vent .....	17
4.6. Climat des vagues .....	17
4.6.1. Vagues de vent.....	17
4.6.2. Vagues induites par les navires .....	18
4.6.3. Courants induits par le navire (sillage de l'hélice).....	19
4.7. Courants de marée.....	19
5. Conception.....	20
5.1. Recommandations générales en matière de conception.....	20
5.2. Tailles de roche .....	21

5.3. Tailles de roche recommandées pour le havre de Vancouver.....	22
5.4. Protection des pieds.....	23
5.5. Rivages inhabituels .....	24
6. Considérations environnementales .....	24
6.1. Envision™.....	25
6.2. Améliorations de l'habitat .....	25
6.2.1. Améliorations de l'habitat de la pente des rivages.....	25
6.2.2. Végétation de la crête.....	26
6.3. Améliorations apportées aux composants de protection des rivages.....	27
6.4. Autres méthodes et méthodes de développement.....	27
7. Mise en œuvre des réparations.....	27
7.1. Calendrier des travaux .....	28
7.2. Méthodologie de construction .....	28
7.3. Transport et trafic .....	29
7.4. Préparation du site .....	29
7.5. Mise en place de matériaux .....	30
7.6. Gestion environnementale .....	30
7.7. Contrôle de la qualité et assurance de la qualité .....	31
7.8. Considérations supplémentaires.....	32
7.8.1. Atténuation du bruit .....	32
7.8.2. Matériaux marins excavés.....	32
Références.....	32
Renseignements sur le document .....	33
Index de révision .....	33
Avis aux lecteurs .....	34
Annexe 1 : Type d'exposition pour certains actifs du havre de Vancouver .....	35

## Index des figures

Figure 1: Photo aérienne du havre de Vancouver.....	6
Figure 2: Emplacement approximatif (ligne verte) du rivage dans les années 1800.....	6
Figure 3: Dommages mineurs à la crête supérieure d'une pente d'armure de roche. ....	9
Figure 4: Zones de courant de marée pour la planification.....	20
Figure 5: Exemples de protection des pieds. ....	24
Figure 6: Améliorations potentielles de l'habitat (banc d'habitat et végétation de la crête) .....	26

## Résumé

En 2022, 29 terminaux maritimes importants sont exploités dans la zone juridictionnelle de l'Administration portuaire Vancouver-Fraser, ainsi que de nombreuses petites exploitations. Bon nombre de ces sites se trouvent dans la région intérieure du havre de Vancouver (VH) et sont protégés par des structures côtières de conception et d'âge divers.

Il n'est pas rare que des parties plus anciennes du rivage soient protégées par un mélange ponctuel de débris de construction. Les inspections des rivages existants ont révélé un écart important dans la qualité de la protection des rivages, les anciennes parties montrant des signes de dommages ou de détérioration.

Dans la plupart des cas, l'administration portuaire est le propriétaire direct de plusieurs de ces structures; cependant, selon les conditions du bail spécifique pour les terminaux individuels, le locataire de la propriété peut être responsable de l'entretien, de la réparation ou du démantèlement de la protection du rivage existante.

Ce document est destiné au personnel et aux locataires de l'administration portuaire à titre de référence par défaut pour les professionnels de la conception qui fournissent des services liés au rivage à l'administration portuaire ou à ses locataires dans le but spécifique d'inspecter, d'entretenir et de concevoir des réparations ou des remplacements de ces actifs de l'administration portuaire.

Le document n'est pas destiné à remplacer le jugement de l'ingénieur de conception ou des professionnels ou à remplacer les normes de pratique connexes. La responsabilité de la conception des rivages incombe toujours à l'ingénieur de conception officiel des projets.

Le document vise à fournir des conseils pratiques et des normes de pratique pour les activités courantes suivantes :

- (A) Inspection des actifs existants du rivage
- (B) Évaluation et développement des activités d'entretien, de réparation ou de remplacement
- (C) Définition des critères de conception pour les projets de réparation ou de remplacement
- (D) Conseils généraux ou pratiques exemplaires en matière de conception
- (E) Intégration des meilleures pratiques environnementales générales
- (F) Lignes directrices pour la planification des activités de mise en œuvre (construction)

Il est généralement admis qu'en raison du changement climatique en cours, les niveaux de la mer à l'échelle mondiale et locale augmenteront au fil du temps. Il existe encore une incertitude considérable par rapport aux taux des niveaux de la mer à l'échelle mondiale et locale dans un avenir prévisible; cependant, il est généralement admis cette incertitude est la plus importante sur des périodes de plusieurs décennies ou plus. La hausse du niveau de la mer a des répercussions importantes sur les installations portuaires. Des conseils sur la sélection des taux appropriés d'augmentation du niveau de la mer et sur la façon de tenir compte de ce processus dans les opérations en cours sont fournis.

## Définitions et glossaire

Acronyme ou symbole	Terme	Définitions
PDA	Probabilité de dépassement annuel	La probabilité qu'un événement spécifique se produise (ou soit dépassé) au cours d'une année donnée.
	Pierre de carapace	Pièces de roche individuelles utilisées dans les travaux d'enrochement ou de protection de pente d'armure de roche.

Acronyme ou symbole	Terme	Définitions
ZC	Zéro des cartes	Environ égal au niveau de marée astronomique le plus bas. Dans le port de Vancouver, le zéro des cartes est de 3,045 m sous <a href="#">CVD28GVRD</a> .
CGVD28	Système canadien de référence altimétrique, 1928	Approximativement égal au Niveau moyen de la mer (NMM) sur le rivage avant 2017.
CGVD28GVRD		La mise en œuvre spécifique du <a href="#">CGVD28</a> dans la région Metro Vancouver.
Dn50	Diamètre nominal médian	Diamètre nominal médian du matériau rocheux. Cinquante pour cent d'un échantillon de matériau est supérieur à D50 et 50 % est inférieur. Le pourcentage fait généralement référence à la masse du matériau dans l'échantillon.
TD	Tempête désignée	Une tempête, qui comprend des séries temporelles simultanées de vents, d'ondes de tempête et de vagues, avec une <a href="#">PDA</a> désignée spécifique
NEC	Niveau d'eau de conception	L'élévation de la surface de l'eau de base, qui comprend les allocations appropriées pour <a href="#">l'ENM</a> , le mouvement de la croûte terrestre, la marée, l'onde de tempête et potentiellement d'autres effets locaux, y compris la configuration du vent local.
	Probabilité de rencontre	La probabilité qu'un événement spécifique avec une <a href="#">PDA</a> définie se produise (ou soit dépassé) dans un nombre d'années défini.
	Fetch	La zone d'eau ouverte sur laquelle le vent peut générer des vagues. La longueur du fetch est généralement la plus longue distance entre le rivage en amont et un point défini.
	Franc-bord	La distance verticale entre un <a href="#">niveau de la mer au repos</a> , habituellement le <a href="#">NEC</a> et la crête du système de protection du rivage.
	Allocation de franc-bord	Une allocation généralement ajoutée à l'élévation calculée de la crête du système de protection du rivage pour tenir compte des incertitudes dans l'estimation des effets du <a href="#">NEC</a> ou des <a href="#">vagues</a> .
PMSGM	Pleine mer supérieure, grande marée	Moyenne des marées annuelles les plus élevées au cours du cycle de marée de 19 ans.
PMSMM	Pleine mer supérieure, marée moyenne	Moyenne de toutes les marées quotidiennes élevées, plus élevées à partir de 19 ans de prédictions.

Acronyme ou symbole	Terme	Définitions
BMIGM	Basse mer inférieure, grande marée	Moyenne des marées basses annuelles les plus basses au cours du cycle de marée de 19 ans.
BMIMM	Basse mer inférieure, marée moyenne	Moyenne des marées basses quotidiennes les plus basses au cours du cycle de marée de 19 ans.
ZRM	Zone riveraine maritime	L'interface zonale entre la terre et l'océan. La végétation riveraine maritime pousse souvent dans la ZRM joue plusieurs rôles écologiques importants (p. ex., filtrage des polluants, fourniture de nutriments et absorption ou amortissement de l'énergie des ondes et de l'eau de surface).
NMM	Niveau moyen de la mer	La hauteur moyenne de la surface de la mer, pour toutes les étapes de marée, sur une période de 19 ans. Environ égal à <a href="#">CGVD28</a> .
	Débordement	Le passage de l'eau au-dessus d'une structure côtière en raison de la montée des vagues, des ondes connexes et de la configuration locale. L'eau peut passer sous forme de débit d'eau ou de pulvérisation. Les caractéristiques du débordement sont propres au site, à la structure et à la vague.
	Enrochement	Système de protection contre les pentes constitué d'une large gradation de matériau rocheux placé en vrac. L'enrochement a tendance à avoir des vides plus petits en raison de la grande gradation et peut entraîner un écoulement plus élevé des vagues.
	Armure de roche	Système de protection des rivages composé de pierres de carapace avec une gradation plus étroite que l'enrochement, placées individuellement, généralement avec deux ou trois couches. Généralement placée par-dessus les matériaux sous la couche, ce qui offre à la fois un service de dissipation d'énergie et une action de filtre pour les matériaux de remblai ou in situ.
R <sub>2</sub> %		La <a href="#">montée des vagues</a> a dépassé de 2 % les vagues dans un <a href="#">état de mer</a> donné.
	État de mer	L'état de la surface de la mer sur une courte période (environ 20 minutes à une heure) et caractérisé par des paramètres sommaires de hauteur, de période et de direction des vagues.
ENM	Élévation au niveau de la mer	L'élévation du niveau de la mer, y compris : l'élévation du niveau de la mer à l'échelle mondiale causée par le réchauffement climatique, les effets locaux, y compris l'affaissement ou le soulèvement tectonique ou isostatique (glacial), et les effets océanographiques locaux.

Acronyme ou symbole	Terme	Définitions
Hs	Hauteur significative des vagues	La hauteur moyenne des vagues du 1/3 des vagues les plus élevées dans un état de mer donné.
	Protection « douce » des rivages	Les systèmes de protection « souples » des rivages comprennent, en termes généraux : l'alimentation, la restauration ou la construction de plages, la construction de dunes et de milieux humides, la préservation ou la restauration de végétation côtière, et la construction de récifs et de bermes près du rivage et d'éléments rocheux similaires, généralement rocheux dans le cadre du système.
	Niveau de la mer au repos	Le niveau de la mer en l'absence de vagues ou d'action du vent.
	Onde de tempête	La montée et la descente d'une masse d'eau sans marée, principalement due aux effets atmosphériques.
°T	Degrés, nord vrai	Direction en degrés, par rapport au nord vrai.
Tp	Période d'onde maximale	L'inverse de la fréquence à laquelle un spectre d'énergie d'onde atteint son maximum.
APVF	Administration portuaire Vancouver-Fraser	L'Administration portuaire Vancouver-Fraser est responsable de la gérance des terres portuaires fédérales de l'APVF de Vancouver.
VH	Havre de Vancouver	Défini comme faisant partie de la zone de compétence de l'APVF entre First Narrows (Lions Gate Bridge) à l'ouest et Second Narrows (Iron Workers Memorial Bridge) à l'est.
	Effets sur les vagues	Terme général qui comprend tous les aspects de l'interaction des vagues avec une structure côtière, y compris : <u>la formation des vagues</u> , la <u>montée des vagues</u> et le débordement.
	Montée des vagues	La hauteur verticale atteinte par les vagues sur une structure côtière. Mesurée à partir du <u>niveau d'eau stable actuel</u> .
	Formation des vagues	Surélévation de la surface de l'eau dans la zone de rupture des vagues en raison du transport de masse terrestre de l'eau par l'action des vagues seulement. La formation des vagues est souvent incluse implicitement dans les algorithmes de calcul relatif à la <u>montée des vagues</u> .

## 1. Introduction

### 1.1. Base du document

En 2022, 29 terminaux maritimes sont exploités dans la zone juridictionnelle de l'Administration portuaire Vancouver-Fraser, ainsi que de nombreuses petites exploitations. Bon nombre de ces sites se trouvent dans la région intérieure du havre de Vancouver et sont protégés par des structures côtières de conception et d'âge divers et, dans de nombreux cas, la protection du rivage est assurée par une structure de type armure de roche. Historiquement, le rivage du havre de Vancouver a été construit à l'aide de matériaux de remblai de divers types, placés au large du rivage naturel précoce. Il n'est pas rare que des parties plus anciennes du rivage existant soient protégées par un mélange ponctuel de débris de construction.

Les inspections des rivages du havre de Vancouver ont révélé un écart important dans la qualité de la protection des rivages, les anciennes parties montrant des signes de dommages.

Dans la plupart des cas, l'administration portuaire est le propriétaire direct de plusieurs de ces structures, cependant, selon les conditions du bail spécifique pour les terminaux individuels, le locataire de la propriété peut être responsable de l'entretien, de la réparation ou du démantèlement de la protection du rivage existante. Ce document est destiné à servir de ligne directrice pour orienter l'inspection, l'entretien ou la conception et la réparation des rivages dans la partie de l'administration portuaire située dans le havre de Vancouver.

Il y a eu de nombreuses avancées dans la compréhension de l'utilisation de la roche pour protéger les rivages dans l'environnement marin au cours des 30 dernières années. Il y a également une sensibilisation croissante à l'interaction entre le caractère du rivage et l'environnement marin. L'administration portuaire a une forte préférence pour les systèmes de protection des rivages qui montrent une bonne pratique en la matière et qui incluent ou prennent en compte les améliorations environnementales.

Il est également généralement reconnu qu'en raison du changement climatique mondial, les niveaux de la mer à l'échelle mondiale et locale, ainsi que les caractéristiques des tempêtes qui en découlent, vont augmenter ou s'intensifier et que les côtes de l'administration portuaire devront s'accommoder ou s'adapter à ces processus en cours.

Ce document est destiné au personnel et aux locataires de l'administration portuaire à titre de référence par défaut pour les professionnels de la conception qui fournissent des services liés au rivage à l'administration portuaire ou à ses locataires. Ce document n'est pas destiné à remplacer le jugement de l'ingénieur de conception ou des professionnels, ou à remplacer les normes de pratique connexes. La responsabilité de la conception des rivages incombe toujours à l'ingénieur de conception officiel des projets.

L'administration portuaire encourage une conception alternative, novatrice ou créative. Lorsque ces conceptions diffèrent des principes directeurs énoncés dans le présent document, les concepteurs doivent expliquer clairement pourquoi les solutions de remplacement permettent d'atteindre les mêmes objectifs ultimes, à savoir assurer une protection fonctionnelle, solide et appropriée du rivage.

