



SOCIÉTÉ DE  
DÉVELOPPEMENT  
CRIE

NO S



## LA GRANDE ALLIANCE

### ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ - PHASES II & III – INFRASTRUCTURE DE TRANSPORT

---

# NOTE TECHNIQUE 13B CONCEPTION DU PORT

**VERSION FINALE**

DATE : LE 25 MARS 2024

PRÉPARÉ PAR :

---

Jan Matthé, M.Sc., ir., P. Eng. (C.-B.)  
Ingénieur portuaire senior  
Ports, eaux côtières et de surface  
Numéro de licence : 30989

---

Keyvan Mahluji, M.Sc., P. Eng. (C.-B.)  
Ingénieur côtier principal senior  
Numéro de licence : 32428



# SOMMAIRE EXÉCUTIF

L'objectif de cette note technique 13B est de décrire les infrastructures portuaires proposées dans le cadre de l'étude de La Grande Alliance Phase III.

Cette note technique 13B fait suite à la note technique 13A publiée précédemment, qui portait sur l'identification du site présentant le plus fort potentiel pour cette installation portuaire prévue. En utilisant les résultats d'une analyse multicritères, l'une des quatre zones présélectionnées près de Whapmagoostui/Kuujuarapik a été choisie comme site privilégié. Cette étude était fondée sur les conditions physiques et environnementales disponibles, notamment l'état des glaces, la géomorphologie côtière, les processus côtiers et l'accessibilité le long du littoral de la baie d'Hudson et près de l'embouchure de la Grande rivière de la Baleine.

Basé sur les conclusions de la note technique 13A, les résultats d'une étude de marché et d'une étude de prévision des marchandises menées par WSP ont démontré que la demande prévue dans un avenir proche et intermédiaire n'est pas suffisante pour justifier un investissement dans un port en eau profonde. La présente note technique 13B, qui a été préparée à la suite de la note technique 13A, reprend les résultats de l'étude de marché et de l'étude de prévision des marchandises, et présente le plan conceptuel élaboré pour un PPB qui sera situé le long du littoral de Whapmagoostui/Kuujuarapik, entre l'embouchure de la Grande rivière de la Baleine et l'entrée du détroit de Manitounuk, et à proximité des îles Qikirtaaruit. Le site sélectionné et l'aménagement proposé pour le PPB répondent aux besoins de la collectivité, en accueillant des bateaux de pêche et en transportant des marchandises à partir de navires de ravitaillement (p. ex. le *Desgagnés*, qui a été spécialement conçu avec une barge et petits remorqueurs pour le déchargement et le transfert de marchandises vers des endroits éloignés) jusqu'à la côte en eaux avec très faibles profondeurs, et permettent le développement futur d'un port en eau profonde, au besoin. Compte tenu du récent glissement de terrain en amont de l'embouchure de la Grande rivière de la Baleine et du risque perçu de sédimentation excessive, le PPB proposé peut également être considéré comme une mesure d'atténuation potentielle répondant aux besoins de la collectivité dans l'éventualité où le port de plage naturel existant dans l'embouchure de la Grande rivière de la Baleine deviendrait non opérationnel.

La présente note technique résume les paramètres nécessaires à l'élaboration du plan conceptuel du PPB, notamment les normes et les données de conception, les navires de conception, les données bathymétriques et topographiques, les conditions environnementales (niveau d'eau, vent, vagues, courant et glace), la morphologie et les conditions géotechniques et géologiques. Il présente également les contraintes, les critères de conception, y compris la limite de la hauteur des vagues, la profondeur d'eau requise et les critères d'endommagement pour le brise-lames et les revêtements, ainsi que les hypothèses formulées au cas où les informations requises ne seraient pas disponibles.

L'étude conceptuelle proposée pour le PPB de Whapmagoostui/Kuujuarapik comprend une description des besoins de cette infrastructure potentielle (espace portuaire, zones d'accostage/de soutien de la flotte de pêche et installations à terre), la disposition du port (tel qu'illustré sur le croquis suivant) et l'étude conceptuelle des éléments portuaires, notamment:

- Des flotteurs, ou des plateformes/quais flottants, qui permettent un schéma d'accostage relativement dense pour 20 petites embarcations (bateaux de pêche) et un accès facile pour monter et descendre des bateaux à faible coût initial. Un système flottant offre l'avantage additionnel que le niveau d'accès aux embarcations ne change pas avec les marées. Le concept proposé consiste en des quais flottants modulaires à charpente en bois pour faciliter le retrait et le stockage des flotteurs chaque année avant la saison hivernale (des glaces) et leur transport/installation une fois la saison ouverte. La taille et le nombre de bateaux sont déterminés en fonction des besoins de la communauté et des bateaux disponibles dans la région.

## NOTE TECHNIQUE 13B – CONCEPTION DU PORT

- Une rampe d'accès au rivage située dans la zone protégée du port, qui sera principalement utilisée pour le chargement et le déchargement des marchandises et des produits transférés du fournisseur de services de transport maritime vers le rivage au moyen de barges spécialisées. En tant que critère supplémentaire lié à l'utilisation communautaire et pour maximiser l'utilisation du port, la rampe pourra également accueillir les bateaux locaux.
- Un brise-lames relié au rivage pour protéger les postes d'amarrage/flotteurs des vagues incidentes. La structure de brise-lames en enrochement proposée est composée d'un noyau (des pierres relativement petites pour construire la structure du brise-lames), de pierres de carapace pour protéger le noyau du remodelage et des dommages causés par les vagues et la glace, et d'une sous-couche placée entre le noyau et la couche de carapace pour empêcher les matériaux du noyau de s'échapper par les vides de la couche de carapace.
- Une zone terrestre récupérée pour accueillir les opérations et les fonctions terrestres potentielles, y compris les aires de service, les bureaux et les aires de stationnement, les aires d'entreposage (y compris les aires d'entreposage des flotteurs pendant les saisons hivernales), et les routes d'accès/approches. On s'attend à ce que la protection de la pente de la zone côtière soit affectée par la glace; par conséquent, une conception similaire à celle proposée pour le brise-lames peut être utilisée pour ce segment.
- Une chaussée d'accès reliant la zone terrestre aux routes locales.

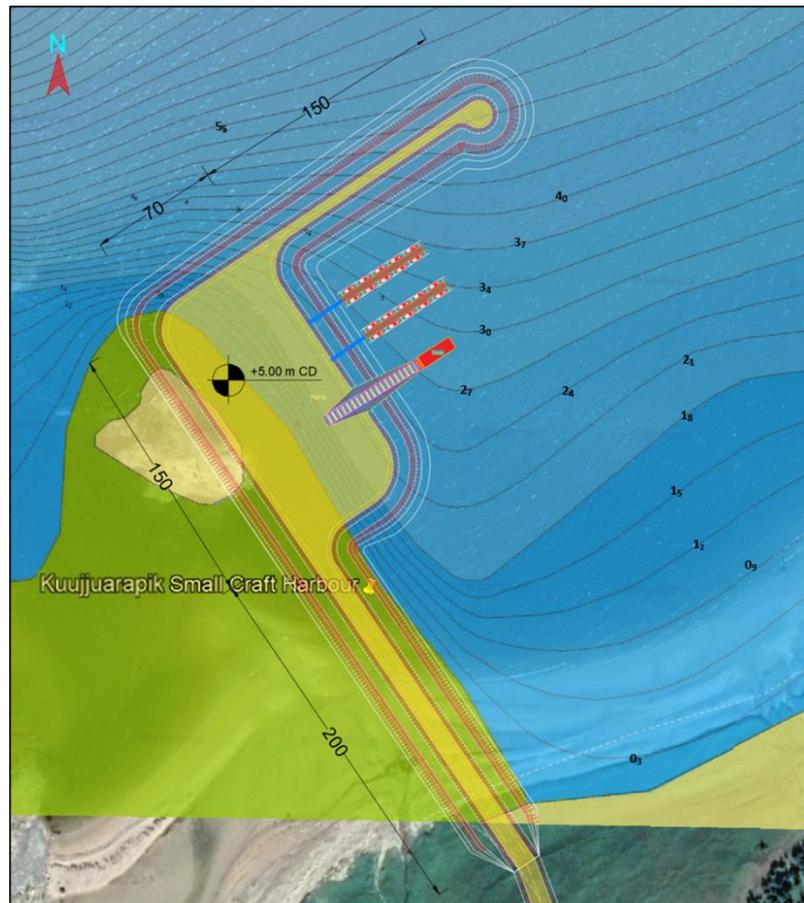


Figure Plan d'aménagement proposé pour le port

## NOTE TECHNIQUE 13B – CONCEPTION DU PORT

Le concept proposé pour l'aménagement du port et ses composantes est basé sur les éléments de conception recueillis et présentés dans cette note technique. Ce plan de pré faisabilité/conceptuel devra être développé/avancé en fonction des résultats de la ou des prochaines campagnes de collecte de données sur le terrain et d'études et d'analyses plus détaillées spécifiques au site, y compris l'analyse des limites dans lesquelles le PPB ne peut pas être utilisé à cause des conditions météocéaniques non favorables, l'évaluation de l'état des glaces, les données topographiques et bathymétriques, les paramètres géotechniques, l'évaluation de la géomorphologie et les aspects de constructibilité. Les impacts environnementaux et géomorphologiques côtiers de la construction du PPB proposé seront également étudiés dans les prochaines phases de cette étude.

# TABLE DES MATIÈRES

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>RÉSUMÉ DES CRITÈRES DE CONCEPTION .....</b>	<b>3</b>
2.1	Normes de conception .....	3
2.2	Données de conception.....	3
2.3	Emplacement.....	4
2.4	Durée de vie UTILE .....	4
2.5	Embarcations utilisées pour la conception .....	5
2.6	Bathymétrie .....	5
2.7	Topographie .....	7
2.8	Glace .....	7
2.9	Niveaux d'eau.....	9
2.10	Vent .....	13
2.11	Vagues .....	15
2.12	Courants .....	16
2.13	Conditions de sédiments .....	16
2.14	Conditions géotechniques/géologiques .....	18
2.15	Dragage.....	20
2.16	Limites de la hauteur des vagues dans la zone du port .....	21
2.17	Profondeur d'eau requise .....	21
2.18	Critères d'endommagement du brise-lames et de la protection des pentes .....	21
<b>3</b>	<b>CONCEPTION.....</b>	<b>22</b>
3.1	Exigences en matière d'infrastructure .....	22
3.2	Configuration générale du port.....	23
3.3	Zones du port .....	25
3.4	Flotteurs.....	27

# TABLE DES MATIÈRES

3.5	Rampe d'accès au rivage.....	29
3.6	Brise-lames.....	30
3.7	Zone côtière.....	31
3.8	Accès aux routes locales.....	31
<b>4</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>32</b>
<b>5</b>	<b>RÉFÉRENCES .....</b>	<b>33</b>

## TABLEAU

Tableau 2-1	Embarcations de conception .....	5
Tableau 2-2	Niveaux d'eau des marées, marées de Whapmagoostui/Kuujjuarapik (SHC - Tables des marées et des courants du Canada 2021). .....	9
Tableau 2-3	Légende de l'unité morphologique côtière....	19
Tableau 2-4	Profondeur d'eau minimale requise .....	21
Tableau 3-1	Rapport entre la longueur du poste d'amarrage et la longueur nominale du bateau .....	26

## FIGURES

Figure 1-1	Carte de localisation .....	1
Figure-2-1	Zones d'étude A, B, C et D du littoral de Whapmagoostui/Kuujjuarapik .....	4
Figure 2-2	Bathymétrie de la zone d'étude (Navionics Chart Viewer) .....	6
Figure 2-3	Vue rapprochée de la bathymétrie de la zone d'étude (Navionics Chart Viewer) .....	6
Figure 2-4	Mesure de l'épaisseur maximale annuelle de la glace entre 1973 et 1991 (Gouvernement du Canada, 2022) .....	8
Figure 2-5	Taux de soulèvement et de subsidence crustaux pour la masse continentale canadienne (Craymer et Robin, 2016). .....	11

# TABLE DES MATIÈRES

Figure 2-6	Tendances à long terme de la variation du niveau marin relatif à des sites représentatifs du Canada (Réf. : RCCC 2019).....	12
Figure 2-7	Rose des vents - Aéroport de Kuujjuarapik 1957-2022.....	13
Figure 2-8	Rose des vents – Aéroport de Kuujjuarapik 1957-2022 – Saison libre de glaces (gauche) et saison des glaces (droite).....	14
Figure 2-9	Résultats de la théorie de valeur extrême (saison d’eau libre) : tous les secteurs (en haut), NO (en bas à gauche), et SE (en bas à droite).....	15
Figure 2-10	Exemples de petites plages de poche situées dans la zone d’étude (images de Boisson et Al. 2015).....	17
Figure 2-11	Distribution de la morphologie autour de la zone d’étude (Brouard et al., 2020) .....	18
Figure 2-12	Imagerie aérienne de la répartition de la morphologie autour de la zone d’étude .....	20
Figure 3-1	Barge utilisée pour le déchargement.....	22
Figure 3-2	Plan d’aménagement proposé pour le port ..	24
Figure 3-3	Chenaux du port .....	26
Figure 3-4	Vue en plan, élévation et vue d’extrémité de flotteurs typiques (Réf. Guide canadien de conception des PPB) .....	27
Figure 3-5	Amarrage typique par écartement (Réf. : Guide canadien de conception des PPB).....	28
Figure 3-6	Rampe d’accès .....	29
Figure 3-7	Coupe transversale typique d’un brise-lames .....	30
Figure 3-8	Raccordement de la route aux routes locales.....	31

# 1 INTRODUCTION

L'objet de cette note technique 13B est de décrire les infrastructures portuaires proposées dans le cadre de l'étude de la phase III de La Grande Alliance.

Cette note technique 13B fait suite à la note technique 13A publiée précédemment, qui était axée sur l'identification du site présentant le plus fort potentiel pour cette installation portuaire prévue. En utilisant les résultats d'une analyse multicritères, l'une des quatre zones présélectionnées près de Whapmagoostui/Kuujuuarapik a été choisie comme site privilégié. Cette étude était fondée sur les conditions physiques et environnementales disponibles, notamment l'état des glaces, la géomorphologie côtière, les processus côtiers et l'accessibilité le long du littoral de la baie d'Hudson et près de l'embouchure de la Grande rivière de la Baleine (figure 1-1). Il s'agit d'un élément qui peut faire partie d'un plan global visant à améliorer le niveau de vie et à étendre le réseau de transport.

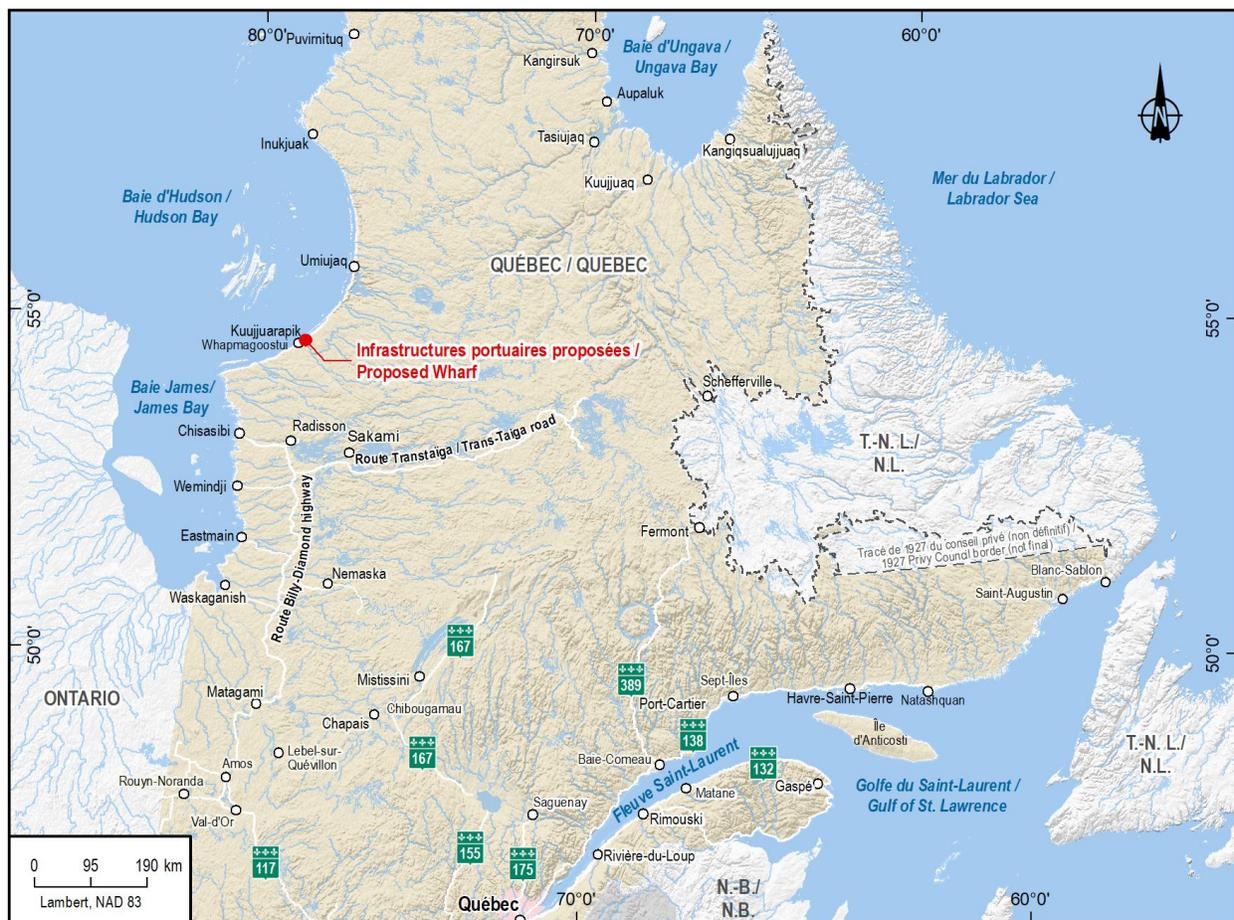


Figure 1-1 Carte de localisation

Basé sur les conclusions de la note technique 13A, les résultats d'une étude de marché et d'une étude de prévision des marchandises menées par WSP ont démontré que la demande prévue dans un avenir proche et intermédiaire n'est pas suffisante pour justifier un investissement dans un port en eau profonde.

La présente note technique 13B, qui fait suite à la note technique 13A, s'appuie sur les résultats de l'étude de marché du fret et présente un plan conceptuel du PPB de Whapmagoostui/Kuujuarapik pour répondre aux besoins de la collectivité, en accueillant les bateaux de pêche et en transportant les marchandises des navires de ravitaillement vers la côte. Compte tenu du récent glissement de terrain en amont de l'embouchure de la Grande rivière de la Baleine et du risque perçu de sédimentation excessive, le PPB proposé est également considéré comme une mesure d'atténuation offrant une solution de rechange à la collectivité dans l'éventualité où le port de plage naturel existant ne serait plus opérationnel.

La section 2 de cette note présente un résumé des éléments de base de la conception, y compris les informations obtenues précédemment et présentées dans la note technique 13A.

La section 3 présente la conception générale proposée pour l'aménagement du port et de ses composantes.

Cette étude de préféabilité/conception devra être développée/affinée en fonction des résultats de la campagne de collecte de données sur le terrain et des études et analyses plus détaillées sur le site.