### 1.2. Objectif et limites du document

De nombreux critères et problèmes doivent être pris en compte dans l'évaluation et la conception de la protection des rivages; cependant, les variations dans l'exposition, l'environnement local, les pratiques d'entretien et l'utilisation des hautes terres peuvent avoir une incidence importante sur les sites individuels. La durée de vie prévue d'un système de protection des rivages existant influencera également le processus d'évaluation et de conception. Ce document présente les principes de base de l'inspection, de l'entretien, de la conception et de la réparation des structures de protection des rivages. Il est destiné à être utilisé dans les cas suivants :

- (A) Réparation des rivages localement endommagés
- (B) Remplacement des structures côtières existantes qui ont atteint leur fin de vie ou qui ne sont plus adaptées à l'usage



- (C) Mises à niveau des rivages lorsque la zone adjacente des hautes terres est en cours de changement ou lorsque de nouvelles constructions sont prévues
- (D) Remise en état générale des rivages afin de « restaurer » un rivage à la fin d'un contrat de location
- (E) Nouvelle construction de protection des rivages

Le présent document ne s'applique pas à la protection des rivages pour les sites situés à l'extérieur de la partie du havre de Vancouver relevant de l'administration portuaire, p. ex., le long du fleuve Fraser ou dans de petits ruisseaux où des conditions hydrauliques peuvent s'appliquer. Il ne s'applique pas aux zones de l'administration portuaire directement exposées à l'environnement du détroit de Géorgie.

## 2. Contexte

### 2.1. Aperçu

Aux fins du présent document, le havre de Vancouver est défini comme la partie de la zone de compétence de l'administration portuaire entre First Narrows (Lions Gate Bridge) à l'ouest et Second Narrows (Iron Workers Memorial Bridge) à l'est, [Figure 1](#).

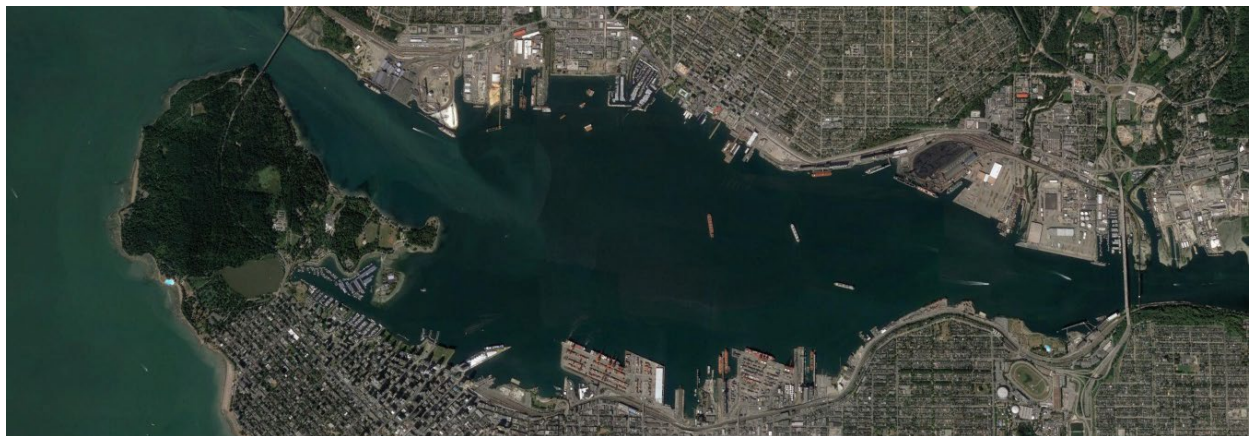


Figure 1 : Photo aérienne du havre de Vancouver (Réf. : Google Earth, 2017)

La responsabilité de l'ensemble du rivage incombe à diverses agences, y compris l'administration portuaire, la ville de Vancouver, le district de North Vancouver, la ville de North Vancouver, les Premières Nations et le ministère de la Défense nationale.

Il n'y a presque pas de rivage naturel dans le havre de Vancouver en raison du remblayage historique qui s'y est produit. Par exemple, toute la rive sud de Coal Harbour à New Brighton Park a été remblayée depuis sa ligne de flottaison d'origine (fin des années 1800) à la configuration actuelle, comme le montre la [figure 2](#).

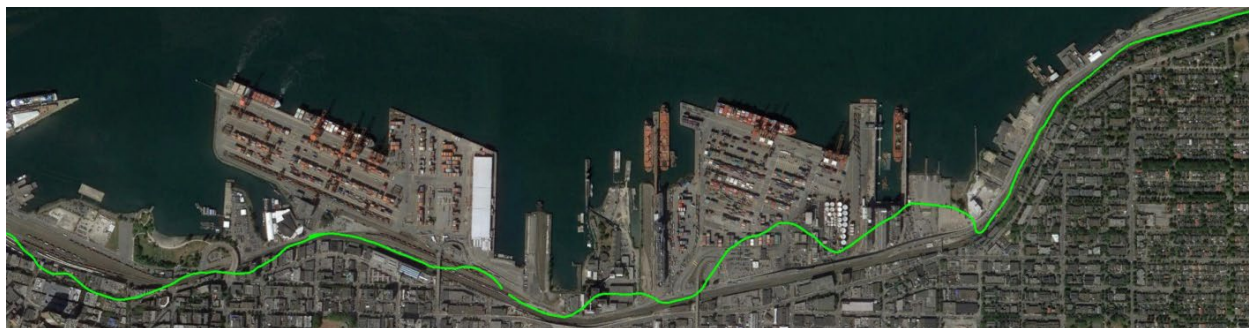


Figure 2 : Emplacement approximatif (ligne verte) du rivage dans les années 1800 (Réf. : Cartes d'assurance incendie de Goad)

En général, la majeure partie du rivage de l'administration portuaire, en particulier le long de la rive sud du havre de Vancouver, est construite à partir d'un remblai de qualité variable et est protégée par des systèmes de rivage qui varient des systèmes nouvellement construits, en bon état, aux anciens systèmes de protection des rivages, qui peuvent inclure des déchets de construction (surtout des dalles de béton ou d'asphalte) comme protection. Dans de nombreux cas, le remblayage du rivage a entraîné des rivages abrupts qui ont tendance à avoir une intersection plus profonde avec le fond marin naturel que celle où le rivage historique naturel reste plus ou moins en place.

## 2.2. Systèmes de référence en matière de rivages

Tous les actifs côtiers existants de l'administration portuaire ne disposent pas de dessins de construction ou de l'ouvrage fini conformes à l'exécution pour les systèmes de remise en état des terres et de protection du rivage. Lorsque des dessins existent, les systèmes de coordonnées et les plans de référence ne sont pas toujours cohérents. L'administration portuaire met à jour ses renseignements géoréférencés à l'aide d'un système basé sur le SIG pour ses actifs côtiers dans toute la zone portuaire. Dans le cadre de ce travail, l'administration portuaire a désigné des systèmes ou des caractéristiques de protection des rivages spécifiques avec des numéros d'actifs uniques.

L'administration portuaire utilise un système de chaînage local pour chaque actif afin d'identifier les emplacements et les points d'intérêt. Le système de chaînage pour les actifs côtiers du havre de Vancouver au moment de la publication de ce document est fourni à [l'annexe A](#).

Les distances sont mesurées le long du rivage à l'aide de la chaîne d'actifs. Le décalage est mesuré perpendiculairement à la ligne de base du chaînage. Les documents de conception et de réparation doivent utiliser les numéros d'actifs et le système de chaînage.

Les coordonnées horizontales doivent se trouver dans la zone UTM 10, NAD83. Les coordonnées verticales peuvent être exprimées par rapport au plan des cartes ou au plan géodésique (voir la [section 4.3.2](#)).

Les données horizontales et verticales doivent être clairement indiquées sur tous les documents et dessins.

Les concepteurs doivent consulter les plus récentes normes relatives au dessin de l'ouvrage fini de l'Administration portuaire Vancouver-Fraser, les normes de référencement linéaire de l'Administration portuaire Vancouver-Fraser et les lignes directives de référencement vertical de l'Administration portuaire Vancouver-Fraser pour connaître les dernières normes.

## 3. Inspection générale et entretien

Presque tous les systèmes de protection des rivages nécessitent une inspection et un entretien continus pour s'assurer qu'ils continuent à fournir le service prévu au moment de la conception et de la construction initiale. Pendant la durée de vie des systèmes, il est toujours possible de vivre une combinaison d'événements qui sont égaux ou supérieurs aux critères de conception d'origine et, par conséquent, certains dommages sont susceptibles de se produire. Les systèmes existants plus anciens peuvent montrer une accumulation de dommages résultant d'un dépassement occasionnel des critères originaux.

Dans n'importe quel port, les structures de protection du rivage seront également exposées à des changements dans les activités connexes, y compris le déploiement de navires plus grands ou plus puissants, ou des changements dans les composants terrestres de l'activité portuaire. Ces changements attendus peuvent avoir des conséquences sur le système de protection des rivages qui ne pourraient pas non plus être anticipées au moment de la conception.

Les effets continus des changements climatiques, y compris les changements de température, les précipitations, les caractéristiques des tempêtes et les niveaux de la mer, créeront également des situations, qui pourraient avoir des conséquences qui ne pourraient pas non plus être anticipées au moment de la conception. Des inspections périodiques et l'entretien nécessaire sont le seul moyen de s'assurer que les exigences de service et les attentes du système sont maintenues pendant toute la durée de vie du système.

L'entretien des systèmes de protection des rivages par une armure de roche nécessite généralement soit des réparations régulières pour éviter la détérioration liée aux dommages cumulés, soit un remplacement, en fonction des circonstances.

Des dommages modérés peuvent être acceptables dans certains endroits alors que dans d'autres endroits, où la fonction de protection de la pente peut être critique, les dommages ne doivent pas être laissés pour un événement moins grave, mais probable. L'évaluation des dommages acceptables et admissibles est souvent liée à l'utilisation des hautes terres. Par exemple, une aire de stationnement peut être en mesure de tolérer un niveau élevé de dommages accumulés, mais un bâtiment occupé, adjacent à la pente, ou à l'entreposage de marchandises de grande valeur dans une zone adjacente à la pente, peut créer un besoin et une justification pour une réparation ou une restauration immédiate de la zone.

Il convient de noter que la plupart des méthodes de conception supposent une quantité minimale, mais admissible, de dommages à un système correctement conçu et construit lors de l'événement de conception. Les tempêtes successives, mais moins graves, peuvent alors entraîner des effets cumulatifs qui font que les dommages causés par les tempêtes suivantes risquent d'être plus importants.

Il est recommandé de procéder à des inspections systématiques périodiques et de replacer les dommages observés dans le contexte du rythme auquel ils se produisent et de la durée de vie requise du système de protection des rivages. Tout dommage nouveau, d'une inspection à l'autre, mérite un suivi supplémentaire afin de déterminer les causes de ce dommage.

### 3.1. Recommandations générales relatives à l'inspection

Des inspections des actifs côtiers doivent être effectuées :

- (A) Au moins tous les cinq ans
- (B) Après des tempêtes notables, en particulier des tempêtes qui ont entraîné des inondations des zones terrestres terminales
- (C) Après des tempêtes qui ont entraîné la fermeture du port
- (D) Après des tempêtes associées aux avertissements de tempête publiés par Environnement Canada
- (E) Après des tempêtes accompagnées de marées printanières hivernales élevées

### 3.2. Recommandations générales relatives à la réparation

Plusieurs points à considérer pour les réparations d'urgence :

- (A) Les roches angulaires peuvent tolérer des pentes relativement abruptes, et une stabilité temporaire à une inclinaison de 1,3 : 1 (H : V) peut être obtenue pendant une courte période. Bien qu'elles ne soient pas souhaitables pour une réparation à long terme, les pentes abruptes peuvent être acceptables pour une réparation d'urgence afin d'arrêter l'érosion ou d'empêcher la perte de matériau de remblai.
- (B) Une couche filtrante est essentielle pour prévenir le lessivage des fines et le colmatage des espaces vides dans les couches d'armure. Les fines présentes dans la couche d'armure peuvent déstabiliser les roches de l'armure de surface ou les couches de couverture ondulées. Les réparations d'urgence doivent inclure une couche filtrante si aucun matériau rocheux ou seulement un matériau limité reste sur la pente de la zone endommagée.
- (C) Des dommages au sommet d'une pente peuvent être causés par des problèmes localisés de drainage de l'eau de surface. S'il y a des signes de concentration de drainage localisée à l'emplacement des dommages, des améliorations ou des contrôles du drainage doivent être envisagés au moment de la réparation d'urgence pour empêcher un écoulement à haute vitesse supplémentaire sur la protection de la pente.
- (D) La protection des rivages autour des structures verticales et non poreuses, y compris les cloisons, les caissons et les murs en feuille, doit être inspectée avec une attention particulière à l'érosion ou au déplacement des pierres blindées à l'interface entre la structure verticale ou non poreuse et le système de protection des rivages. Il convient de prêter attention à l'affouillement au niveau du pied de la protection du rivage. Les dommages causés par l'affouillement doivent être réparés de manière appropriée.

### 3.3. Situations de réparation

En cas de dommages localisés observés aux rivages, des réparations d'urgence ou temporaires sont recommandées pour minimiser les dommages futurs avant que toute réparation appropriée ne soit entreprise. Les exemples ci-dessous sont des situations fréquentes où des dommages simples ou des dommages cumulatifs ont été observés dans le havre de Vancouver.

### 3.3.1. Érosion localisée de la crête

La figure 3 montre une zone avec des dommages localisés à la crête de la protection de la pente. Une mauvaise construction peut avoir été un facteur contributif, car il n'y a pas de matériau de couche filtrante visible sur la pente supérieure. Une telle zone est susceptible de s'éroder davantage si elle est exposée aux vagues ou aux courants en période de crue, ou lors d'événements intenses de drainage de surface. Les conditions de niveau d'eau élevé deviendront plus fréquentes à mesure que les niveaux de la mer augmentent.

En cas d'érosion mineure et localisée de la crête, il est recommandé de placer d'urgence des matériaux rocheux comme mesure temporaire pour arrêter l'érosion.