## 2 RÉSUMÉ DES CRITÈRES DE CONCEPTION

Comme indiqué précédemment, à partir des résultats de l'étude de marché du fret, WSP a élaboré la conception d'un PPB sur le site potentiel en tenant compte des besoins de la communauté, afin d'accueillir les bateaux de pêche et transporter les marchandises des navires de ravitaillement vers la côte. Le développement futur potentiel d'un port en eau profonde est également pris en compte dans la sélection du site et la préparation de l'aménagement portuaire, afin que les mêmes installations puissent être utilisées dans le cadre du port en eau profonde et pour faciliter sa construction.

Compte tenu du récent glissement de terrain en amont de l'embouchure de la Grande rivière de la Baleine et du risque perçu de sédimentation excessive, le PPB proposé peut également être considéré comme une mesure d'atténuation potentielle répondant aux besoins de la collectivité, en tant que critère de conception supplémentaire, au cas où le port de plage naturel existant deviendrait non opérationnel.

Le port pour petits bateaux de Whapmagoostui/Kuujuarapik comprendra des quais flottants saisonniers pour l'accostage de 20 bateaux de pêche, une rampe pour une barge spécialisée dans le transfert des biens et des marchandises déchargés d'un navire de ravitaillement, une zone terrestre reliée à la côte par une chaussée et un brise-lames pour protéger la zone d'accostage des vagues incidentes. La taille et le nombre de navires sont déterminés en fonction des besoins de la communauté et des navires disponibles dans la zone.

Cette section résume les paramètres nécessaires au développement du concept du port.

---

### 2.1 NORMES DE CONCEPTION

#### 2.1.1 UNITÉS

Toutes les dimensions figurant sur l'ingénierie, les calculs et les plans seront exprimées en unités SI (métriques).

#### 2.1.2 NORMES ET MANUELS DE CONCEPTION

Le document *Lignes directrices pour l'établissement d'infrastructures portuaires pour petits bateaux - Pêches et Océans Canada* de Travaux publics et Services gouvernementaux Canada, 2015, - appelé ci-après *Guide canadien de conception d'un PPB* - a été utilisé comme principale norme/ligne directrice pour l'élaboration de la conception du port.

Vous trouverez ci-dessous une liste d'autres normes et références qui ont été utilisées pour ce travail :

- US Army Corps of Engineers, *Coastal Engineering Manual*, 2002.
- Unified Facilities Criteria (UFC), *Small Craft Berthing Facilities*, 2009.

---

### 2.2 DONNÉES DE CONCEPTION

Les élévations sont par rapport au zéro des cartes ou ZC (voir section 2.9.1).

### 2.3 EMLACEMENT

Tel qu'indiqué dans la note technique 13A, quatre zones (A, B, C et D) ont été sélectionnées pour le port prévu le long de la côte de Whapmagoostui/Kuujuarapik, entre l'embouchure de la Grande rivière de la Baleine et l'entrée du détroit de Manitounuk, tel qu'illustré à la figure-2-1.



Figure-2-1 Zones d'étude A, B, C et D du littoral de Whapmagoostui/Kuujuarapik

Une étude de sélection de site a été réalisée en utilisant une vision générale des conditions environnementales physiques clés, incluant les conditions de glace, la géomorphologie côtière, les processus côtiers (niveau d'eau/vent/vagues/courants) et l'accessibilité, pour identifier le site à privilégier. À la suite d'une analyse multicritères (AMC), la zone C et la zone D ont obtenu les meilleurs résultats; une zone située à la limite de ces deux zones a donc été proposée pour l'élaboration conceptuelle du port. Les paramètres recueillis pour la sélection du site, la méthodologie de l'AMC et les résultats de la sélection du site sont présentés dans la note technique 13A.

D'après des images aériennes, il y a une route à moins de 1,0 km du rivage, et la communauté de Whapmagoostui/Kuujuarapik est située à environ 10 km du site proposé.

### 2.4 DURÉE DE VIE UTILE

La durée de vie utile proposée pour l'installation portuaire est de 20 ans pour les flotteurs et de 50 ans pour le brise-lames, sous réserve de révision et d'approbation par le client.

L'analyse des valeurs extrêmes et l'estimation des conditions de conception sont censées être moins fiables pour les périodes de retour supérant de 3 à 4 fois la durée des données disponibles. Pour cette étude conceptuelle, WSP a sélectionné des événements extrêmes avec une période de retour de 100 ans. Pour des durées de vie de 20 et 50 ans, il y a donc ~20 % et ~40 % de chances que l'événement de 100 ans sélectionné soit égalé ou dépassé pendant la durée de vie utile de la structure.

## 2.5 EMBARCATIONS UTILISÉES POUR LA CONCEPTION

Les embarcations suivantes (tableau 2-1) sont utilisées pour la conception selon les informations obtenues des directives régionales et canadiennes de conception des PPB. La « barge » figurant dans le tableau 2-1 sera utilisée pour le transport des biens et des marchandises depuis les navires de ravitaillement jusqu'à la côte et ses dimensions ont été mesurées à l'aide des photos disponibles (voir section 3.1).

Tableau 2-1 Embarcations de conception

TYPE	RÉGION DU CANADA	PÊCHE	LARGEUR TYPIQUE DE L'EMBARCATION	LONGUEUR TYPIQUE DE L'EMBARCATION	LE TIRANT D'EAU DE L'EMBARCATION (ESTIMÉ À PARTIR DE DONNÉES EXTERNES)
Bateaux de pêche	Centre et Arctique	Filet maillant - Ouest	2,4 m	Embarcation de 6,7 m	1,2 m
Barge	-	-	7 m	20 m	<1,2 m

## 2.6 BATHYMÉTRIE

La bathymétrie de la zone est caractérisée par des tendances générales qui reflètent la morphologie du substrat rocheux sous-jacent, notamment des crêtes et des creux discontinus orientés nord-est-sud-ouest (figure 2-2 et figure 2-3). Les crêtes forment des cuestas à forte pente à l'est, et à faible pente à l'ouest. Les cuestas s'étendent au large sur 40 km à l'ouest de la Grande rivière de la Baleine.

À l'ouest de la Grande rivière de la Baleine, la profondeur augmente jusqu'à 60 m à moins de 3 km du rivage, mais elle dépasse rarement 100 m par rapport au zéro des cartes. À environ 8 km à l'ouest de l'embouchure de la rivière, le fond marin s'élève jusqu'à des profondeurs de moins de 20 m. Les crêtes discontinues sont orientées vers le nord-est et constituent des prolongements contigus des îles Manitounuk. Au sud-ouest de la Grande rivière de la Baleine, l'alignement des crêtes est coupé par un creux orienté ouest-sud-ouest, généralement aligné avec le chenal de la Grande rivière de la Baleine.

Le passage de Manitounuk est situé à environ 10 km au nord-est de la Grande rivière de la Baleine et est délimité par la côte continentale orientée vers le nord-est et les îles Manitounuk. Le passage de Manitounuk mesure 58 km de long, avec une largeur minimale et maximale de 1 et 5,7 km, respectivement. L'embouchure du passage de Manitounuk a une largeur de 3,5 km et s'ouvre vers le sud-ouest. Les eaux s'approfondissent progressivement vers l'ouest à partir du continent. La profondeur maximale de l'eau est >100 m près de l'embouchure du détroit, et moins profonde vers le nord-est. Près de la tête du passage de Manitounuk, la profondeur maximale de l'eau est >30 m. Les battures intertidales sont présentes à l'abri des promontoires ou des caps et ont généralement une largeur <100 m dans le sud-est du détroit et s'élargissent jusqu'à 1 km près de la tête du passage de Manitounuk.

La bathymétrie de l'embouchure de la Grande rivière de la Baleine présente une marge de haut-fond (<5 m) avec des bancs de sable peu profonds (<2 m). Le delta s'étend sur 2 km à partir du rivage près de l'embouchure de la Grande rivière de la Baleine avec une rupture de pente entre 5 et 10 m de profondeur d'eau. La marge du haut-fond se rétrécit vers le nord-est. En général, la marge côtière présente une rupture de pente à une profondeur de 5 à 10 m à moins de 150 m du rivage. Par endroits, la pente de la marge côtière est plus prononcée, comme au sud-ouest de l'embouchure de la Grande rivière de la Baleine et au nord-est de la zone d'étude, en face de l'île Manitounuk, avec des profondeurs de l'ordre de 10 à 20 m à moins de 50 m du rivage.

La bathymétrie en mer ne devrait pas constituer une préoccupation majeure pour la navigation, à l'exception de petits hauts-fonds isolés près de l'île Gillies et du côté est de l'entrée du passage de Manitounuk.

# NOTE TECHNIQUE 13B – CONCEPTION DU PORT

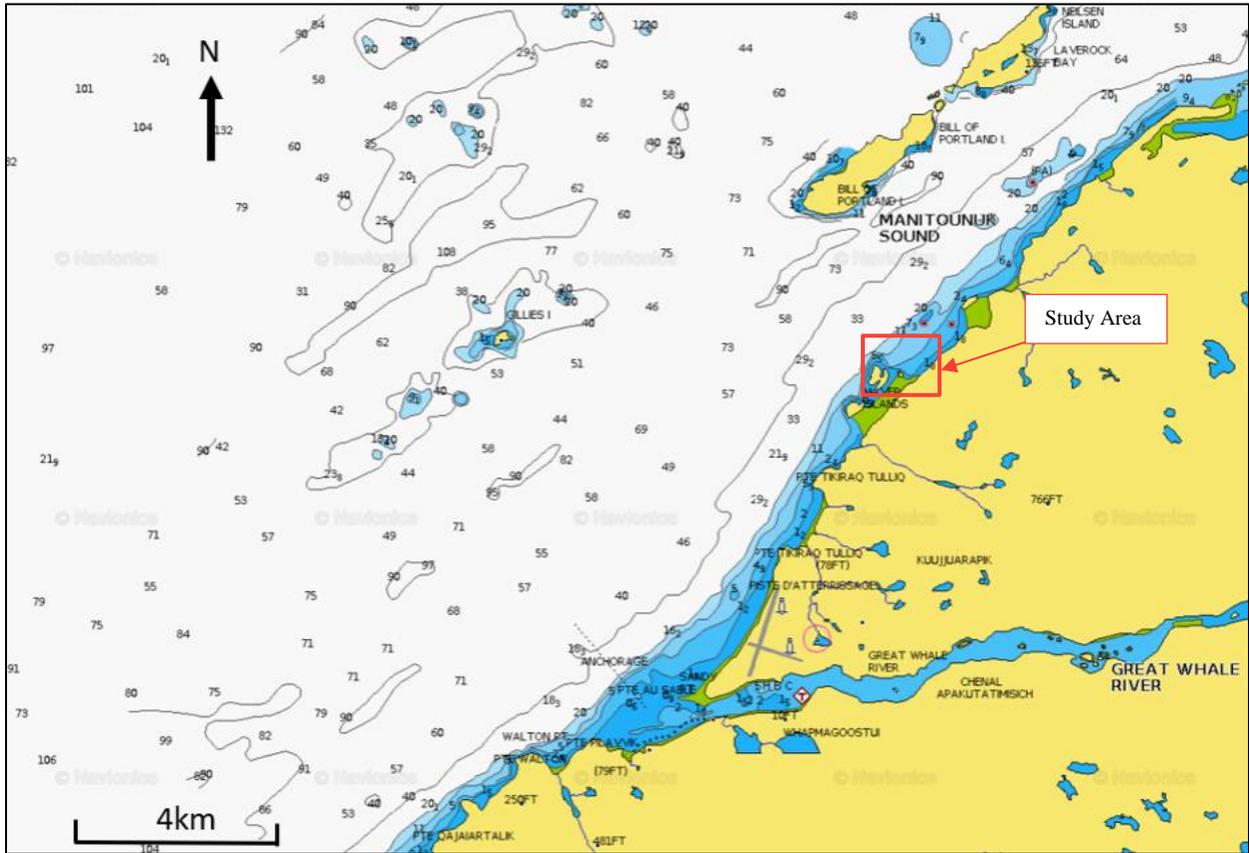


Figure 2-2 Bathymétrie de la zone d'étude (Navionics Chart Viewer)

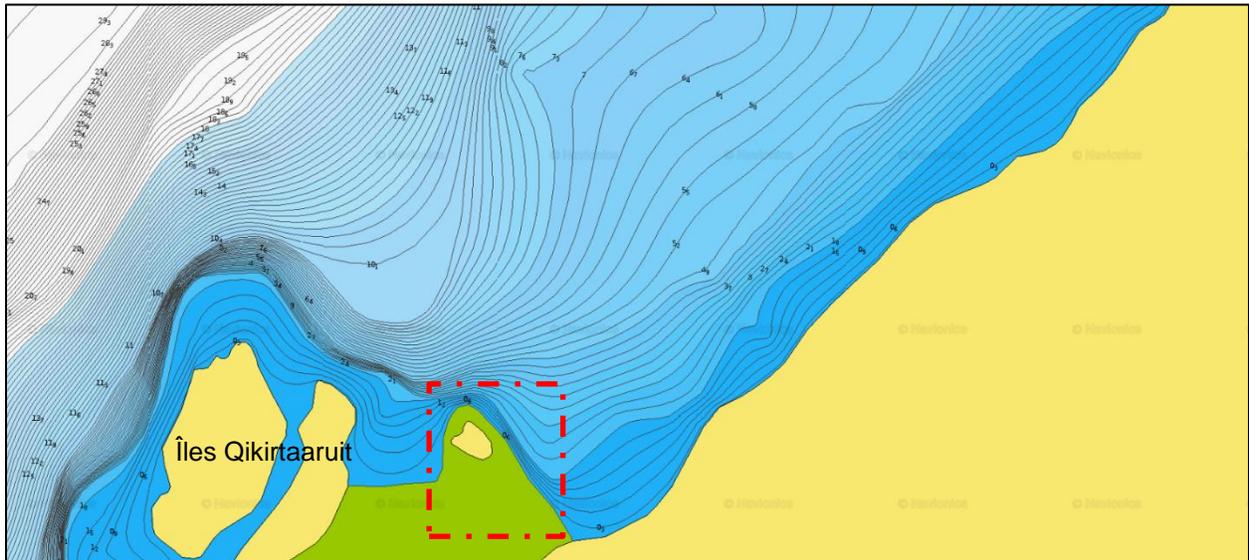


Figure 2-3 Vue rapprochée de la bathymétrie de la zone d'étude (Navionics Chart Viewer)

La bathymétrie est une considération importante pour la conception d'un PPB ou d'un port en eau profonde. En l'absence de données bathymétriques spécifiques au site, les informations obtenues à partir du Navionics Chart Viewer ont été utilisées dans le cadre de la conception (figure 2-3). Cette figure illustre les îles Qikirtaaruit, une petite île (~80 m par ~40 m) à l'est, une zone intertidale et une pente relativement raide jusqu'au contour de -2 m/CD.

## 2.7 TOPOGRAPHIE

La topographie générale de la zone d'étude est un littoral orienté vers le nord-est. La zone côtière proche du rivage présente un faible relief, avec des élévations généralement inférieures à 20 m au-dessus du niveau moyen de la mer. Le profil du terrain côtier situé au nord-est de la Grande rivière de la Baleine présente une pente graduelle vers la mer - l'élévation diminue de 70 à 90 m sur une distance d'environ 2 km. Le littoral est également bordé de crêtes rocheuses, derrière lesquelles se trouvent des battures subtidales. Au sud-ouest de l'embouchure de la Grande rivière de la Baleine, le terrain présente une pente abrupte vers la mer; sur une distance de 1,5 km, l'élévation diminue de 150 mètres.

Au nord-est de la zone d'étude, une série d'îles en forme de cuesta, de faible élévation et orientées vers le nord-est forment la limite ouest du passage de Manitounuk. Les îles ont des pentes abruptes sur la rive est et des pentes douces sur la rive ouest. Les îles comprennent l'île Bill of Portland et l'île Neilsen. L'île Bill of Portland mesure environ 3 km de long, sa largeur maximale est de 0,8 km et son élévation est de 45 m au-dessus du niveau de la mer. L'île Neilsen est située au nord, elle mesure ~3 km de long, a une largeur maximale de ~1 km et une élévation maximale de 30 m au-dessus du NMM. Les deux îles ont une longueur de ~3 km.

En l'absence de données topographiques spécifiques au site, on a supposé que la topographie de la zone côtière proche du rivage de la zone d'étude n'était généralement pas abrupte, avec des pentes douces près du rivage, et que l'élévation de la petite île illustrée sur la figure 2-3 et de la zone intertidale à proximité est de 0,0 m/ZC. L'aménagement du port, y compris la chaussée d'accès, sera réexaminé et mis à jour (si nécessaire) une fois que les données topographiques du site seront disponibles.

## 2.8 GLACE

Les résultats d'une évaluation générale de l'état des glaces dans la baie et le détroit d'Hudson (voir la note technique 13A) révèlent que la couverture de glace sur la côte semble se former plus tard et se briser plus tôt; par conséquent, une infrastructure maritime à Whapmagoostui/Kuujuarapik devrait connaître une saison libre de glace plus longue par rapport à une infrastructure située le long de la côte ouest, par exemple le port actuel de Churchill (Manitoba). Les saisons libres de glace régulières le long de la côte est de la baie d'Hudson ont une durée d'environ cinq mois, de juillet à novembre. Une étude sur les changements climatiques démontre que le nombre de semaines sans glace pourrait augmenter de plus de six semaines d'ici 2041-2070 (Ouranos, 2020).

On s'attend à ce que le site choisi pour le port ne soit pas exposé aux incursions de radeaux glaciels provenant du large. L'épaisseur de la glace est contrôlée par la croissance thermique pendant tout l'hiver et la débâcle se produit par voie thermique, la glace fondant principalement sur place.

Cette section donne un aperçu de l'épaisseur de la glace dans la zone d'étude et de son impact potentiel sur les éléments du port.

### 2.8.1 ÉPAISSEUR DE LA GLACE

L'épaisseur de la glace est un paramètre de conception essentiel pour évaluer la charge de la glace et son interaction avec les infrastructures maritimes.

La figure 2-4 illustre l'épaisseur maximale annuelle de la glace, mesurée par le gouvernement du Canada (GC, 2022) près de Whapmagoostui/Kuujuarapik, à l'embouchure de la Grande rivière de la Baleine, pour la période 1973-1991. L'épaisseur maximale annuelle moyenne de la glace est de 1,4 m et l'épaisseur maximale de la glace mesurée était de 2,2 m, le 4 avril 1983.