Les solutions à plus long terme peuvent inclure l'augmentation du recul de la surface de la paroi de barrière en béton, l'amélioration du drainage de surface et la plantation d'une bande riveraine pour aider à réduire l'érosion lors d'événements de niveau d'eau élevé et de vagues ou lors d'événements de pluie abondante. Autrement, le remplacement des matériaux de la pente supérieure pour fournir une protection contre le ruissellement des vagues et fournir une voie de drainage libre dans la matrice rocheuse peut être approprié.



Figure 3 : Dommages mineurs à la crête supérieure d'une pente d'armure de roche.

### 3.3.2. Dommages à mi-pente

Les petits éboulements ou brèches dans les sections à mi-pente d'un système rocheux peuvent être réparés par la mise en place d'une petite quantité de matériau armé et le retraitement de la zone environnante immédiate à l'aide d'une petite excavatrice munie d'un outil en forme de ponce.

Pour les dommages localisés et modérés à la couche d'armure, par exemple lorsque l'emboîtement de l'enrochement de protection a été compromis, une excavatrice avec un accessoire en forme de ponce peut également être utilisée pour améliorer le contact entre les pierres de carapace individuelles afin d'améliorer leur stabilité, et pour ajouter une quantité limitée de matériau supplémentaire de taille appropriée. Les pierres individuelles doivent être retravaillées pour s'assurer que chaque pierre de carapace de la couche de surface dispose d'au moins trois points de contact avec les roches voisines.

### 3.3.3. Dommages aux pieds

Les dommages au pied du système de protection des rivages peuvent indiquer divers défauts, y compris un dimensionnement inadéquat des roches, une mauvaise mise en place des roches ou une érosion due à l'affouillement des fonds marins. Si des dommages au pied sont notés, les réparations doivent être effectuées dès que possible, car ils peuvent avoir de graves répercussions sur la stabilité globale de la pente si les matériaux en pente ascendante reposent et restent place grâce à la stabilité d'un pied.

Le type de réparation dépendra grandement de l'étendue et de la cause des dommages. Dans le cas d'une taille de roche inadéquate ou d'un mauvais positionnement de la roche de pied, il peut être suffisant de réparer ces anomalies avec de grosses pierres de carapace, qui sont bien insérées dans la roche environnante. Dans le cas d'un affouillement, le plan de réparation peut inclure le remblayage du trou d'affouillement avec un matériau approprié pour éviter qu'il ne se reproduise. Un tablier à lancement automatique sur le dessus de la berme de pied existant peut également être une alternative.

### 3.4. Stabilité géotechnique

La stabilité géotechnique et sismique des structures côtières n'est pas couverte dans le cadre de ce document; cependant, les pentes trop profondes ou les crêtes lourdement chargées (y compris les charges de roues élevées près de la crête ou les conteneurs empilés) peuvent nécessiter une considération géotechnique spéciale. À ce titre et ce qui concerne les actifs dotés de ces caractéristiques, il faudra demander à un ingénieur géotechnique qualifié d'évaluer la stabilité de la pente statique et sismique.

### 3.5. Contrôle de la végétation

Pour faciliter les inspections, il est recommandé que la végétation à la crête soit régulièrement coupée pour s'assurer que les pentes de l'armure de roche et les détails de celle-ci sont visibles. Ceci est particulièrement important pour les plantes grimpantes rampantes telles que les mûres envahissantes qui peuvent recouvrir ces structures et empêcher des inspections approfondies.

Les améliorations environnementales qui comprennent la végétation de la crête doivent être conçues et entretenues de manière à ce que la végétation reste au sommet de la crête et ne couvre pas la pente rocheuse. Le remplacement ou les nouvelles conceptions devraient encourager l'élimination des espèces envahissantes, promouvoir la plantation d'espèces autochtones de végétation adaptées aux environnements marins riverains et préserver autant que possible les espèces autochtones établies, comme décrit à [la section 6](#).

Dans certains cas, la plantation délibérée de végétation au sommet de la pente peut également réduire l'étendue ou les effets des inondations en amont.

## 4. Définition des critères de conception

### 4.1. Durée de vie théorique

Le service de conception ou la durée de vie utile d'un actif côtier est généralement défini en fonction de la durée pendant laquelle la structure côtière doit remplir l'objectif prévu, y compris l'entretien prévu. La durée de vie théorique est souvent étroitement liée au modèle d'affaires du terminal sur le côté terre de la structure côtière.

La durée de vie théorique de la nouvelle construction de rivage dans le havre de Vancouver est généralement de 50 ans.

La durée de vie théorique de la réparation des rivages existants doit être d'au moins 20 ans; cependant, dans certaines circonstances, la durée de vie de la réparation peut être liée à la durée restante du bail du locataire.

### 4.2. Événement de conception

Le concept d'un événement ou d'une tempête à prendre en compte pour la conception est trop simpliste dans de nombreuses situations. La définition des critères de conception appropriés, par exemple : la conception des vitesses de vent (et des directions); des niveaux d'eau; des paramètres d'état de mer (y compris les paramètres de hauteur, de période et de direction) ainsi que la conception des vitesses et des directions actuelles, doit être entreprise à l'aide d'une évaluation équilibrée des relations entre les différents éléments, des risques d'occurrence de l'événement prévu, de l'évolution des détails des

composants des critères à laquelle il faut s'attendre au cours de la durée de vie prévue pour la caractéristique du rivage et des exigences fonctionnelles de la structure. Cette évaluation des facteurs mène à la définition des [probabilités de dépassement annuel \(PDA\)](#) pour la définition des éléments des critères de conception appropriés, comme discuté plus loin.

Il est généralement admis qu'en raison du changement climatique en cours, les niveaux de la mer à l'échelle mondiale et locale augmenteront au fil du temps. Il existe encore une incertitude considérable par rapport aux niveaux de la mer à l'échelle mondiale et locale dans un avenir prévisible; cependant, il est généralement admis que cette incertitude est la plus importante durant plusieurs décennies, voire plus. La hausse du niveau de la mer a des répercussions importantes sur les installations portuaires. Des lignes directrices sur la sélection des taux appropriés d'augmentation du niveau de la mer sont fournies ci-dessous.

La hausse des niveaux de la mer introduit également un élément complexe dans le choix des éléments appropriés des critères de conception en raison de l'interaction inhérente entre la fonction de protection des rivages et les conséquences d'un débordement sur les infrastructures liées à l'utilisation des terres voisines.

Sur la plupart des sites, l'élévation du sommet du système de protection du rivage est fixée par la nature des opérations du terminal et par la nécessité d'assurer l'interface avec les éléments de la chaîne d'approvisionnement, notamment les pentes des routes, les lignes ferroviaires existantes, les structures d'amarrage et les infrastructures connexes.

À mesure que les niveaux de la mer augmentent lentement au cours de la durée de vie d'un terminal particulier, l'élément de protection des rivages du terminal subira deux changements importants :

- (A) Les processus liés aux tempêtes (vents, ondes, vagues et courants et pluies) peuvent changer en intensité, en durée ou en fréquence d'occurrence, en raison du changement climatique. Dans les eaux côtières de la Colombie-Britannique, la compréhension actuelle est que les changements d'intensité ne devraient pas être importants et peuvent être ignorés. Cependant, il est probable que l'occurrence « d'événements de conception » (surtout dans les eaux limitées du fetch du havre de Vancouver) deviendra plus fréquente et que la durée des conditions de tempête connexes pourrait s'allonger.
- (B) Au fur et à mesure que les niveaux de la mer augmentent, le système de protection des rivages sera exposé à des processus liés aux tempêtes à des altitudes de plus en plus élevées. Cela a plusieurs implications :
  - Selon la profondeur de l'eau au niveau du pied d'un système de rivage, la hauteur des vagues peut augmenter, car la profondeur actuelle du niveau de l'eau peut limiter les effets des vagues de rupture.
  - Si le niveau de surface de la zone en amont n'est pas élevé, ce qui est la situation habituelle dans un terminal en exploitation, la partie supérieure du système de protection du rivage sera davantage exposée à la [montée des vagues](#) et aux effets connexes, ce qui peut exposer la crête de la structure du rivage à des dommages, plus fréquemment et plus longtemps que prévu.
  - Un effet souvent négligé ou mal compris est l'influence du ruissellement de l'eau de surface et des effets d'interaction au sommet de la protection du rivage. Si la conception du drainage des eaux pluviales de surface n'est pas adéquate pour augmenter le drainage lié aux eaux de pluie, le ruissellement des eaux de surface en haut du système de rivage peut entraîner des dommages accumulés qui ont des conséquences lorsque des effets liés aux vagues se produisent dans la même zone à des niveaux élevés d'eau (marée et houle).

L'augmentation de la fréquence et de l'ampleur de la [montée des vagues](#), signifie que les systèmes de rivage ont plusieurs voies de défaillance potentielle qui doivent être prises en compte dans la définition des constituants des critères de conception :

- (A) Le système d'armure des pentes du rivage doit être conçu pour être stable sur toute la gamme des niveaux d'eau prévus pendant la durée de vie du projet
- (B) La conception de la crête du rivage doit être stable à la fois aux effets directs des vagues aux niveaux d'eau plus élevés, mais aussi aux conséquences du débordement, des inondations et du ruissellement subséquent des eaux de surface lors d'événements plus fréquents, mais potentiellement moins graves

Ce scénario de conception en évolution peut être mieux géré à l'étape de conception pour les réparations ou l'entretien en adoptant une approche de conception de risque équilibrée. Dans cette approche, l'objectif est de s'assurer que la probabilité de rencontre des critères de base en matière de conception reste constante au cours de la durée de vie restante du projet.

Un exemple de cette approche équilibrée en matière de risque est illustré dans plusieurs scénarios du [tableau 1](#). Les scénarios correspondent aux éléments suivants :

- (A) La probabilité de rencontre acceptable sur une durée de vie limitée est de 39 %, basée sur la pratique courante de choisir une [PDA](#) de 1/100 pour une durée de vie de 50 ans dans le havre de Vancouver.
- (B) Le risque acceptable de rencontrer « l'événement de conception » pendant la durée de vie restante demeure constant. L'effet sur [la PDA](#) appropriée est indiqué dans le [Tableau 1](#).

**Tableau 1 : Relation entre la probabilité de rencontre et la probabilité de dépassement annuel**

	Durée de vie restante du projet				
	50	25	15	5	2
<b>Probabilité de rencontre acceptable sur la durée de vie du projet</b>	39 %				
<b>PDA pour le projet</b>	1/100	1/50	1/30	1/10	1/4

Des lignes directrices spécifiques sur les éléments constitutifs des événements de conception pour certaines PDA sont fournies ci-dessous.

### 4.3. Niveaux d'eau

#### 4.3.1. Profondeur de l'eau

La bathymétrie générale du port et la profondeur de l'eau sur un site terminal spécifique peuvent être obtenues à partir de la dernière édition des tableaux 3493 et 3494 du Service hydrographique canadien (SHC). Sur certains sites, l'administration portuaire dispose de données d'arpentage multifaisceaux à haute résolution plus récentes. Communiquez avec le service d'ingénierie de l'administration portuaire pour déterminer les dernières données disponibles pour un site donné.

#### 4.3.2. Système de référence altimétrique

L'administration portuaire utilise le [zéro des cartes \(ZC\)](#) comme système de référence altimétrique pour toutes les structures sur l'eau. Les structures qui ne sont pas associées à l'eau peuvent utiliser le référentiel géodésique.

Les niveaux d'eau (marées) sont généralement mesurés dans le havre de Vancouver à la station CHS 7735 et signalés par rapport au zéro des cartes. Les conversions entre le zéro des cartes et le référentiel géodésique sont fournies dans le [tableau 2](#).

**Tableau 2 : Conversion des données en zéro des cartes dans le havre de Vancouver**

Géodétique	Conversion en zéro des cartes (ZC)	Remarques
CGVD2013	2,897 m au-dessus du ZC	Système canadien de référence altimétrique de 2013, conversion pour le havre de Harbour à la station CHS 7735. CGVD2013 n'a pas encore été entièrement intégré au Canada. Metro Vancouver utilise généralement toujours <a href="#">CVD28GVRD</a> .
<a href="#">CVD28GVRD</a>	3,045 m au-dessus du ZC	Système de référence altimétrique canadien de 1928 pour le Greater Vancouver Regional District. Conversion pour le havre de Vancouver à la station CHS 7735.
Géodésique (NMM)	2,975 m au-dessus du ZC	La conversion du référentiel géodésique a été adoptée par l'administration portuaire en 1983 pour remplacer les DCPN. Cela était probablement égal au CGVD28 à l'époque.
Données du Conseil des ports nationaux (DCPN)	25,228 m au-dessus du ZC	Utilisées par l'administration portuaire avant 1983 et encore présentes sur certains anciens dessins de l'ouvrage fini.

La conversion du référentiel géodésique (NMM) de 2 975 m au-dessus du ZC est toujours utilisée par l'administration portuaire en 2017; cependant, la référence appropriée doit être confirmée à l'aide de la version la plus récente des Lignes directrices relatives au système de référence altimétrique de l'Administration portuaire Vancouver-Fraser.

Il convient de noter que le système de référence altimétrique de 1928 et de 2013 n'ont pas la même base théorique et ne coïncident pas. Il convient de veiller à ce que des références précises aux données soient enregistrées dans tous les documents et dessins de l'ouvrage fini.

Pour les sites qui n'ont pas de renseignements récents (plus de 20 ans) sur l'arpentage du site, de nouvelles études de site au moyen d'équipement moderne, liées aux borne d'arpentage actuelles, doivent être utilisées pour établir un contrôle vertical sur le site.

#### 4.3.3. Niveau moyen de la mer et augmentation du niveau de la mer

La géodésique et le système de référence altimétrique [CVD28GVRD](#) sont essentiellement référencés à un niveau de mer moyen historique à long terme. L'élévation relative du niveau moyen de la mer locale a lentement changé dans le passé et le taux devrait lentement augmenter davantage à court terme (20 à 25 ans). La hausse à plus long terme du niveau de la mer locale augmentera probablement à des taux plus rapides; cependant, il existe encore une incertitude considérable par rapport au niveau de la mer à l'échelle mondiale et locale dans un avenir prévisible. L'ENM et l'élévation du niveau moyen futur de la mer ainsi que les élévations des niveaux de marée sont des considérations très importantes en ce qui concerne le débordement potentiel et les inondations en amont à n'importe quel site du terminal.