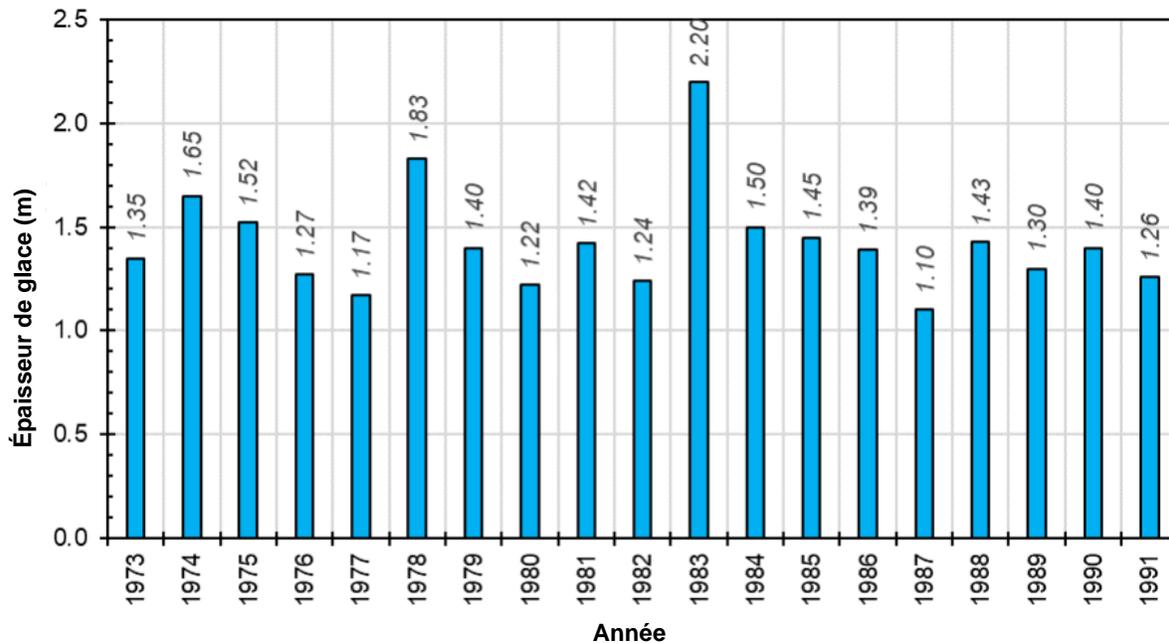


Figure 2-4 Mesure de l'épaisseur maximale annuelle de la glace entre 1973 et 1991 (Gouvernement du Canada, 2022)

En l'absence de données statistiques et en utilisant les informations disponibles, une épaisseur de glace de 2,0 m a été utilisée pour la conception.

### 2.8.2 CHARGE DE GLACE

La charge de glace est une considération importante pour la conception du PPB. La zone choisie est peu profonde (profondeur d'eau < 6 m), ce qui situe généralement le port dans la zone de glace de rive et tend également à le protéger contre les incursions de glace provenant du large. En outre, la faible profondeur d'eau empêcherait les caractéristiques de la glace à fort tirant d'eau (par exemple, les quilles de crête) d'atteindre le port.

L'approche proposée pour le PPB de Whapmagoostui/Kuujuarapik consiste en des structures d'accostage flottantes, qui seront rassemblées et transportées sur la côte pendant l'hiver, afin d'éviter l'impact de la glace. Par conséquent, la charge de glace ne s'appliquera qu'au brise-lames du port et aux composantes de protection des revêtements et des pentes.

Les structures en enrochement telles que les brise-lames et les chaussées ont généralement une résistance latérale élevée, de sorte que le glissement dû à la charge de glace ne devrait pas poser de problème pour la structure. Cependant, la glace peut disloquer les pierres de carapace en les poussant vers le haut, ou les arracher/déplacer/empporter et remodeler les profils. La glace doit donc être considérée comme l'un des paramètres de conception de la couche de carapace.

La glace peut également remonter et empiéter sur la crête; cependant, étant donné qu'il n'y aura pas ou peu d'installations sur la crête, qui sont vulnérables aux dommages causés par la glace, l'empiètement de la glace n'a pas été pris en compte dans la conception générale.

Il est à noter que la construction d'un brise-lames pour protéger les installations d'accostage contre les vagues peut également retarder le dégagement de la glace au printemps. Compte tenu de la taille et du type de bateaux/embarcations attendus dans le port, la présence de glace devrait raccourcir la saison d'exploitation du PPB et la limiter à la période d'eau libre.

## 2.9 NIVEAUX D'EAU

Les niveaux d'eau près de Whapmagoostui/Kuujuarapik sont sujets à des fluctuations principalement dues aux marées et aux ondes de tempête lors d'événements extrêmes. On s'attend également à ce que le niveau de l'eau change en raison de l'élévation du niveau de la mer due aux changements climatiques.

### 2.9.1 MARÉES

Les données sur les niveaux d'eau des marées, fournies par le Service hydrographique du Canada (SHC), pour l'embouchure de la Grande rivière de la Baleine sont présentées dans le tableau 2-2.

Les marées près de Whapmagoostui/Kuujuarapik sont semi-diurnes et l'amplitude de la marée haute est de 2,0 m.

**Tableau 2-2 Niveaux d'eau des marées, marées de Whapmagoostui/Kuujuarapik (SHC - Tables des marées et des courants du Canada 2021).**

Région	Whapmagoostui/Kuujuarapik		
Port de référence	Churchill*		
Numéro d'index	4645		
Type de marée	semi-diurne		
Marnage	Marée moyenne		1,5 m
	Marée haute		2,0 m
Niveau de marée	Pleine mer supérieure	Marée moyenne	1,7 m
		Grande marée	2,0 m
	Basse mer inférieure	Marée moyenne	0,2 m
		Grande marée	0,0 m (Zéro des cartes)
Niveau moyen de l'eau			1,0 m

\* Les données sur les marées fournies pour Whapmagoostui/Kuujuarapik utilisent Churchill comme port de référence, qui se trouve à environ 1000 km au nord-ouest du site.

Il faut souligner que les marées subissent des variations saisonnières en raison de la couverture annuelle de glace. Pendant la saison des glaces, la baie d'Hudson connaît des variations de marée plus faibles en plus d'un avancement de la marée (Freeman, 1986).

### 2.9.2 ONDES DE TEMPÊTE

Les ondes de tempête résultant d'une faible pression atmosphérique et de vents d'ouest peuvent induire une augmentation supplémentaire du niveau de la mer au-dessus du niveau moyen de la mer et des fluctuations de marée. À l'automne 1999, une étude à l'embouchure de la Grande rivière de la Baleine a été menée par l'Institut des sciences de la mer de l'Université du Québec. Cette étude comprenait des mesures des vagues, des courants et des sédiments en suspension dans une profondeur d'eau de 10 m sur une période de 15 jours, au cours de laquelle une tempête de quatre jours a été observée. Au cours de cette tempête, des vagues de plus de 3 m de hauteur pendant 15 heures et une marée de tempête de plus de 1 m de hauteur ont été enregistrées. Pendant les jours de beau temps de la période de collecte des données, seules des vagues locales d'une hauteur significative inférieure à 1 m ont été observées (Hill et al., 2003). Ce dernier résultat est cohérent avec les ondes de tempête de plus de 1 m rapportées par Hydro-Québec (Hydro-Québec, 1980).

Selon les informations disponibles présentées dans la note technique 13A, une marée de tempête de 1,0 m est considérée à ce stade de l'étude.

### 2.9.3 VARIATION DU NIVEAU MARIN RELATIF

Les informations relatives aux variations du niveau de la mer dues aux changements climatiques sont tirées du *Rapport sur le climat changeant du Canada* du Gouvernement du Canada (RCCC2019). À l'échelle mondiale, pendant la majeure partie du XX<sup>e</sup> siècle (jusqu'en 1990), le niveau de la mer s'est élevé à un rythme moyen légèrement supérieur à 1 mm/an. Récemment, le taux d'élévation moyen du niveau de la mer a augmenté, et le taux d'élévation moyen mondial du niveau de la mer après 1993 est presque trois fois plus important, soit environ 3 mm/an en moyenne.

Les tendances à long terme du niveau marin relatif observées aux marégraphes du Canada varient considérablement d'un endroit à l'autre. Une partie de cette variabilité est due à des facteurs océanographiques qui influent sur l'élévation absolue de la surface de la mer, mais un déterminant majeur de la variation du niveau relatif de la mer au Canada est le mouvement vertical des terres, c'est-à-dire leur (enfoncement) et leur soulèvement.

Dans la majeure partie du Canada, le soulèvement ou l'affaissement des terres est principalement dû aux effets différés de la dernière glaciation continentale (ère glaciaire), appelés ajustement isostatique glaciaire (AIG). L'AIG provoque encore le soulèvement de la croûte continentale nord-américaine dans les zones proches du centre des anciennes nappes glaciaires, comme la baie d'Hudson, et la subsidence dans les régions qui se trouvaient en bordure des anciennes nappes glaciaires, comme la partie sud du Canada atlantique, tel qu'illustré à la figure 2-5. Sur la côte ouest, la tectonique active et, dans le delta du Fraser, la consolidation des sédiments (Mazzotti et al., 2009), contribuent au mouvement vertical des terres.

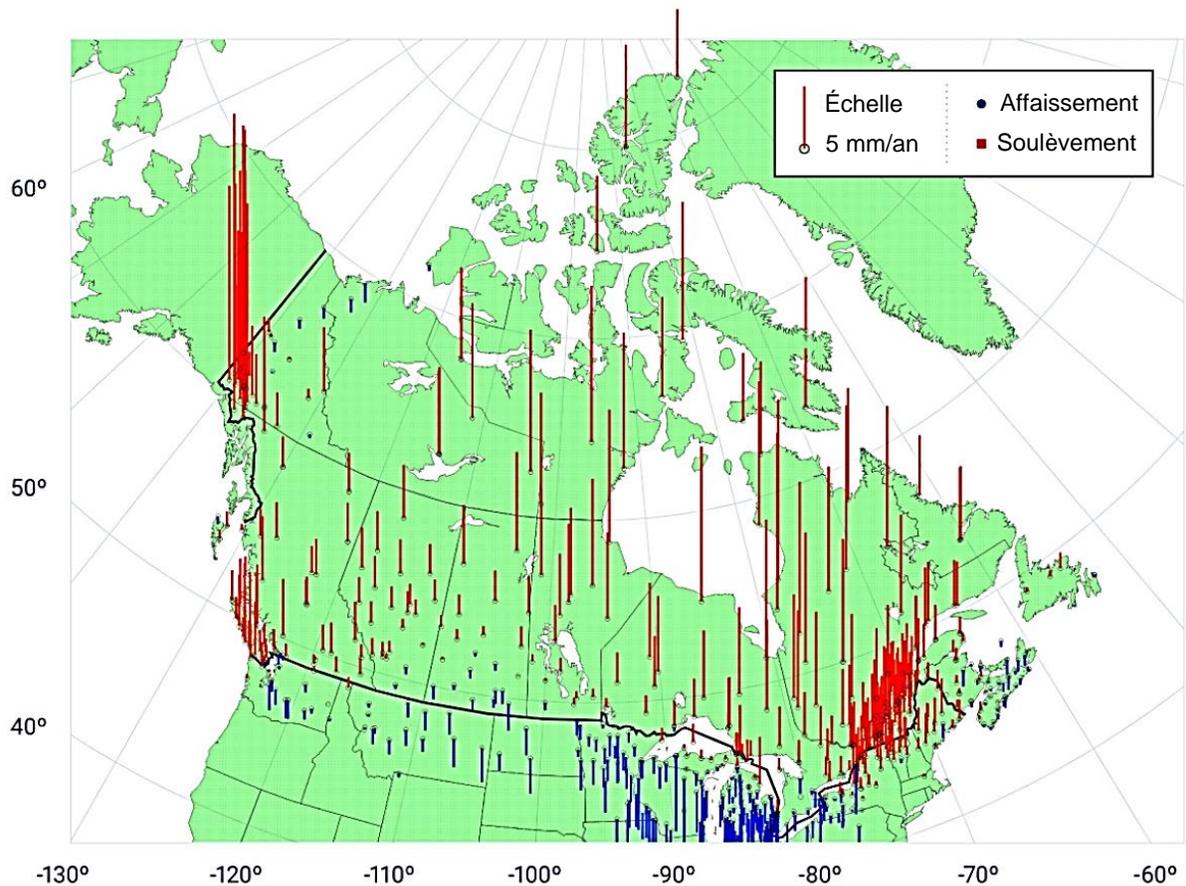


Figure 2-5 Taux de soulèvement et de subsidence crustaux pour la masse continentale canadienne (Craymer et Robin, 2016).

Les projections futures des changements climatiques dans l'environnement marin indiquent que l'élévation du niveau de la mer et le déclin de la glace de mer entraîneront des changements dans les niveaux d'eau extrêmes, ce qui aura un impact sur les côtes et les infrastructures canadiennes. Le niveau relatif de la mer (NRM) est défini comme le niveau de la mer observé par rapport à un cadre de référence terrestre. Le NRM varie en raison de l'élévation du niveau de la mer et du mouvement vertical des terres.

Les côtes de la baie d'Hudson se soulèvent à un rythme de 10 mm par an ou plus. D'importantes parties du littoral de l'archipel arctique canadien se soulèvent à un rythme de quelques millimètres par an en raison d'une combinaison d'AIG et de la réponse de la croûte terrestre aux changements actuels de la masse de glace, tandis que le littoral de la mer de Beaufort dans l'Arctique occidental s'affaisse en raison d'AIG à un rythme de 1 à 2 mm par an. Les effets du mouvement vertical des terres sont évidents dans les enregistrements des marégraphes (voir figure 2-6), où les terres se soulèvent rapidement en raison d'AIG, comme à Churchill, au Manitoba (sur la baie d'Hudson).

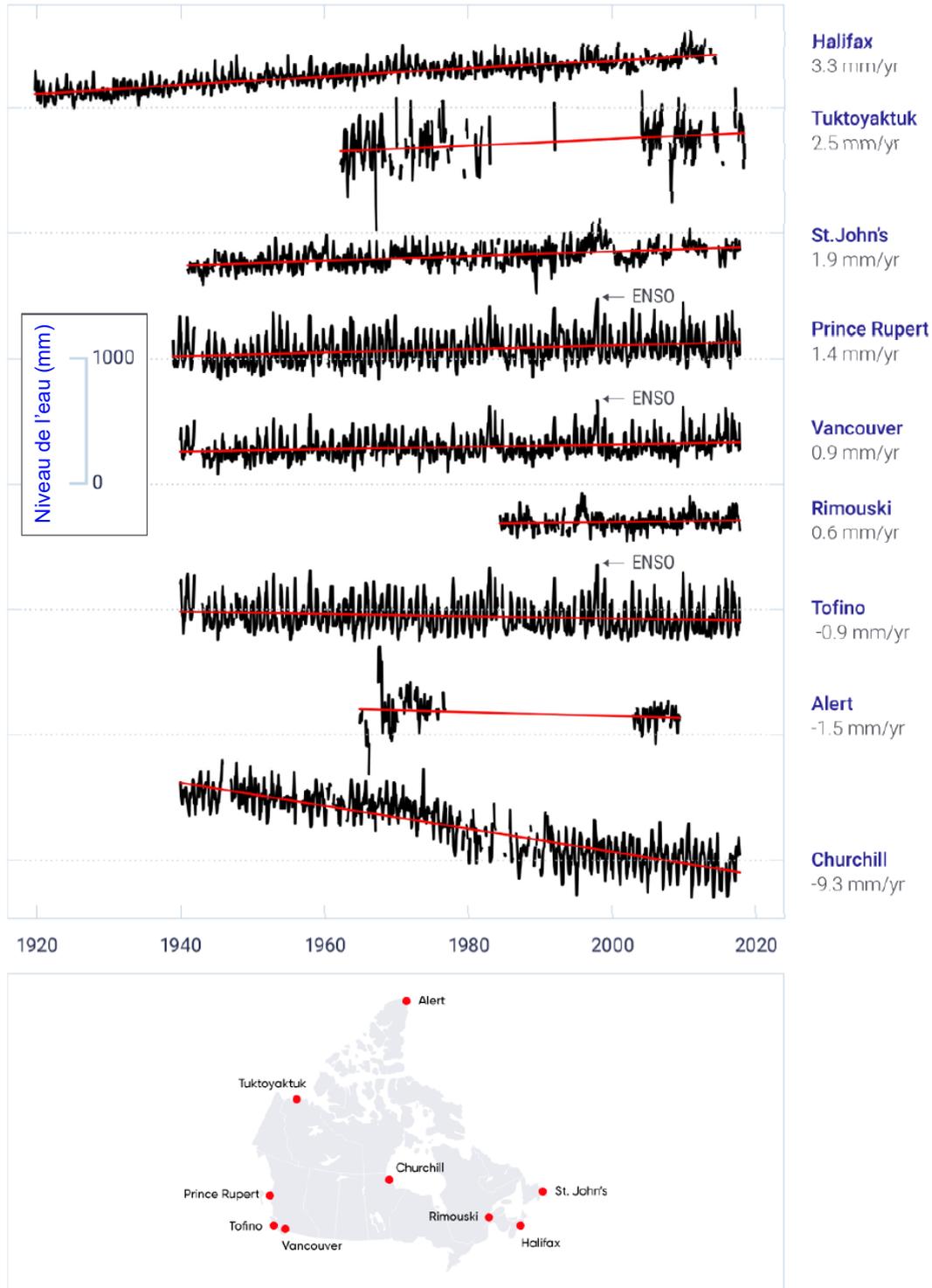


Figure 2-6 Tendances à long terme de la variation du niveau marin relatif à des sites représentatifs du Canada (Réf. : RCCC 2019)

Ce graphique démontre qu'en raison du soulèvement des terres à Churchill, Manitoba (sur la baie d'Hudson) dû à l'AIG, le niveau de la mer a baissé rapidement, à un taux de 9,3 mm par an. En supposant que la même condition s'applique à la côte est de la baie d'Hudson, on s'attend à un changement de niveau du NRM de -9,3 mm/an sur le site d'étude à long terme.

Pour la conception, le niveau d'eau de conception a été estimé à 2,7 m/ZC en additionnant la pleine mer supérieure, marée moyenne (PMSMM) (+1,7 m/ZC) et la marée de tempête de 1,0 m, sans tenir compte du NMR estimé (9,3 mm/an de soulèvement du sol).

### 2.10 VENT

En l'absence de données spécifiques au site, les informations sur les vents enregistrées à l'aéroport de Kuujjuarapik, situé à 55°17'00" N, 77°45'00" O, à environ 1,2 km à l'est de la côte de la baie d'Hudson dans le village de Whapmagoostui/Kuujjuarapik, et à ~6 km au sud-ouest du site d'étude, ont été utilisées pour évaluer les conditions de vent dans la zone portuaire proposée.

Les enregistrements de vent à la station de l'aéroport sont disponibles entre 1957 et aujourd'hui. Le graphique de rose des vents ci-dessous (figure 2-7) présente les conditions générales de vent de 1957 à 2022 enregistrées à l'aéroport de Kuujjuarapik.

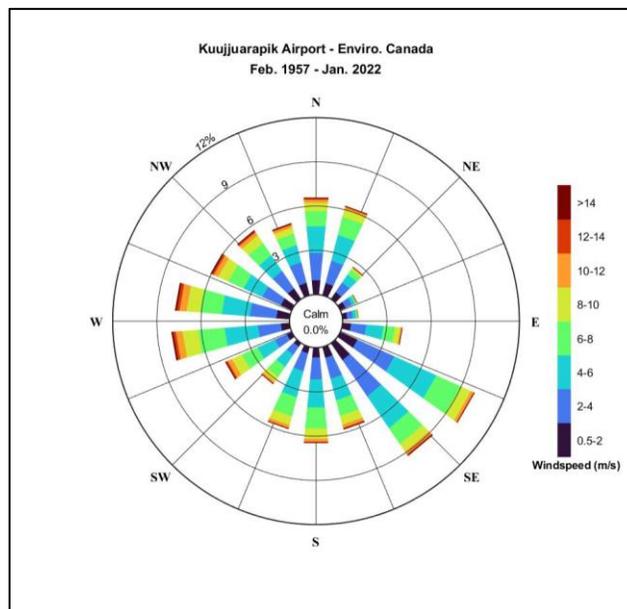


Figure 2-7 Rose des vents - Aéroport de Kuujjuarapik 1957-2022

La direction prédominante dans la rose des vents est le sud-est, mais des vents plus forts se produisent également dans le secteur ouest. La vitesse moyenne du vent est d'environ 5 m/s.