Les lignes directrices provinciales actuelles de la Colombie-Britannique, [réf. \[1\]](#), recommandent que la planification des rivages prenne en compte 1 m d'ENM mondial d'ici l'année 2100 (au-dessus des niveaux d'eau de l'année 2000). [La réf. \[1\]](#) indique également que les prédictions d'augmentation future du niveau de la mer doivent être mises à jour à des intervalles de dix ans ou lorsque des renseignements scientifiques importants deviennent disponibles.



La hausse du niveau de la mer dépendra également du mouvement de la croûte locale, qui peut être différent selon l'emplacement dans le havre de Vancouver. Les lignes directrices actuelles sur les mouvements de croûte terrestre mesurés sont fournies dans la [réf. \[4\]](#).

Il est également important de noter que le zéro des cartes est un plan de référence qui est lié au niveau d'eau attendu le plus bas. L'ENM future changera l'élévation relative du zéro des cartes en référentiel géodésique au fil du temps, ce qui nécessitera une documentation minutieuse pour s'assurer qu'aucune erreur n'est faite lors du travail avec des ensembles de dessins de l'ouvrage fini.

Pour la conception de nouvelles structures ou la réparation de structures existantes, l'ENM prévue pour la durée de vie restante de la structure doit être pris en compte.

#### 4.3.4. Niveaux de marée

Les niveaux de marée astronomique au havre de Vancouver sont définis en fonction des mesures à long terme à la station CHS 7735, située à l'extrémité nord de la Place du Canada et rapportées par rapport au zéro des cartes. Les amplitudes des marées sont officiellement indiquées dans le Volume 5 des Tables des marées et courants du Canada et sont mises à jour annuellement. La dernière version du Volume 5 doit toujours être consultée.

Les amplitudes de marées actuelles (2017) pour le havre de Vancouver sont définies dans le [tableau 3](#).

**Tableau 3 : Élévations des marées astronomiques dans le havre de Vancouver**

Niveau de marée	Zéro des cartes	Référentiel géodésique	Commentaire
		Basé sur le facteur de conversion de l'administration portuaire, Tableau 2	
PMSGM	5,0	2,0	
PMSMM	4,5	1,5	
Niveau de la marée haute	3,1	0,1	Les éléments CHS du havre de Vancouver montrent que le Niveau de la marée haute (Zo) dans la dernière époque de marée analysée est égale à 3,06 m en ce qui concerne le ZC.
BMIMM	1,2	-0,3	
BMIGM	0,1	-2,9	

Les définitions des niveaux de marée sont disponibles dans le Volume 5 des Tables des marées et courants du Canada, ainsi que dans les [définitions et le glossaire](#) de ce document.

#### 4.3.5. Onde de tempête

La définition des ondes de tempête prévues dans le VH est résumée dans la [réf. \[4\]](#), basée sur une analyse détaillée des mesures du niveau d'eau résiduelle dans les eaux du sud de la Colombie-Britannique et à partir de la station CHS 7735 dans le havre.

**Tableau 4 : Résumé des ondes de tempête prévues dans le havre de Vancouver**

PDA (pourcentage de chance d'être égalé ou dépassé au cours d'une année)	PDA (1/intervalle moyen de récurrence en années)	Havre de Vancouver
50 %	Annuel prévu	0,73
20 %	1/5	0,83
10 %	1/10	0,9
4 %	1/25	1,10
2 %	1/50	1,1
1 %	1/100	1,2
0,2 %	1/500	1,3
0,1 %	1/1000	1,4

#### 4.3.6. Niveau total d'eau à des fins de conception

Le niveau d'eau total à considérer pour la conception de la protection des rivages est une considération détaillée qui doit tenir compte de tous les aspects du système de protection des rivages et des implications pour le terminal sur un site donné.

À titre d'exemple, la stabilité du système de protection des rivages doit tenir compte des éléments constitutifs des critères de conception (niveau des marées, ondes des tempêtes, hausse du niveau de la mer et vents ou vagues simultanés) qui sont conformes aux recommandations de la [section 4.2](#) et du [tableau 1](#). Dans ce cas (stabilité de la protection des rivages), le paramètre le plus important à considérer est l'état de marée à considérer comme coïncidant avec l'heure d'arrivée de la tempête prévue ou des vagues maximales. Les vagues à marée basse peuvent régir la conception de la stabilité des pieds du système de protection des rivages. Les vagues à marée haute, en même temps qu'une certaine onde de tempête, régiront probablement la stabilité de la crête du système de protection des rivages.

La stabilité de la crête du système de protection des rivages et l'attente d'inondations sur les zones en amont seront très sensibles aux combinaisons de PDA pour les éléments individuels des critères de conception. Une plage de combinaisons d'événements à probabilité élevée et faible doit être vérifiée. Les combinaisons raisonnables qui pourraient être envisagées comprennent :

- (A) PMSGM + onde de tempête annuelle prévue + vagues annuelles maximales prévues générées par le vent
- (B) Niveau modal de la marée d'hiver + PDA onde de tempête + PDA vagues maximales prévues générées par le vent
- (C) PMSMM + onde de tempête annuelle prévue + PDA vagues maximales générées par le vent.

Ces combinaisons suggérées doivent être considérées comme des combinaisons par défaut dont il convient de vérifier les implications pour le sommet de la pente et les problèmes connexes (inondations). Dans les situations de grande valeur ou critiques (perte de vie potentielle), les lignes directrices de la [réf. \[1\]](#) doivent être consultées.

## 4.4. Climat éolien

Le climat éolien du havre de Vancouver reflète la combinaison de la force éolienne synoptique sur le sud de la Colombie-Britannique et les caractéristiques orographiques de la zone portuaire. Il n'existe pas de mesures à long terme des vents dans les eaux libres du havre de Vancouver et la pratique courante

dans la zone portuaire consiste à estimer le climat éolien en se basant sur des extrapolations et des modifications des données sur les vents dans les zones voisines.

Les dossiers enregistrés et archivés sur le vent peuvent être obtenus auprès des stations suivantes :

(A) Aéroport international de Vancouver

- N° de station d'Environnement Canada : 1108447
- Latitude/longitude : 49° 11 pi 42 po N – 123° 10 pi 55 po O
- Période de données : du 1er janvier 1953 au 13 juin 2013

(B) Aéroport international de Vancouver

- N° de station d'Environnement Canada : 1108395
- Latitude/longitude : 49° 11 pi 41 po N – 123° 11 pi 02 po O
- Période de données : du 11 juin 2013 à ce jour

(C) Havre de Vancouver

- N° de station d'Environnement Canada : 1108446
- Latitude/longitude : 49° 17 pi 43,27 po N – 123° 07 pi 18,73 po
- Période de données : du 20 janvier 1976 au 31 mars 1988

(D) Point Atkinson

- N° de station d'Environnement Canada : 1106200
- Latitude/longitude : 49° 19 pi 49,30 po N – 123° 15'53.00"
- Période de données : du 05 mai 1996 à ce jour

Les stations 1108447 et 1108395 de l'aéroport international de Vancouver (YVR) sont à 150 m de distance et supposées mesurer le même vent (vitesse et direction). Cette hypothèse se traduit par un record total d'environ 62 ans de données éoliennes à l'emplacement de l'aéroport de Vancouver. Cette station, sous réserve des modifications décrites ci-dessous, peut être utilisée comme base pour la définition des vents dans le havre de Vancouver jusqu'à ce que des vents de mer deviennent disponibles dans la zone portuaire elle-même.

L'anémomètre de la station du havre de Vancouver 1108446 a été mis hors service en 1988 et le dossier archivé est trop court pour définir de manière fiable le climat éolien dans toute la zone portuaire.

Il y a plusieurs autres stations météorologiques exploitées dans la région du havre de Vancouver par des organismes provinciaux ou municipaux. La station de West Vancouver AUT est située sur le côté de Cypress Mountain. Les vitesses et les directions du vent ne semblent pas être représentatives des vents de mer dans le havre de Vancouver. Metro Vancouver exploite également des stations de surveillance météorologique et de la qualité de l'air dans la région. L'une de ces stations est située à l'est du pont Second Narrows à North Vancouver. Des précautions sont nécessaires pour interpréter les directions et les vitesses du vent de cette station en raison de la turbulence structurelle qui a été observée pour déformer la direction et la vitesse du vent à cet endroit.

Les vents dans la région du havre de Vancouver sont très fortement influencés par l'interaction des vents entrant et sortant de la vallée du Fraser et les effets de convergence connexes avec les vents présents dans le détroit de Géorgie. Il est généralement reconnu que dans les directions est vers le sud-est et le sud-ouest, les vents dans le havre sont à la fois plus à l'est que ceux mesurés à l'aéroport de Vancouver et généralement moins forts que ceux mesurés à YVR. Les données éoliennes non modifiées de l'aéroport de Vancouver donneront lieu à des estimations de vents de mer dans le havre qui sont trop élevées.

La station Point Atkinson prévoit généralement des vitesses de vent plus élevées que les stations YVR et havre de Harbour, peu importe la direction du vent. Les vents de Point Atkinson ont également tendance à être canalisés dans le secteur est/ouest en raison des effets topographiques localisés à l'emplacement du phare.

## 4.5. Vitesses du vent

Une comparaison directe des vents mesurés simultanément au port de Vancouver (station 1108446) et aux deux stations YVR, sur la durée des enregistrements correspondants disponibles, montre qu'en moyenne, les vitesses du vent à la station du port de Vancouver sont d'environ 0,93 \* à la station YVR. Ce facteur d'échelle est valide pour les vents de l'ouest et de l'est au-dessus de 10 nœuds.

Une analyse de la valeur extrême de crête au-dessus du seuil, utilisant des vents YVR pondérés (0,93) sur une base directionnelle a révélé que les vitesses du vent de mer de 1/100 (1 %) de la PDA étaient de 23,0 m/s pour les vents de l'ouest et de 19,6 m/s pour ceux de l'est.

Les vitesses moyennes annuelles du vent de mer de la PDA étaient de 16,2 m/s pour les vents de l'ouest et de 13,0 m/s pour ceux de l'est.

Il est important de noter que les données des vitesses du vent « à l'heure » fournies par Environnement Canada (EC) ne sont pas une véritable vitesse moyenne horaire du vent. Les données des vitesses du vent à l'heure des stations EC sont généralement une vitesse moyenne de deux minutes prise chaque heure. La pratique d'ingénierie des travaux maritimes a révélé que les vitesses des vents à l'heure d'EC fournissent des estimations raisonnables de la force du vent sur la mer libre; cependant, les données ne captent probablement pas les vitesses de vent de plus courte durée (par exemple, les moyennes de vitesse du vent de 20 ou 30 minutes), qui peuvent être à la fois plus élevées et peuvent agir sur de courtes longueurs de fetch.

Il convient également de noter que le facteur d'échelle de 0,93 décrit ci-dessus peut ne pas refléter entièrement l'accélération au-dessus de la mer des vents du havre, en particulier lors des événements de vents de l'ouest, lorsque la station du havre de Vancouver a été partiellement abritée par les effets du parc Stanley.

Bien qu'une véritable vitesse moyenne horaire du vent soit généralement inférieure à une vitesse moyenne du vent de deux minutes, le registre horaire du vent d'EC est actuellement recommandé pour estimer les conditions des vagues de conception dans le havre de Vancouver.

## 4.6. Climat des vagues

L'état de mer au havre de Vancouver est généralement une combinaison de vagues générées par le vent et de divers sillages de navires. Dans le but de dimensionner la protection des rivages autour du périmètre du havre de Vancouver, les deux sources doivent être prises en compte.

### 4.6.1. Vagues de vent

Les vagues de vent au niveau de la conception dans le havre de Vancouver sont généralement générées par des vents modérés à forts à l'est ou à l'ouest soufflant le long de l'axe du havre. La hauteur maximale des vagues de vent est limitée par l'étendue du fetch en mer libre à travers le havre. Le plus long fetch dans le havre de Vancouver est d'environ 7 km, de First Narrows West à Columbia Containers, pour les vents d'ouest.

Plusieurs méthodologies standard de l'industrie, par exemple le Rock Manual (réf. 9, chapitre 4, section 4.2), permettent d'estimer la hauteur des vagues de vent dans des conditions limitées de fetch. Les hauteurs des vagues doivent être calculées à des emplacements de terminal spécifiques pour les longueurs pertinentes de fetch, les vitesses du vent et les directions d'exposition. [Le tableau 5](#) fournit des valeurs de hauteur d'onde significatives pour le fetch le plus long dans le havre et pour les vents de l'ouest et de l'est.

**Tableau 5 : État de mer relatif aux plus longs fetches dans le havre de Vancouver**

Direction du vent	Vitesse du vent (VV)	Fetch	Hauteur significative des vagues (H <sub>s</sub> )	Période d'onde maximale (T <sub>p</sub> )	Utilisation
Ouest	16,2 m/s (PDA annuelle)	~8 km	0,8 m	2,8 s	Voir la <a href="#">section 4.2</a>
	23,0 m/s (PDA de 1/100)		1,2 m	3,2 s	
Est	13,0 m/s (PDA annuelle)	~6 km	0,5 m	2,4 s	
			0,8 m	2,8 s	

Sur les sites des terminaux exposés principalement aux vents du sud ou du nord, le fetch maximal dans le port de Vancouver est inférieur à 3 km et les hauteurs des vagues de conception seront probablement plus petites que celles du [tableau 5](#).

La hauteur des vagues est généralement désignée par H<sub>p</sub> %; l'indice fournit des renseignements sur le nombre de vagues qui constituent la base de l'estimation et donnent une idée du nombre de vagues qui dépassent cette hauteur. Par exemple :

- H<sub>m</sub> = hauteur moyenne des vagues (aussi appelée H<sub>1/2</sub>)
- H<sub>1/3</sub> = moyenne des 1/3 les plus élevés des hauteurs de vagues (également appelée H<sub>s</sub> ou hauteur de vague significative)
- H<sub>1/10</sub> = moyenne des 1/10 les plus élevés des hauteurs de vagues dans l'état de mer
- H<sub>2</sub> % = hauteur des vagues dépassée de 2 % par rapport aux hauteurs des vagues dans l'état de mer

Certaines formules pour déterminer le dimensionnement de l'armure de roche utilisent H<sub>2</sub> %. Le rapport entre H<sub>2</sub> % et H<sub>s</sub> peut être pris comme ~1,4 pour les conditions en eaux profondes, [réf. \[9\]](#). Les conditions en eau profonde sont définies comme celles où la profondeur de l'eau est supérieure à la moitié de la longueur de vague en eau profonde et est une profondeur où le fond marin n'interagit pas avec la vague.