## NOTE TECHNIQUE 13B – CONCEPTION DU PORT

La figure 2-8 présente une comparaison entre les données de vent mesurées pendant les saisons des glaces et les saisons libres de glace entre 1957 et 2022. Ces deux roses des vents montrent que pendant la saison hivernale (glace), il y a une augmentation des vents provenant du sud-est et de l'est-sud-est, alors que pendant les mois d'eau libre (sans glace), la direction dominante du vent est de l'ouest. Les vents du sud-est proviennent de la terre ferme et n'influencent pas la condition des vagues sur le site.

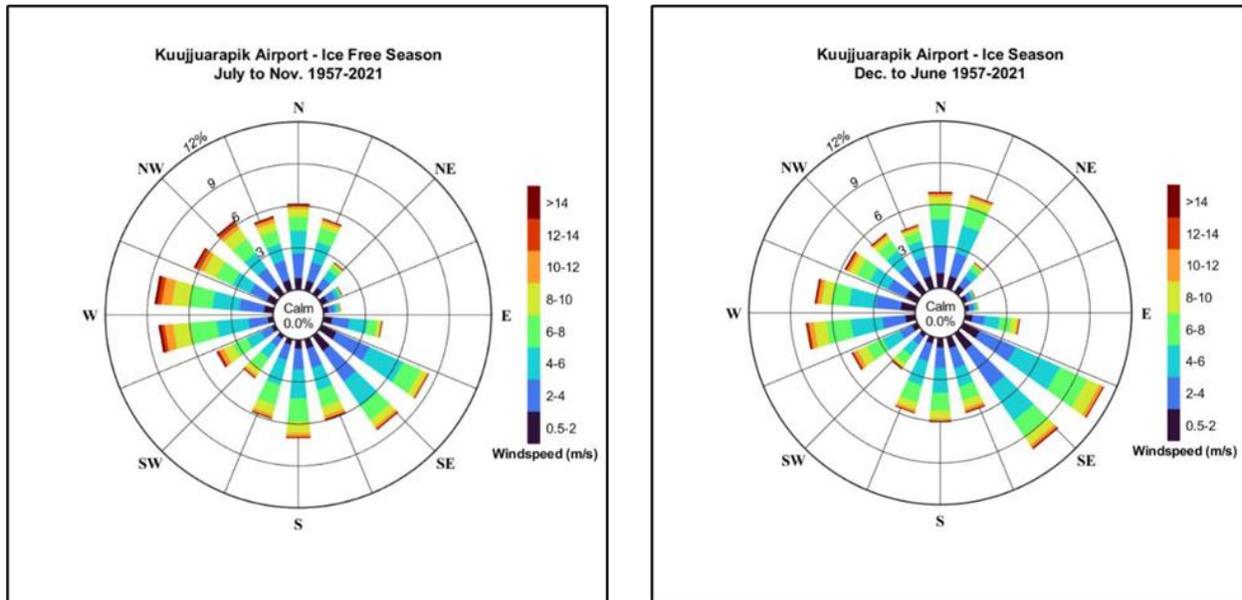
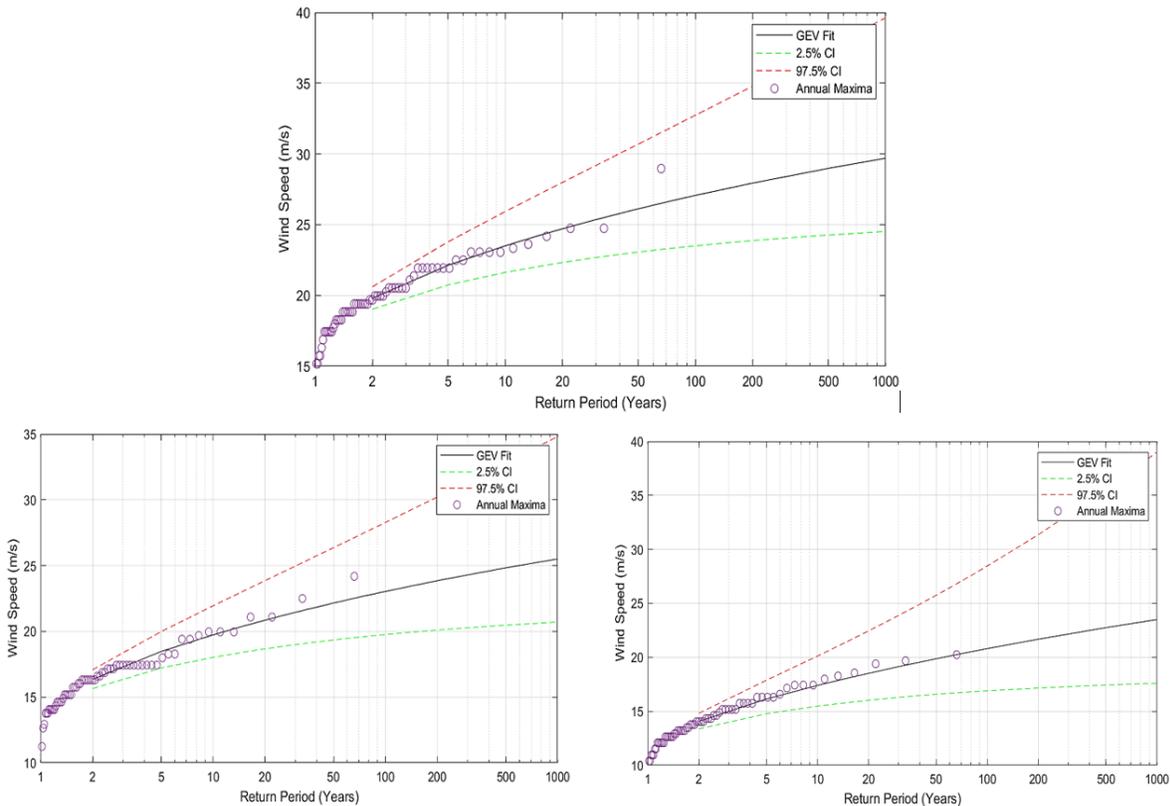


Figure 2-8 Rose des vents – Aéroport de Kuujjuarapik 1957-2022 – Saison libre de glaces (gauche) et saison des glaces (droite)

La figure 2-9 présente la théorie de valeur extrême (EVT) réalisée sur les données de vent pour tous les secteurs (omnidirectionnel), et pour les directions NO et SE.



**Figure 2-9 Résultats de la théorie de valeur extrême (saison d'eau libre) : tous les secteurs (en haut), NO (en bas à gauche), et SE (en bas à droite)**

Selon les informations disponibles et l'évaluation générale des données de vent, les vitesses de vent de conception de 27 m/s, 23 m/s et 21 m/s ont été retenues comme donnée de récurrence de 100 ans de tous les secteurs, et pour les directions NO et SE, respectivement.

## 2.11 VAGUES

Les données publiées sur les vagues dans la zone sud-est de la baie d'Hudson sont rares. Vous trouverez ci-dessous les informations générales recueillies concernant la condition des vagues à proximité de la zone étudiée, et présentées dans la note technique 13A :

- D'après des observations limitées effectuées au cours des étés 1991 et 1992 sur la plage de Whapmagoostui/Kuujuarapik, la hauteur des vagues varie entre 0,2 et 1,2 m (hauteur médiane de 0,5 m) et leur durée est de 2 à 5 secondes (Ruz, 1994a).
- Au cours des mois d'été, la région de Whapmagoostui/Kuujuarapik est dominée par des vagues d'ouest (Ruz, 1994a), ce qui est attendu en raison de l'augmentation des vents d'ouest pendant la saison libre de glaces.

- Comme indiqué dans la section 2.9.2, des vagues locales avec des hauteurs significatives inférieures à 1 m ont été enregistrées à l'automne 1999 à l'embouchure de la Grande rivière de la Baleine, tandis que lors d'une tempête de quatre jours, des hauteurs de vagues supérieures à 3 m pendant 15 heures ont également été observées.
- Des fetchs importants, d'environ 1000 km, combinés à de forts vents de l'ouest et du nord-ouest pendant les tempêtes, provoquent le développement de grosses vagues générées par le vent. Le rapport Ropars de 2011 fait référence à une rétrospection des vagues effectuée à partir des données de vent recueillies à l'aéroport de Kuujuarapik, et l'analyse a généré des hauteurs de vagues significatives dépassant 4,8m en moyenne par saison de navigation et 6,0 m pour une période de retour de 25 ans à l'entrée du détroit de Manitounuk. Plus près du littoral, la hauteur significative des vagues était de 1,7 m et de 2,2 m pour une période de retour de 25 ans.

La zone proposée pour le PPB est relativement peu profonde (profondeur d'eau de ~4 m/ZC). En utilisant le niveau d'eau nominal estimé à +2,7 m/ZC, la profondeur de l'eau pendant la tempête de conception sera d'environ 6,7 m. En l'absence d'une évaluation des conditions de vagues, une hauteur maximale de vague déferlante de 3,4 m a été utilisée comme condition de vague de conception dans cette conception.

L'estimation de la condition des vagues utilisée dans cette conception n'a pas tenu compte de la génération/rétrospection des vagues, de l'interaction entre les vagues et le fond marin (p. ex., la formation de hauts-fonds et la réfraction) et également de la diffraction des vagues; par conséquent, il est recommandé de simuler les conditions des vagues dans la prochaine phase de l'étude pour déterminer les vagues opérationnelles et extrêmes sur le site proposé, et également de mener un programme de mesure des vagues pour calibrer/vérifier les résultats.

---

## 2.12 COURANTS

Les courants peuvent être alimentés par une combinaison de vents, de vagues et de marées. Une grande partie de l'énergie des courants dans la région est associée aux marées et aux vents. Les courants littoraux dans la zone de déferlement seront également alimentés par les vagues. Ropars (2011) résume les courants pour les zones étudiées près de Whapmagoostui/Kuujuarapik comme étant faibles (et selon le CSSA 1992, d'environ 0,3 m/s). Cependant, le site d'étude peut être impacté par des courants plus forts induits par les marées et parfois par le vent en raison de son emplacement dans le passage de Manitounuk (Ropars, 2011).