Les vagues de la baie des Anglais peuvent se propager dans le havre de Vancouver par le biais de First Narrows lors d'une marée montante, mais il n'y a aucune preuve que la houle de longue période provenant du détroit de Géorgie se propage dans le havre et affecte les rivages. Les marées descendantes sont observées pour limiter la propagation de l'énergie des vagues dans le havre. L'évaluation des hauteurs des vagues du côté ouest de l'installation de Vancouver Wharves (près du pont Lions Gate) doit être entreprise par un ingénieur qualifié des travaux maritimes, car cette zone est soumise à des interactions complexes avec les vagues et les courants, en plus des sillages des navires.

De nombreux rivages du havre de Vancouver sont abrités partiellement ou entièrement, en raison de l'exposition directe aux vagues générées par le vent par les structures marines voisines. Bien que les abris puissent réduire la hauteur des vagues incidentes et donc la taille requise pour l'armure de roche du rivage, il convient de noter que les activités des navires, telles que le sillage des remorqueurs et l'affouillement induit par les hélices, doivent également être prises en compte dans certaines zones abritées. Ces effets peuvent dominer.

#### 4.6.2. Vagues induites par les navires

Les rivages du havre de Vancouver sont exposés au sillage du trafic maritime dans le havre. Les vagues induites par les navires, qui posent problème pour l'aménagement du rivage dans le havre, sont généralement basées sur trois types de navires typiques opérant dans le havre :

(A) Navires-citernes Aframax

(B) Vraquier de fort tonnage

(C) Gros remorqueurs

Les particularités du navire et les vagues de conception estimées sont énumérées dans le [tableau 6](#).

À certains endroits du navire dans le havre, les vagues induites par le Seabus pourraient être un facteur déterminant en raison de la persistance relative de cet effet de sillage.

La hauteur estimée maximale des vagues à partir du sillage d'un navire dans le havre est généralement inférieure à celle prévue lors d'une charge pluviale, mais on s'attend à ce qu'elle se produise plus régulièrement. La ligne de décalage de navigation (la distance entre la trajectoire du navire et le rivage) et son orientation relative ont également un effet important et les valeurs du [Tableau 6](#) doivent être vérifiées par un ingénieur professionnel qualifié si le sillage du navire est une préoccupation particulière sur un site donné.

**Tableau 6 : Détails du navire et vagues connexes**

	Gros navire-citerne ou vraquier	Gros remorqueur
Longueur globale (m)	250 m à 303 m	30 m
Faisceau (m)	44 m	13 m
Calaison (m)	15 m	5,4 m
Vitesse de croisière (nœuds)	8 nœuds	12 nœuds
Décalage de la ligne de navigation par rapport au rivage (m)	450 m	200 m
Hauteur maximale des vagues	0,2 m	0,8 m
Périodes des vagues	3,2 s	3,2 s

#### 4.6.3. Courants induits par le navire (sillage de l'hélice)

Tout rivage adjacent aux opérations du navire peut connaître des vitesses de fonds marins plus élevées que celles qui se produisent naturellement, en raison des effets de marée. Les débits à grande vitesse provenant du sillage de l'hélice peuvent endommager les systèmes de protection des rivages. C'est particulièrement le cas lorsque les remorqueurs fonctionnent à proximité ou lorsque le système peut être exposé au propulseur d'étrave ou au sillage principal de l'hélice des grands navires pendant les manœuvres d'amarrage ou de départ.

La conception de la protection du rivage pour le sillage de l'hélice doit être entreprise par un ingénieur professionnel qualifié ayant de l'expérience en ingénierie des travaux maritimes.

#### 4.7. Courants de marée

Dans la plupart des situations, les courants de marée sont généralement faibles (moins de 2 nœuds) dans le havre de Vancouver, à l'exception des zones proches des First et Second Narrows où le rétrécissement accélère les flux de marée. Les vitesses actuelles dans le canal First Narrows peuvent atteindre 6 nœuds pendant les marées printanières. À l'est de Brockton Point, le courant de marée s'élargit et ralentit. De grands contre-courants et des tourbillons sont présents dans le havre, comme on peut l'observer entre Brockton Point et le quai Canada Place lors d'une marée montante ([Réf. \[12\]](#)).

La figure 4 indique approximativement les zones du havre qui sont potentiellement exposées aux courants de marée rapides (sans tenir compte des courants induits par le sillage de l'hélice). Dans les zones à courants lents (vert), on s'attend à ce que les courants de marée ne soient pas un facteur directeur dans la conception; cependant, selon la forme et l'orientation du rivage, des zones locales à courants de marée plus élevés peuvent exister.



Figure 4 : Zones de courant de marée pour la planification (rouge = rapide, orange = modéré, vert = lent)

## 5. Conception

La conception de la protection des rivages par une armure de roche doit tenir compte des conditions propres au site, comme expliqué à la [section 4](#), et doit suivre les principes de conception établis comme décrit dans cette section.

Tous les travaux de protection des rivages doivent être conçus par un ingénieur professionnel ayant de l'expérience en ingénierie des travaux maritimes. Ce document n'est pas destiné à remplacer le jugement de l'ingénieur concepteur, et la responsabilité d'une conception correcte du rivage incombe toujours à l'ingénieur concepteur du projet.

### 5.1. Recommandations générales en matière de conception

Pour la protection des rivages dans le havre de Vancouver pour l'administration portuaire, les considérations suivantes sont recommandées :

- (A) L'armure de roche doit être dimensionnée pour être statiquement stable. Il ne devrait y avoir que peu ou pas de dommages à la couche d'armure dans les conditions de conception
- (B) Les élévations de crête doivent être fixées de manière à ce qu'il n'y ait pas de débordement, ou seulement un débordement marginal sur le rivage, dans les scénarios de niveau d'eau total décrits à la [section 4.3.6](#). Une allocation appropriée pour l'ENM pendant la durée de vie restante du rivage doit être incluse.
- (C) Les pentes de l'armure de roche des rivages ne doivent jamais être plus raides que 1,5:1 (H:V). En général, les pentes de 2:1 ou plus sont préférables pour une stabilité accrue à long terme et une réduction de la montée des vagues.
- (D) Une couche appropriée de roches filtrantes doit toujours être utilisée avec les enrochements et les protections de l'armure rocheuse afin d'empêcher la perte de fines du matériau de la pente sous l'effet combiné des vagues et du courant
- (E) En raison de la nature de certains matériaux de remblai utilisés historiquement dans le havre de Vancouver, un géotextile est recommandé sous la couche filtrante pour protéger contre la perte de fines. Si une installation sous l'eau est nécessaire, l'ingénieur peut envisager d'ajouter une seconde couche filtrante, de plus petite taille, au lieu d'un géotextile.

- (F) Lorsque le pied de la pente se termine par un matériau susceptible d'être affouillé ou érodé, la conception doit prévoir un surplus de matériau au pied pour tenir compte des trous d'affouillement qui peuvent se former et pour maintenir l'intégrité de la protection de la pente
- (G) Une allocation de franc-bord doit être incluse dans les situations où l'utilisation du site en amont présente une valeur élevée. Autrement, un retour au point de consigne géré activement pourrait être envisagé.

## 5.2. Tailles de roche

Des lignes directrices détaillées sur la conception des systèmes de protection des rivages rocheux sont fournies dans les documents de référence, de normes ou de lignes directrices suivants : [Ref \[9\]](#), [\[16\]](#), [\[7\]](#), ou [\[8\]](#).

Les formules de Van der Meer pour les eaux profondes, auxquelles il est fait référence dans les conseils ci-dessus, sont généralement applicables dans la plupart des situations d'eaux profondes, ou de hautes eaux, dans le havre de Vancouver.

Il est important de noter que l'équation de Van der Meer suppose une gradation relativement étroite de l'armure de roche. Il est recommandé que si un enrochement à large granulométrie doit être utilisé à la place d'un matériau à granulométrie étroite, la masse médiane de la pierre de carapace issue des formules de Van der Meer soit augmentée de 30 % de même que l'épaisseur de la couche de 50 %.

[Le tableau 7](#) fournit les valeurs de paramètre recommandées pour la formule de Van der Meer afin de fournir une taille de roche raisonnablement conservatrice pour une pente statique stable sans dommage dans le havre de Vancouver.

**Tableau 7 : Paramètres recommandés pour la conception de l'armure de roche dans le havre de Vancouver**

Paramètre	Symbole	Valeur
Nombre de vagues	N	3 000
Paramètre de perméabilité théorique	P	0,1
Paramètre lié aux dommages	D	2
Exemple : Pour un site exposé à un long fetch, avec un état de mer de $H_s = 1,2$ m et $T_p = 3,2$ s, une profondeur d'eau de 7 m et une pente de 1,5:1 (H:V), l'équation de Van der Meer pour les eaux profondes estime le poids médian des roches à 331 kg.		

Les structures construites avec de larges granulométries (enrochements) ont tendance à subir de grandes variations locales dans la taille des pierres de carapace individuelles sur la surface, ce qui augmente la probabilité de dommages localisés et tend à entraîner une plus grande distribution spatiale des dommages sur la surface (ce que l'on appelle les « points chauds »).

En cas d'utilisation d'enrochements, il est recommandé d'utiliser ceux conformes aux classes des Lignes directrices du ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique, telles que résumées dans le [tableau 8](#). Les carrières locales sont généralement en mesure de fournir des matériaux conformes à cette spécification.



**Tableau 8 : Classes d'énrochement selon les lignes directrices du ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique relatives aux autoroutes Source : [Réf. \[6\]](#)**

Classe d'énrochement (kg)	Épaisseur nominale de l'énrochement (mm)	Pourcentage de la granulométrie de la roche inférieur à la masse de roche donnée (kg)		
		15%	50%	85%
10	350	1	10	30
25	450	2.5	25	75
50	550	5	50	150
100	700	10	100	300
250	1000	25	250	750
500	1200	50	500	1500
1000	1500	100	1000	3000
2000	2000	200	2000	6000
4000	2500	400	4000	12000

### 5.3. Tailles de roche recommandées pour le havre de Vancouver

En fonction des considérations décrites ci-dessus, cinq (5) catégories d'exposition aux rivages – en tenant compte de l'exposition aux vagues de vent, au sillage des navires, aux courants de marée et au débit de ruisseau – ont été développées pour le rivage des actifs de l'Administration portuaire Vancouver Harbour. Ces catégories sont résumées dans le [tableau 9](#) et attribuées à des actifs spécifiques de l'administration portuaire énumérés à [l'annexe 1](#).

**Tableau 9 : Exposition des rivages aux vagues et aux courants**

Type	Description
E1	Exposé aux vagues de vent (fetch prolongé) et aux sillages des navires
E2	Exposé au sillage de navire – zone de trafic de bateaux à plus haute vitesse
E3	Exposé aux vagues de vent seulement pour le fetch moyen – aucun trafic de navires à proximité
E4	Exposé aux courants de rivière/ruisseau – généralement à l'abri des vagues
E5	Rivage protégé – trafic de bateaux à basse vitesse

Sur la base des critères de conception et des méthodologies d'approche résumés ci-dessus, le poids médian minimal recommandé de la roche d'armure et de la roche filtrante est fourni dans le [tableau 10](#) pour les types de rivage du [tableau 9](#). Ces tailles sont conçues comme des lignes directrices par défaut et ne remplacent pas le jugement de l'ingénieur de conception dans une application spécifique.

Si des granulométries d'énrochement sont utilisées, elles doivent être augmentées tel qu'il est recommandé à la [section 5.2](#).

Si le rivage se trouve dans une zone de courants de marée forts ([Figure 4](#)), il est également recommandé d'augmenter la masse médiane de l'armure de 30 % pour aider à la stabilité du matériau.

Un rivage bien abrité peut être endommagé par l'exposition au sillage de l'hélice à haute vitesse, et ces situations doivent être évaluées spécifiquement. Le sillage spécifique des hélices des puissants remorqueurs, des unités de propulsion principales des navires de charge ou des propulseurs d'étrave peut produire des courants à grande vitesse sur les fonds marins et les pentes, entraînant l'affouillement et l'endommagement des protections de pentes sous-dimensionnées ou faibles. Dans certaines situations, le sillage de gros remorqueurs ou des navires océaniques équipés d'un propulseur d'étrave peut régir la stabilité des rochers.

Les rivages exposés au sillage de l'hélice d'un navire se trouvant à proximité doivent être confiés à un ingénieur qualifié ayant une expérience en ingénierie des travaux maritimes, qui confirmera l'adéquation de la taille des roches à la résistance à l'affouillement et à l'endommagement.

**Tableau 10 : Tailles recommandées de l'armure de roche pour différentes expositions des rivages – Granulométrie étroite seulement**

Type	Conception de l'armure de roche recommandée (pente de 1,5 :1)			
	Masse médiane (kg)	Épaisseur de la couche (m)	Masse médiane de la roche filtrante (kg)	Épaisseur de la couche rocheuse du filtre (m)
E1	330	0,9	30 à 40	0,4
E2	150	0,7	15 à 25	0,3
E3	150	0,7	15 à 25	0,3
E4	Conditions de rivière non couvertes dans ce document			
E5	100	0,6	5 à 15	0,3
Les poids médians doivent être ajustés si des enrochements sont utilisés.				

Les matériaux rocheux doivent être des pierres de carrière angulaires d'un caractère dense, dur et durable. Cette exigence permet un meilleur emboîtement et une meilleure friction entre les roches, et finalement une pente plus stable. Les tailles médianes pour la roche sous-angulaire ou arrondie devront être augmentées.

Le rapport d'aspect, l/d (rapport entre la dimension maximale, l, et la dimension minimale, d, de chaque pièce de roche individuelle doit être inférieur à 3,0. Cela empêche les roches d'être planes et de ressembler à une dalle, ce qui limite à son tour le bris et le glissement des roches individuelles).

#### 5.4. Protection des pieds

Il est recommandé qu'un système de protection des rivages comprenne une protection spécifique des pieds au niveau des pieds de la pente. La [figure 5](#) présente quelques exemples de systèmes de protection des pieds. Un pied standard typique est de trois à cinq pierres de largeur avec une épaisseur de deux ou trois pierres. Si le matériau du lit de mer est érodable, un tapis de protection contre l'affouillement sous-jacent doit également être inclus dans les détails du pied, à moins que le pied du système de protection ne soit enterré.

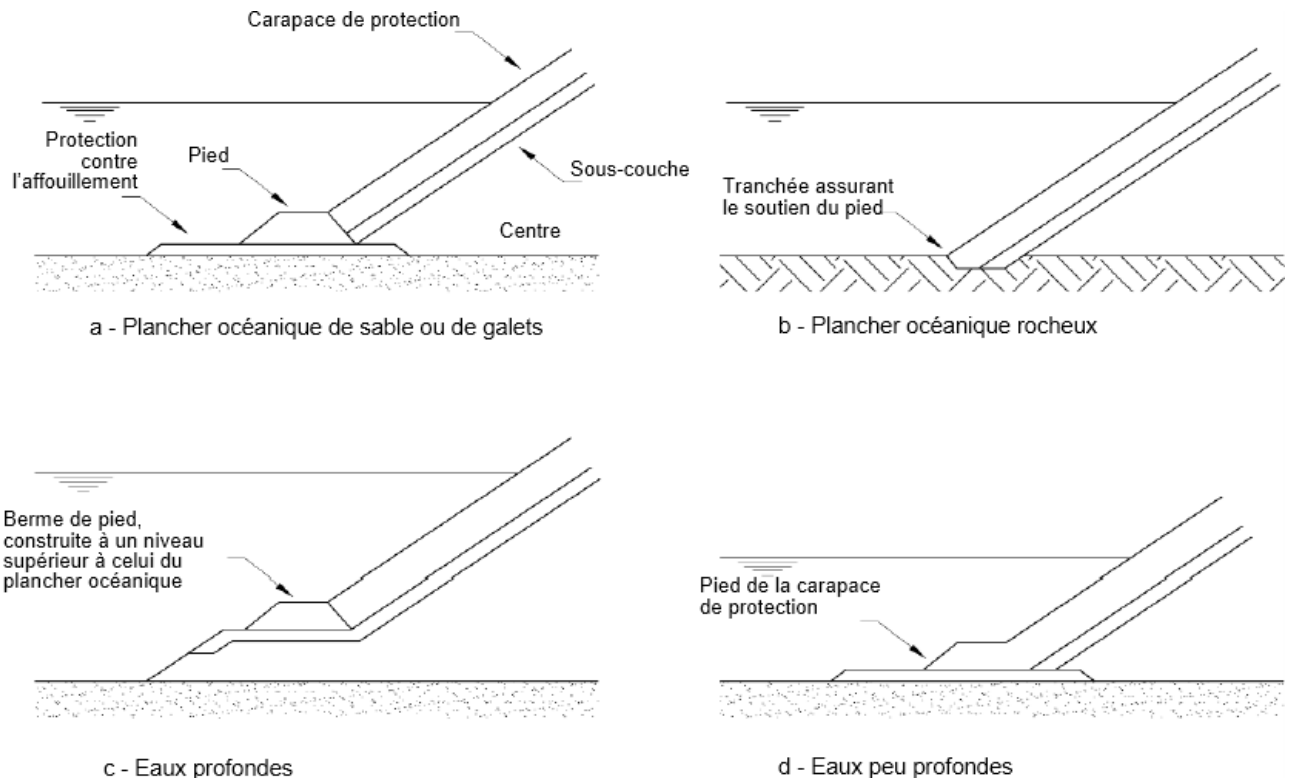


Figure 5 : Exemples de protection des pieds.

Source : [Réf. \[9\]](#)

## 5.5. Rivages inhabituels

Les rivages qui ont des géométries inhabituelles, ou qui interagissent avec d'autres structures, peuvent nécessiter une attention particulière pendant la conception. Voici quelques exemples :

- (A) Les rivages avec des courbes à rayon serré ou aigu. Lorsque l'armure de roche doit tourner un coin abrupt de façon convexe et est exposée à l'action des vagues, de plus grandes pierres de carapace seront nécessaires pour atteindre la stabilité.
- (B) Protection des rivages qui s'appuie sur des structures verticales et non poreuses. La réflexion supplémentaire des vagues par ces types de structures nécessitera des enrochements plus importants à proximité de la structure afin d'en assurer la stabilité.
- (C) Les rivages qui fournissent un habitat marin ou riverain précieux peuvent intégrer de manière bénéfique certains éléments de la compensation de l'habitat. Ces rivages nécessiteront une attention particulière de la part d'un ingénieur de conception.

## 6. Considérations environnementales

La durabilité sociale, environnementale et financière est la valeur fondamentale de l'Administration portuaire Vancouver-Fraser. L'administration portuaire préfère les systèmes de protection des rivages qui incluent ou prennent en compte les améliorations environnementales de l'estran et les exigences opérationnelles relatives à la réparation ou à l'amélioration de la stabilité des pentes.

Idéalement, les projets de protection des rivages devraient contribuer à la durabilité environnementale et financière des actifs côtiers de l'administration portuaire. Cette section résume certains aspects des considérations environnementales qui se rapportent aux systèmes de protection des rivages typiques qui se trouvent autour du périmètre de la partie du havre de Vancouver de l'administration portuaire.

## 6.1. Envision™

L'administration portuaire souhaite intégrer le système d'évaluation Envision™ Green Infrastructure dans ses projets. Envision™ est un outil cadre qui permet aux utilisateurs d'évaluer la durabilité globale d'un projet afin d'évaluer les domaines à améliorer. L'outil fournit également des conseils sur les meilleures pratiques durables. Vous trouverez de plus amples renseignements ici :

<http://sustainableinfrastructure.org/envision/>.

Bien que l'outil cadre et le système d'évaluation ne s'appliquent pas nécessairement à la plupart des projets de protection des rivages autonomes, bon nombre des critères et des principes généraux de l'Envision™ s'appliquent et doivent être pris en compte. Il est recommandé d'élaborer un document évolutif pour chaque projet de protection des rivages, qui décrit chacun des 60 crédits Envision™ et les méthodes possibles de mise en œuvre du projet. Pour faciliter la mise en œuvre, ils peuvent être organisés en fonction des différentes phases de mise en œuvre, notamment la sélection du site, la conception, l'appel d'offres et la construction.

Vous trouverez ci-dessous un exemple de demande d'une contrepartie d'Envision™.

*Envision™ Credit RA 1.5: Divert Waste From Landfills:*

*During the design phase, the shoreline protection could be designed to reuse existing rock materials and soil where possible. Designers could also consider replanting vegetation where possible, and how any additional excavated material might be used for other VFPA or local projects.*

## 6.2. Améliorations de l'habitat

Il existe de nombreux types d'améliorations de l'habitat qui peuvent être envisagées dans le développement de conceptions préliminaires ou d'options de conception pour la protection des rivages. Le but ou l'objectif spécifique pour l'amélioration de l'habitat doit être indiqué pour chaque option de conception. Les options doivent être accompagnées de descriptions de faisabilité et de coût pour que l'administration portuaire puisse les considérer comme des moyens possibles d'atteindre ses objectifs portuaires durables.

### 6.2.1. Améliorations de l'habitat de la pente des rivages

Bien que l'ajout de bancs d'habitat sur la pente d'un renversement ait démontré une augmentation de la diversité de l'habitat (Réf. [14]), il existe de nombreuses options pour améliorer l'habitat marin ou les fonctions écologiques qui, selon les circonstances, peuvent également être envisagées. Dans de nombreuses situations, l'amélioration supplémentaire de l'habitat entraîne souvent des améliorations pour les fonctions de protection des pentes du système global.

Un exemple de banc d'habitat est illustré à la [figure 6](#), qui comprend un banc qui offre également une protection du pied d'une armure de roche ou d'un revêtement d'enrochement. L'objectif du composant de l'habitat doit être énoncé avant la conception et une attention adéquate doit être accordée à la conception pour s'assurer que l'affouillement par auto-lancement ou l'affouillement induit par l'hélice ne supprime pas les objectifs de l'habitat.

Les bancs d'habitat peuvent être soit continus sur toute la longueur du rivage, soit discontinus, avec des variations de largeur, pour créer un rivage ondulant plus naturel. Un banc ondulant réduit le volume global de matériaux et offre un avantage sur le plan des coûts.

Une pente de revêtement rugueuse, qui comprend une armure répartie, plus grande que nécessaire, du point de vue de la stabilité seulement, fournit des points durs pour la fixation des organismes marins, fournit des espaces vides abrités pour la couverture ou le refuge des organismes marins et peut entraîner une réduction de la remontée des vagues. Une diminution de la montée des vagues peut entraîner des contributions bénéfiques à l'interaction entre les vagues et les éléments de la crête d'un système de protection des pentes, y compris des considérations relatives à l'habitat ajoutées à la crête du système de protection des rivages.

La taille, la forme, la texture et les pentes du matériau pourraient être ajustées pour augmenter la diversité de l'habitat et promouvoir l'utilisation de certaines espèces de poissons et d'organismes marins. À titre d'exemple, la création d'un rivage ondulant, en augmentant la géométrie existante des terres frontales, peut permettre la création d'une petite échancrure ou d'une plage de poche, ce qui peut fournir à la fois la diversité du substrat et la diversité écologique.

Dans certains cas, le matériau de protection des rivages existant peut être recyclé et réutilisé comme banc d'habitat.

Lorsque de l'espace est disponible, l'utilisation de revêtements géotextiles doit être déconseillée, car ils peuvent limiter la capacité des organismes marins à bénéficier du substrat et entraîner une augmentation de la montée des vagues entraînant des effets imprévus à la crête du système de rivage.

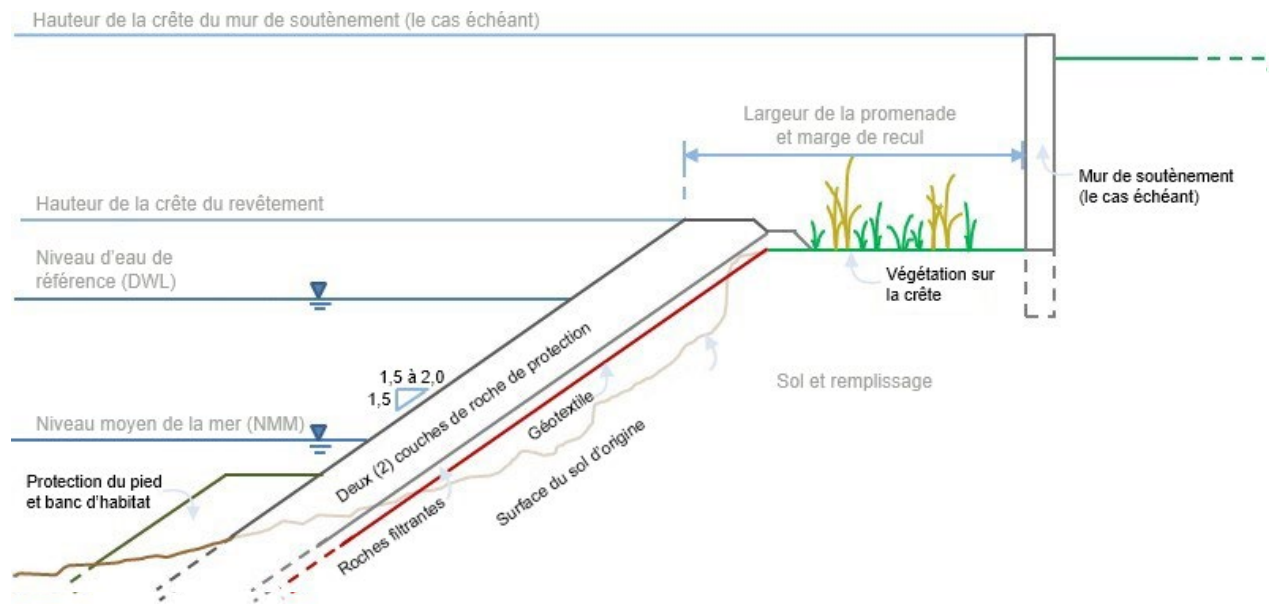


Figure 6 : Améliorations potentielles de l'habitat (banc d'habitat et végétation de la crête)

### 6.2.2. Végétation de la crête

La végétation résistante au milieu marin sur la crête de la structure (comme le montre la [figure 6](#)) peut apporter plusieurs considérations écologiques et techniques mutuellement bénéfiques, y compris :

- (A) Améliore la zone de végétation marine riveraine
- (B) Limite la colonisation par les espèces envahissantes
- (C) Améliore l'approvisionnement et la diversité de l'habitat des hautes terres
- (D) Améliore la résilience du revêtement face à l'élévation future du niveau de la mer
- (E) Offre une protection contre l'érosion due au ruissellement eaux de surface pluviales
- (F) Entraîne une augmentation de l'érosion de l'énergie des vagues à la crête et une réduction du potentiel d'érosion sur la zone terrestre adjacente
- (G) Peut améliorer la sécurité du personnel, de l'équipement et de l'infrastructure en amont en délimitant visiblement le bord du rivage

À titre d'exemple, une combinaison d'herbes de dunes, de pois de mer et de verge d'or indigènes, ainsi que d'agrostides comme plante de couverture pour décourager la croissance des mauvaises herbes, a été utilisée à Boundary Bay pour obtenir ces avantages le long d'une digue de rivage et d'une promenade publique.

Les arbres doivent être préservés pendant la construction afin d'aider à fournir une zone tampon végétalisée, à gérer les eaux pluviales et les fonctions d'eau de surface, à fournir un habitat et à gérer les effets des îlots de chaleur. Cependant, la préservation des arbres nécessite souvent un recul plus important de la zone de travail pour s'adapter à leur croissance. Les racines des grands arbres peuvent

pénétrer dans les couches filtrantes et les doublures géotextiles ou le tissu filtrant et peuvent affecter la stabilité du haut de la pente par le seul poids de l'arbre. La présence de grands arbres ou de systèmes radiculaires associés doit être évaluée spécifiquement.

L'entretien de la végétation de la crête, en particulier le désherbage, est nécessaire pour contrôler la croissance des espèces envahissantes pendant que les plantes se développent. Une fois développées, les plantes nécessiteront probablement moins d'entretien. Des lignes directrices spécifiques de conception et d'entretien sont en cours d'élaboration dans le cadre d'un document distinct.

### 6.3. Améliorations apportées aux composants de protection des rivages

La recherche, [réf. \[15\]](#), indique que des améliorations peuvent être apportées pour modifier l'armure des rivages afin d'améliorer la diversité de l'habitat, y compris des changements subtils à la forme, à la taille et à la texture du matériau.

Par exemple, les blocs de béton avec une surface grossière se sont avérés colonisés plus rapidement par de petites algues vertes que ceux avec une surface plus lisse. Les structures géométriques dans les dalles (p. ex., les tasses et les trous) retenaient l'eau plus longtemps pendant la marée basse et favorisaient la colonisation initiale par des algues vertes plus grandes. De petites adaptations de la texture et de la structure des matériaux dans la zone intertidale ont permis une meilleure installation, une meilleure colonisation et une plus grande diversité d'algues et de macrobenthos.

En fin de compte, la création de macro ou micro habitats sur un site peut contribuer à améliorer la diversité de l'habitat sur l'estran et, en fin de compte, à maintenir les services écologiques.

### 6.4. Autres méthodes et méthodes de développement

L'examen et la conception d'autres systèmes de protection des rivages pour améliorer le rendement technique et les avantages environnementaux sont un domaine de recherche et d'application continu. Certains de ces travaux sont liés à l'aide et à l'amélioration des performances environnementales, tandis que d'autres sont motivés par la nécessité de développer des systèmes plus efficaces et plus résistants en réponse aux défis posés aux ports par l'élévation attendue du niveau de la mer et ses implications.

Les concepteurs sont encouragés à surveiller et à examiner la documentation technique et le développement de produits émergents pour identifier les approches appropriées. Les approches nouvelles et novatrices pour augmenter la diversité, la qualité et l'abondance de l'habitat dans les environnements portuaires comprennent ce qui suit :

- (A) Jardins de mollusques et de crustacés – Plateformes ou terrasses artificielles de plage situées près de la limite de basse mer et destinées à accroître l'habitat et à favoriser la croissance des palourdes ou d'autres coquillages
- (B) Création de récifs biogéniques – Récifs constitués de tubes ou de coquilles provenant d'organismes de construction de récifs, pour fournir des surfaces dures pour l'habitation d'espèces immobiles, comme des anatifes
- (C) Améliorations des ouvrages longitudinaux – les systèmes de rivages hybrides qui incorporent des parties d'ouvrages longitudinaux sur la pente peuvent offrir de l'espace pour les bancs d'habitat, des pentes plus plates pour des matériaux différents et des possibilités de créer des refuges et des caractéristiques d'amélioration de l'habitat. Les exemples récents sont résumés ici :

- <https://waterfrontseattle.org/seawall>
- <https://sites.google.com/a/uw.edu/seattle-seawall-project/home>
- <https://www.environment.nsw.gov.au/research-and-publications/publications-search/environmentally-friendly-seawalls>
- <https://www.portvancouver.com/wp-content/uploads/2018/10/2018-04-Shore-Protection-Guidelines-Inspection-Maintenance-Design-and-Repair-v1.0.pdf>

## 7. Mise en œuvre des réparations

Le succès de la mise en œuvre d'une solution de réparation ou de remplacement est souvent défini au stade de la mise en œuvre (construction) d'un projet. Bien qu'il y ait de nombreux facteurs qui contribuent à la réussite d'un projet à l'étape de construction, cette section de ce document résume certaines considérations clés liées à l'étape de construction qui doivent être prises en compte.

## 7.1. Calendrier des travaux

Il existe plusieurs contraintes sur le calendrier de construction qui peuvent influencer le coût ou la faisabilité des réparations. Quatre contraintes spécifiques liées au travail dans le havre de Vancouver sont les suivantes :

- (A) Les règlements sur les permis de pêche limitent le temps pendant lequel les travaux peuvent être entrepris dans les zones intertidales et subtidales. Pour Vancouver (région 28), la période du Ministère des Pêches et des Océans (MPO) avec le risque le moins élevé est du 16 août au 28 février (réf. : <https://www.dfo-mpo.gc.ca/pnw-ppe/timing-periodes/bc-s-fra.html#area-28>). Il est possible d'obtenir l'autorisation d'effectuer des travaux en dehors de cette fenêtre temporelle, mais cela implique généralement des efforts supplémentaires pour l'obtention des permis et souvent des coûts supplémentaires pour la construction, de sorte qu'en général, la meilleure pratique consiste à planifier les travaux sur le rivage dans la fenêtre temporelle qui présente le moins de risques.
- (B) Il est parfois nécessaire de se limiter à tout travail (excavation, placement de roches, etc.) qui se produit dans l'eau. Pour les mois d'hiver où les marées les plus basses se produisent pendant la nuit, cela peut entraîner des efforts de construction et des coûts supplémentaires. En général, il est recommandé de planifier la construction lorsque les marées basses les plus importantes sont pendant la journée. Généralement, juillet et août fournissent les meilleures marées de jour pour ce travail.
- (C) En plus des marées défavorables, les travaux d'été ou de début d'automne sont souvent préférables en raison de l'augmentation de l'activité de tempête en hiver, ce qui peut entraîner des retards importants, endommager la zone de travail ou avoir un impact sur la sécurité du site.
- (D) La construction en automne, en hiver et au début du printemps peut souvent être exposée à des chutes de pluie ou de neige qui entraînent des coûts et des retards supplémentaires. Le ruissellement des installations en amont peut entraîner une turbidité dans la zone locale.

## 7.2. Méthodologie de construction

La méthodologie de construction doit être examinée attentivement, en tenant compte de l'accès au site, des conditions environnementales et de la conception de la protection des rivages. La construction peut être réalisée en grande partie ou entièrement dans l'eau ou sur le sol.

La construction dans l'eau comprend généralement une barge à bèches d'ancrage avec une grande grue-derrick et un godet à double coque, ou peut-être une excavatrice à longue portée pour préparer les pentes et placer le matériau. Un bateau de relève peut également être nécessaire. Les matériaux peuvent également devoir être transportés vers le site à l'aide de remorqueurs et de barges (voir la [section 7.3](#)).

La faisabilité du travail dans l'eau sera largement basée sur les restrictions environnementales, les considérations d'accès en amont, la disponibilité de l'équipement et les coûts. Cependant, les barges et les remorqueurs pourraient ne pas être en mesure de fonctionner sur le site sans une pression d'eau suffisante (profondeur de l'eau sous la coque), ce qui pourrait limiter la fenêtre de travail aux marées hautes seulement. La portée des excavatrices/équipements situés sur la barge dépendra de la marée et de la pente du rivage, ce qui peut limiter les périodes pendant lesquelles les travaux à la crête de la pente peuvent être effectués. Les opérations seront également restreintes dans les zones avec des courants de marée forts ou pendant les périodes de grands vents ou de grandes vagues. De plus, le site peut ne pas avoir de zone pour attacher ou accéder aux hautes terres à partir de l'eau, ce qui peut compliquer le flux de travail ou l'accès.

La construction dans l'eau est également généralement plus coûteuse en raison d'un nombre limité d'entrepreneurs qui peuvent les effectuer dans la zone et d'une augmentation des coûts d'équipement.

Selon la conception de la protection du rivage, certains travaux peuvent encore être requis sur le sol. Par exemple, placer des géotextiles, placer des matériaux rocheux à la crête de la pente, placer de la terre végétale ou planter de la végétation peut tous nécessiter du personnel ou de l'équipement sur terre.

La faisabilité du travail sur terre sera largement basée sur l'utilisation des hautes terres et les contraintes d'espace. Par exemple, dans les zones où le site est activement utilisé, d'autres travaux de construction sont en cours, ou une infrastructure importante (c.-à-d. des bâtiments) est située près du rivage, il peut s'avérer nécessaire d'utiliser une construction dans l'eau.

Si une excavatrice est utilisée pour mettre en place des enrochements, que ce soit sur terre ou dans l'eau, elle devra être équipée d'un godet muni d'un pouce. Si des travaux sous l'eau sont prévus, les excavatrices devront être dotées d'équipement de surveillance de l'élévation et de l'emplacement au niveau du godet afin que les élévations et les pentes des matériaux mis en place puissent être contrôlées pendant la construction. La mise en place des matériaux sous l'eau peut entraîner une augmentation des volumes mis en place, ce qui a des répercussions sur les coûts et les exigences en matière de compensation de l'habitat.

### 7.3. Transport et trafic

Les méthodes de transport comprennent généralement les barges (dans l'eau) et les camions (sur terre). La sélection de la méthodologie de transport doit tenir compte d'une grande variété de facteurs, notamment les suivants :

- (A) Quantité totale de matériaux : En règle générale, les camions sont plus économiques pour les projets de faible ampleur, tels que les réparations localisées du rivage.
- (B) Distance et emplacement des sources : Les carrières à proximité du havre de Vancouver sont généralement situées dans des zones où une partie au moins du trajet doit être effectuée par camion. Selon l'emplacement de la source, il peut ne pas être pratique d'utiliser le transport par voie d'eau pour les matériaux.
- (C) Disponibilité de la méthodologie de transport : Il existe un nombre limité d'entrepreneurs locaux avec des barges disponibles pour le transport de matériaux. Selon d'autres projets en cours dans la région, certaines méthodes de transport peuvent ne pas être possibles en raison d'un manque d'équipement disponible.
- (D) Méthodologie de construction : Si la construction dans l'eau est choisie, le fait de disposer de matériaux sur une barge à proximité peut améliorer le flux de travail.
- (E) Approbations : Lorsque le matériel est fourni par une barge, son approbation doit avoir lieu avant son chargement sur la barge.
- (F) Contraintes environnementales : Les barges peuvent ne pas être en mesure de fonctionner sans une pression d'air suffisante (profondeur de l'eau sous la coque), dans de forts courants de marée, ou dans des vents ou des vagues importants.
- (G) Contraintes d'espace sur terre : Certains sites peuvent ne pas avoir suffisamment d'espace en amont pour permettre la construction sur terre ou l'entreposage de matériaux sur terre. Si d'autres travaux sont en cours en amont (construction ou utilisation active du site), la gestion du trafic sur le site peut nécessiter des opérations dans l'eau.

En plus de ces considérations, les matériaux doivent être transportés de manière à limiter la séparation et les bris. En général, la manipulation double ou répétitive des matériaux peut entraîner des bris et des problèmes de qualité.

Un plan de gestion du trafic doit également être élaboré en collaboration avec toutes les parties prenantes qui utilisent le site au moment de la construction. Cela peut inclure l'administration portuaire, les opérateurs en amont, les entrepreneurs et les opérateurs des sites voisins. Le plan de gestion du trafic doit prévoir des mesures de contrôle du trafic par voie d'eau, si une construction ou un transport par voie d'eau est choisi.

### 7.4. Préparation du site

Lors de la préparation du site, des précautions doivent être prises pour s'assurer que le plan de santé et de sécurité et le plan de gestion environnementale de l'entrepreneur sont correctement suivis au début du projet.

Une étude préalable à la construction doit être réalisée avant le début des autres travaux sur le site; elle servira de base aux mesures d'AQ et de CQ et au paiement. Prenez des photos claires de toutes les zones du site avant d'entamer le travail. Une attention particulière doit être accordée aux zones qui devront être remises dans l'état où elles se trouvaient avant la construction.

Lors de la préparation du site, enlevez toute végétation envahissante et délimitez clairement la végétation indigène qui doit rester, afin qu'elle ne soit pas endommagée pendant le processus de construction. Mettez de côté tous les matériaux réutilisables.



## 7.5. Mise en place de matériaux

L'emplacement des matériaux doit généralement suivre l'ordre et les meilleures pratiques décrits ci-dessous :

### (A) Placement du remblai (le cas échéant)

- Doit être placé dans des élévateurs, généralement inférieurs à 0,4 m, et compacté.

### (B) Placement du géotextile (le cas échéant)

- Le géotextile doit être placé directement sur un matériau de « remblai » pour fournir une surface de literie relativement plate et lisse. L'armure de roche ne doit pas être placée directement sur le dessus du géotextile.
- Lorsque vous placez le géotextile, posez-le en haut de la pente préparée, fixez-le en haut et faites-le rouler le long de la pente.
- Idéalement, le géotextile doit être placé à sec. Si cela n'est pas possible, le rouleau de géotextile devra être alourdi/lesté pour éviter la flottaison pendant la mise en place. Pour la mise en place en eaux peu profondes, les entrepreneurs peuvent placer un poteau lourd ou en acier au centre du rouleau de géotextile. Le géotextile peut alors être déroulé le long de la pente, tandis que le poteau lourd en acier pèse sur l'extrémité immergée et empêche la flottaison. La roche filtrante peut ensuite être placée sur la pente pour fixer/lester le géotextile et le poteau peut ainsi être récupéré.
- Chaque bande de géotextile doit avoir au moins 0,3 m de chevauchement avec les sections voisines.

### (C) Mise en place de la roche filtrante

- La roche filtrante peut être placée en vrac et taillée.
- La roche filtrante doit être placée en commençant par le pied de la pente et en remontant le long de celle-ci. La surface finie doit être densément placée et uniforme.
- Empêchez la séparation des parties fines et grosses de la granulométrie lors de la mise en place.
- Évitez d'endommager le géotextile. Évitez les mouvements de grattage pendant la mise en place et évitez de décharger la roche en hauteur.

### (D) Mise en place d'une armure de roche ou d'un enrochement

- La mise en place de l'armure de roche ou des enrochements doit être planifiée de manière à ce qu'aucune section de remblai, de géotextile ou de roche filtrante ne soit laissée exposée pendant la nuit
- Des précautions doivent être prises lors de la mise en place de la roche blindée pour éviter de perturber la couche filtrante
  - La pointe doit être construite d'abord et avec la plus grande précision, car il s'agit de la pièce la plus importante
  - En général, la plus grosse pierre de carapace doit être réservée au pied et à la crête de la pente
  - Le tiers le plus fin de la pierre de carapace doit être réparti uniformément sur toute la pente. Enlevez et remplacez toute partie dans laquelle le matériau se sépare au cours de la mise en place afin d'éviter de vastes zones de pierres de carapace sous-dimensionnées
  - La surface finie doit être densément placée bien nuancée et uniforme. Les roches individuelles doivent avoir au moins trois (3) points de contact avec les roches voisines

## 7.6. Gestion environnementale

Les meilleures pratiques de gestion (MPG) suivantes s'appliquent aux travaux effectués à proximité de l'estran ou des zones riveraines :

(A) La perturbation de la végétation intertidale, riveraine ou adjacente existante doit être limitée au strict minimum nécessaire à l'exécution des travaux.

(B) Idéalement, il ne devrait pas y avoir de travaux dans l'eau pendant la période de construction. Cela nécessite souvent de planifier des travaux pour s'aligner sur les marées basses. Si les travaux dans l'eau ne peuvent pas être évités, des permis supplémentaires ou des restrictions environnementales peuvent s'avérer nécessaires. Les mesures environnementales peuvent comprendre la mise en place de rideaux de limon autour de la zone de travail ou la surveillance des niveaux de turbidité dans l'eau.

- (C) Les véhicules utilisés pour le transport de matériaux sur le site et hors du site doivent être limités aux routes et aux zones de retournement prédéfinies, afin d'avoir le moins d'impact possible sur l'environnement. Les travaux doivent être planifiés de manière à réduire au minimum le nombre de véhicules et d'équipements circulant dans la zone intertidale ou à proximité de celle-ci, afin de limiter les impacts sur l'estran.
- (D) La boue doit être enlevée des véhicules et des équipements de transport à l'extérieur du site.
- (E) Tous les équipements et toutes les machines doivent être en bon état de fonctionnement et exempts de fuites ou d'excès d'huile et de graisse.
- (F) Toutes les machines hydrauliques doivent utiliser des fluides hydrauliques respectueux de l'environnement qui ne sont pas toxiques pour la vie aquatique et qui sont facilement ou intrinsèquement biodégradables.
- (G) Les équipements doivent être ravitaillés en carburant avant leur arrivée sur le site et aucun ravitaillement sur place n'est autorisé.
- (H) L'entrepreneur doit disposer d'un plan d'urgence approprié pour la prévention des déversements, le confinement et le nettoyage des produits hydrocarbures (p. ex., carburant, huile, fluide hydraulique) et d'autres substances nocives.
- (I) Tous les matériaux de remblai ou de roche qui entreront en contact avec les eaux du havre de Vancouver doivent être des matériaux propres, exempts de matières organiques et de substances nocives pour les poissons.
- (J) Tous les débris et les matières délétères générés par les travaux en question doivent être recueillis et éliminés dans des endroits en amont appropriés, conformément à toutes les lois et à tous les permis applicables aux travaux.
- (K) Les travaux doivent être interrompus si vous constatez qu'ils entraînent une dégradation de l'environnement dans leur voisinage immédiat ou si vous observez que les niveaux de turbidité dans la zone locale sont sensiblement plus élevés qu'avant le début des travaux.
- (L) Pendant la construction, l'entrepreneur doit alerter le représentant du client si des reptiles sont trouvés pendant l'excavation ou les travaux de terrassement, et arrêter les travaux jusqu'à ce qu'il soit autorisé à les poursuivre.
- (M) Pour s'assurer que les meilleures pratiques de gestion environnementales sont respectées, il peut s'avérer nécessaire d'avoir un représentant environnemental sur place pendant la construction.

## 7.7. Contrôle de la qualité et assurance de la qualité

Le contrôle de la qualité/assurance de la qualité (CQ/AQ) est essentiel pour s'assurer que la conception de la protection des rivages est exécutée correctement. Les meilleures pratiques comprennent les opérations suivantes :

- (A) Inspecter les matériaux rocheux de la carrière avant de les apporter sur le site. Ceci est particulièrement important pour les sites disposant d'une petite zone de travail où il n'est pas possible de trier les matériaux sur place.
- (B) Avoir du personnel expérimenté dans la mise en place de roches sur le site afin de fournir des conseils aux opérateurs d'équipement pendant les premiers jours du projet. L'expérience de SNC-Lavalin en matière de mise en place de roches sur l'estran a montré que la qualité du travail varie considérablement en fonction des compétences des opérateurs d'équipement, de sorte que des conseils permettent souvent d'améliorer la qualité des travaux finis.
- (C) Demander à un représentant de l'ingénierie sur le site d'effectuer des inspections relatives à la mise en place des roches. Les inspections devraient idéalement avoir lieu quotidiennement et être bien documentées dans les rapports et les photographies.
- (D) Des études doivent être effectuées après l'excavation, la mise en place de remblai et des pierres de carapace ou d'enrochements. Il est de pratique courante que l'entrepreneur fournisse un arpenteur-géomètre indépendant pour effectuer ces « vérifications ». L'ingénieur en charge du dossier ou un représentant qualifié doit examiner les levés pour s'assurer que l'excavation et la mise en place des matériaux se font dans le respect des tolérances.
- (E) Lors des travaux dans l'eau, les inspections du représentant de l'ingénierie pendant la construction poseront des difficultés particulières. Pour permettre d'inspecter la qualité de la mise en place des roches sous l'eau, l'entrepreneur doit effectuer régulièrement des balayages bathymétriques multifaisceaux des roches mises en place, avec une résolution suffisante pour distinguer les différentes roches mises en place et l'espace vide.

## 7.8. Considérations supplémentaires

### 7.8.1. Atténuation du bruit

En général, les rivages de l'administration portuaire ne sont pas situés dans des zones particulièrement sensibles au bruit; toutefois, des restrictions sonores peuvent limiter les travaux aux jours de semaine ou aux heures de la journée (de 8 h à 17 h). Si nécessaire, des mesures pour réduire le bruit, qui pourraient inclure la pose de barrières antibruit ou l'utilisation d'équipement plus silencieux, doivent être envisagées et spécifiées à l'avance si possible.

### 7.8.2. Matériaux marins excavés

Les matériaux excavés ou retirés de l'environnement marin dépassent souvent les limites acceptables de sodium pour l'élimination dans une décharge. Une mise au rebut spéciale peut s'avérer nécessaire.

Comme bon nombre des rivages de l'administration portuaire sont situés dans des zones hautement industrielles et que certains des matériaux de protection ou de remblai des rivages existants ne sont pas standard, il peut s'avérer nécessaire de tester les matériaux pour détecter d'autres contaminants.

Les matériaux contaminés peuvent nécessiter des considérations spéciales de manipulation et d'élimination et doivent être traités lorsque les contaminants sont identifiés. La présence de contaminants peut influencer les options de conception et donc déclencher une conception itérative et un processus de permis.

## Références

Ce document est basé sur le document de SNC-Lavalin Design and Maintenance Guidelines Shoreline Protection – Vancouver Harbour Rev. 0 April 27, 2018. Document number 642011-2000-4PER-0001.

- (1) BCMoE. (2018). Final Amendment to Section 3.5 and 3.6 – Flood Hazard Area Land Use Management Guidelines (2004), Effective 1 January 2018. Disponible en ligne sur le site : [https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/air-land-water/water/integrated-flood-hazard-mgmt/final\\_amendment\\_to\\_s\\_35\\_and\\_36\\_fhalumg\\_17-10-01.pdf](https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/air-land-water/water/integrated-flood-hazard-mgmt/final_amendment_to_s_35_and_36_fhalumg_17-10-01.pdf)
- (2) BCMoE. (2011a). Climate Change Adaptation Guidelines for Sea Dikes and Coastal Flood Hazard Land Use : Draft Policy Discussion Paper.
- (3) BCMoE. (2011b). Climate Change Adaptation Guidelines for Sea Dikes and Coastal Flood Hazard Land Use : Guidelines for Management of Coastal Flood Hazard Land Use.
- (4) BCMoE (2011c). Climate Change Adaptation Guidelines for Sea Dikes and Coastal Flood Hazard Land Use : Sea Dikes Guidelines.
- (5) DFO (2017). Canadian Tide and Current Tables, Volumes 5, 2017. Fisheries and Oceans Canada, 2017.
- (6) BC Ministry of Transportation & Infrastructure (2016). Standard Specifications for Highway Construction. Volume 1.
- (7) British Standard 6349-1 (Maritime Structures).
- (8) C.A. Thoresen (2014). Port Designer's Handbook. 3<sup>rd</sup> Edition, ICE Publishing, London.
- (9) CIRIA, CUR, CETMET (2007). The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering. (2<sup>nd</sup> edition), C683, CIRIA, London.
- (10) EurOtop II (2016). Manual on wave overtopping of sea defenses and related structures: An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application.
- (11) Lamont, G., Readshaw, J., Robinson, C., & St-Germain, P. (2014). Greening Shorelines to Enhance Resilience : An Evaluation of Approaches for Adaptation to Sea Level Rise. Prepared by SNC-

Lavalin Inc. for the Stewardship Centre for B.C. and submitted to Natural Resources Canada (AP040). 44p.

- (12) Richard Thomson (1977). Océanographie de la côte de la Colombie-Britannique, Publication spéciale canadienne des sciences halieutiques et aquatiques 56.
- (13) SNC-Lavalin Inc. (2017). Multi-Year Maintenance Program, Shoreline Protection Assessment – Vancouver Harbour. Prepared by SNC-Lavalin Inc. for the Vancouver Fraser Port Authority (VFPA).
- (14) Toft, J., Ogstonm, A., Heerhartz, S., Cordell, J., & Flemer, E. (2012). Ecological response and physical stability of habitat enhancements along an urban armored shoreline. Ecological Engineering 57 : 97-108.
- (15) Borsje, B.W., van Wesenbeeck, B.K., Dekker, F., Paalvast, P., Bouma, T.J., van Katwijk, M.M. and de Vries, M.D, (2011). How ecological engineering can serve in coastal protection. Ecological Engineering 37:2 : 113-122.
- (16) United States Army Corps of Engineers (USACE). (2006). Coastal engineering manual. Washington, D.C.

## Renseignements sur le document

Client : Administration portuaire Vancouver-Fraser (APVF)  
Propriétaire : Administration portuaire Vancouver-Fraser (APVF)  
Projet : Évaluation de la protection des rivages – havre de Vancouver

Préparé par : Jessica Wilson, EIT, ENV SP.  
Ingénieur des travaux maritimes  
John Readshaw, ing.  
Gestionnaire, ingénierie des travaux maritimes et dragage

Révisé par : Sherry Lim, ing.  
Gestionnaire de projet

Approuvé par : Mo Mofrad, ing.  
Gestionnaire de projet APVF

## Index de révision

N° de révision	Préparé	Révisé	Approuvé	Date	Remarques
----------------	---------	--------	----------	------	-----------

PA	GL	JSR		28 juin 2017	Publié pour examen interne
PB	GL			7 juillet 2017	Publié pour examen par le client
PC	JW, JSR	JSR		31 décembre 2017	Prise en compte des commentaires des clients Éléments de l'ENM inclus (pour examen)
DP	JW, JSR	JSR		20 avril 2018	Prise en compte des commentaires des clients
0	JW, JSR	JSR		27 avril 2018	Utilisation par le client

### Avis aux lecteurs

Ce document contient l'expression de l'opinion professionnelle de SNC-Lavalin Inc. (« SNCL ») quant aux questions qui y sont abordées, en faisant preuve de jugement professionnel et d'une diligence raisonnable. Il doit être lu dans le contexte de l'entente datée du 28 septembre 2016 (l'« Entente »), entre SNCL et l'Administration portuaire Vancouver-Fraser (le « Client » ou l'« APVF »), de la méthodologie, des procédures et des techniques utilisées, des hypothèses de SNCL, ainsi que des circonstances et des contraintes dans lesquelles son mandat a été exécuté.

Le présent document est rédigé seulement aux fins énoncées dans l'Entente et pour le seul et unique avantage du Client, dont les recours sont limités à ceux énoncés dans l'Entente. Ce document est destiné à être lu dans son ensemble, et des sections ou des parties de celui-ci ne doivent donc pas être lues ou utilisées hors contexte.

Sauf indication contraire expresse, les hypothèses, les données et les renseignements fournis par d'autres sources ou recueillis auprès d'autres sources (y compris le Client, d'autres consultants, les laboratoires d'essai et les fournisseurs d'équipement, etc.) sur lesquelles l'opinion de SNCL telle qu'elle est énoncée dans les présentes n'ont pas été vérifiées par SNCL; SNCL ne fait aucune déclaration quant à leur exactitude et décline toute responsabilité à cet égard.

Dans la mesure permise par la loi, SNCL décline toute responsabilité envers le Client et les tiers en ce qui concerne la publication, la référence, la citation ou la distribution de ce rapport ou de tout autre élément de son contenu à un tiers qui s'y fierait.

## Annexe 1 : Type d'exposition pour certains actifs du havre de Vancouver

Asset ID	Asset Length (m)	Chainage		Exposure	Crest Setback m
		Chainage (from)	Chainage (to)	Type	
64-N-105	230	0+000	0+105	E2	4.0
		0+105	0+230	E5	4.0
64-N-106	148	0+000	0+148	E5	1.5
		0+000	0+180	E5	1.5
32-N-107	214	0+180	0+214	E2	1.0
		0+000	0+220	E5	4.0
68-N-111	338	0+220	0+275	E2	3.0
		0+275	0+338	E2	7.0
		0+000	0+040	E5	2.0
68-N-112	95	0+040	0+095	E5	3.0
		0+000	0+060	E1	2.0
72-N-120	129	0+060	0+066	E1	4.0
		0+066	0+129	E1	3.0
		0+000	0+291	E1	2.5
46-N-121	291	0+000	0+291	E1	2.5
46-N-122	240	0+000	0+100	E1	4.0
		0+100	0+240	E1	3.0
46-N-123	77	0+000	0+045	E2	2.0
		0+045	0+077	E2	1.0
46-N-124	179	0+000	0+040	E1	3.0
		0+040	0+179	E1	2.0
47-N-126	218	0+000	0+218	E1	3.0
47-N-127	34	0+000	0+034	E1	2.0
47-N-128	65	0+000	0+065	E1	0.1
47-N-129	75	0+000	0+049	E1	0.1
		0+049	0+075	E1	3.0
47-N-130	185	0+000	0+055	E1	4.0
		0+055	0+075	E1	9.0
		0+075	0+185	E1	7.0
133-N-172	221	0+000	0+013	E4	14.0
		0+013	0+060	E4	13.0
		0+060	0+150	E4	14.0
		0+150	0+188	E4	16.0
		0+188	0+221	E4	18.0
39-N-134	316	0+000	0+316	E1	7.5
133-N-135	790	0+000	0+115 Left	E4	3.0
		0+115 Left	0+175 Left	E4	0.1
		0+175 Left	0+385 Right	E4	0.1
		0+385 Right	0+115 Right	E2	0.1
		0+420	0+485	E2	2.0
133-N-136	94	0+000	0+025	E2	0.1
		0+025	0+094	E1	4.0
133-N-137	70	0+000	0+024	E1	1.5
		0+024	0+070	E5	3.0
44-N-140	350	0+000	0+060	E1	2.0
		0+060	0+100	E1	1.5
		0+100	0+145	E1	1.0
		0+145	0+165	E1	1.5
		0+165	0+350	E1	0.5

Figure A1 : Exemple de système de chaînage pour plusieurs actifs du havre de Vancouver ([Réf. 1](#))

Fin du document