Pour cette conception, il a été présumé que le courant ambiant aura un impact minimal ou nul sur l'aménagement du port et les installations d'accostage, et n'a donc pas été inclus dans la conception.

---

## 2.13 CONDITIONS DE SÉDIMENTS

Comme mentionné dans la note technique 13A, des petites plages de poche sablonneuses sont présentes entre les promontoires rocheux et les bancs de galets et de cailloux le long du littoral, à proximité du site étudié. Des exemples de plages dans la zone d'étude sont présentés à la figure 2-10. En raison de la circulation locale de l'eau, le panache d'eau douce de la Grande rivière de la Baleine a tendance à s'étendre vers le nord-est, agissant comme une source de sédiments pour le dépôt des plages dans la zone d'étude (Hequette et Tremblay, 2009). Une plage de 1,6 km de long située à 4 km à l'est de l'embouchure de la Grande rivière de la Baleine a été caractérisée par Hequette et Tremblay (2009).



Figure 2-10 Exemples de petites plages de poche situées dans la zone d'étude (images de Boisson et Al. 2015)

La zone intertidale a une largeur d'environ 100 m, avec une pente moyenne de l'estran de 5 %, qui diminue à environ 2 % sur la plage inférieure. La zone littorale est caractérisée par des bancs et des fosses parallèles qui dissipent l'énergie des vagues entrantes. Les principaux paramètres responsables du mouvement des sédiments le long des plages sont l'énergie des vagues et la vitesse des courants littoraux induits par les vagues incidentes obliques (Hequette et Tremblay, 2009).

Des dunes basses (<5 m de haut) se sont formées à l'intérieur des plages de sable. Des crêtes dunaires progressivement élevées sont également présentes, interprétées comme des dunes reliques élevées à des altitudes plus élevées par le soulèvement isostatique (Ruz et Allard, 1994b). Les dunes de la côte est de la baie d'Hudson ont tendance à se former sur les côtes de l'océan avec des fetchs importants (Boisson et Allard, 2018). Au nord-est, en raison de conditions plus abritées dans le passage de Manitounuk, il n'y a aucune dune sur le littoral.

Il est recommandé de réaliser une évaluation géomorphologique spécifique au site et d'évaluer l'impact potentiel de la construction d'un PPB sur la morphologie du littoral et les régimes sédimentaires littoraux/transversaux dans la prochaine phase de l'étude.

Comme indiqué dans la note technique 13A, des glissements de terrain ont été signalés en amont de l'embouchure de la Grande rivière de la Baleine. Ces glissements de terrain entraînent des épisodes de forte charge sédimentaire et provoquent des rétrécissements de la rivière. Une préoccupation potentielle est l'impact des taux élevés de sédimentation, qui peuvent entraîner une voie d'eau obstruée ou un danger pour la navigation, affectant l'opérabilité du port de plage naturel existant.

## 2.14 CONDITIONS GÉOTECHNIQUES/GÉOLOGIQUES

La plus grande partie du littoral de la zone étudiée est composée de roche-mère et de petites plages de poche dans la partie sud-ouest du site. Le rivage rocheux est stable dans le contexte des processus d'érosion, alors que les plages peuvent potentiellement être sensibles aux processus d'érosion. Il est probable que la plupart des sédiments de la Grande rivière de la Baleine soient poussés vers le nord-est par les courants littoraux, bien que dans une moindre mesure par rapport à la zone A ou la zone B en raison des conditions de protection par rapport aux vents dominants provenant de l'ouest pendant les périodes libres de glaces.

La figure-2-1 présente une carte de la morphologie du secteur d'étude produite par Le Bureau de la Connaissance Géoscientifique du Québec (BCGQ) (Brouard et al., 2020). Selon cette carte, le littoral du secteur d'étude est principalement composé de :

- la roche-mère de l'Archéen qui est une roche métasédimentaire, métavolcanique et intrusive de l'Archéen.
- sédiments côtiers et précôtiers d'une épaisseur de 0,5 à 5 m déposés le long des rivages reliques de la mer de Tyrell et comprenant des sédiments pro-deltaïques à proximité de grands complexes deltaïques. Une surface généralement marquée par des crêtes de plage et parfois modifiée par l'action du vent.

Dans la section estuarienne de la Grande rivière de la Baleine, les dépôts de sol sont principalement composés de sédiments glaciomarins fins deltaïques, pro-deltaïques et d'eau profonde (Md et Ma), constitués d'argile, de limon et de gravier. Les glissements de terrain sont récurrents dans ces sols, ils sont souvent initiés par des processus fluviaux et contribuent à l'apport de sédiments dans la zone d'étude (Owczarek et al. 2020). Le tableau 23 présente la légende de la carte de la morphologie.

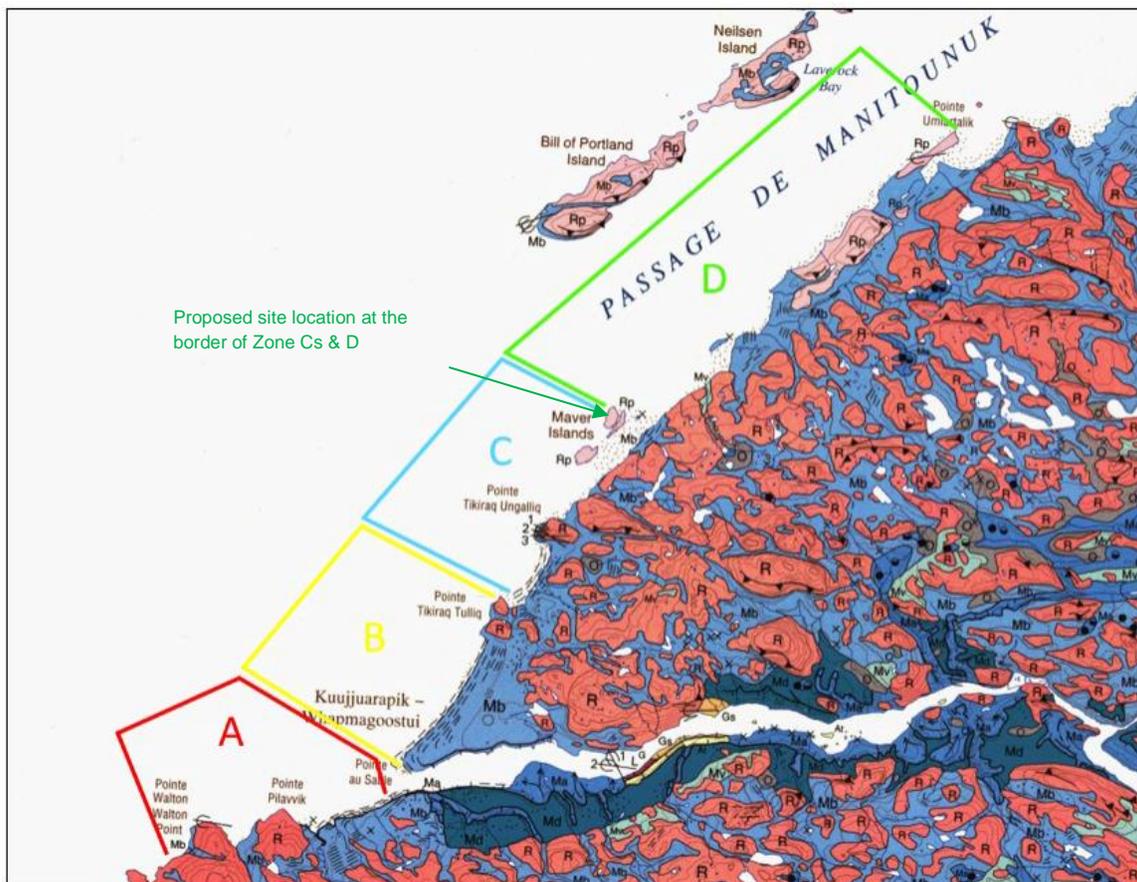


Figure 2-11 Distribution de la morphologie autour de la zone d'étude (Brouard et al., 2020)

## NOTE TECHNIQUE 13B – CONCEPTION DU PORT

Tableau 2-3 Légende de l'unité morphologique côtière

CLASSIFICATION	CODE	GROUPE	DESCRIPTION
Roche	Rp	Socle rocheux protérozoïque	Roches volcaniques et sédimentaires du Protérozoïque
	R	Socle rocheux archéen	Roches métasédimentaires, métavolcaniques et intrusives de l'Archéen.
Sable, gravier, cailloux, blocs	Mb	Sédiments côtiers et précôtiers	0,5 à 5 m d'épaisseur; déposés le long des rivages reliques de la mer de Tyrrell; comprenant également des sédiments prodeltaïques à proximité de grands complexes deltaïques; surface généralement marquée par des crêtes de plage et parfois modifiée par l'action du vent.
	Mv	Prélittoral mince et till remanié	<0,5 m ou till remanié sur une épaisseur de <0,5 m déposé en eau peu profonde dans la mer de Tyrrell; surface contrôlée par la topographie du substrat rocheux du till sous-jacent.
Sable, gravier	Md	Dépôts marins et glaciomarins	1 à 40 m d'épaisseur; déposé à l'embouchure des rivières qui se jettent dans la mer de Tyrrell; surface généralement marquée par des chenaux abandonnés et parfois modifiée par l'action du vent.
Argile, silt	Ma	Sédiments marins d'eau profonde	0,5 à 20 m d'épaisseur; déposé par des cours d'eau, des ravinements et des mouvements de masse; surface généralement recouverte d'une fine couche de tourbe et modifiée par la présence de paises.

La figure 2-12 présente la carte morphologique superposée à l'image aérienne de la zone étudiée. Cette figure montre que la roche compétente est accessible dans les environs du site étudié.

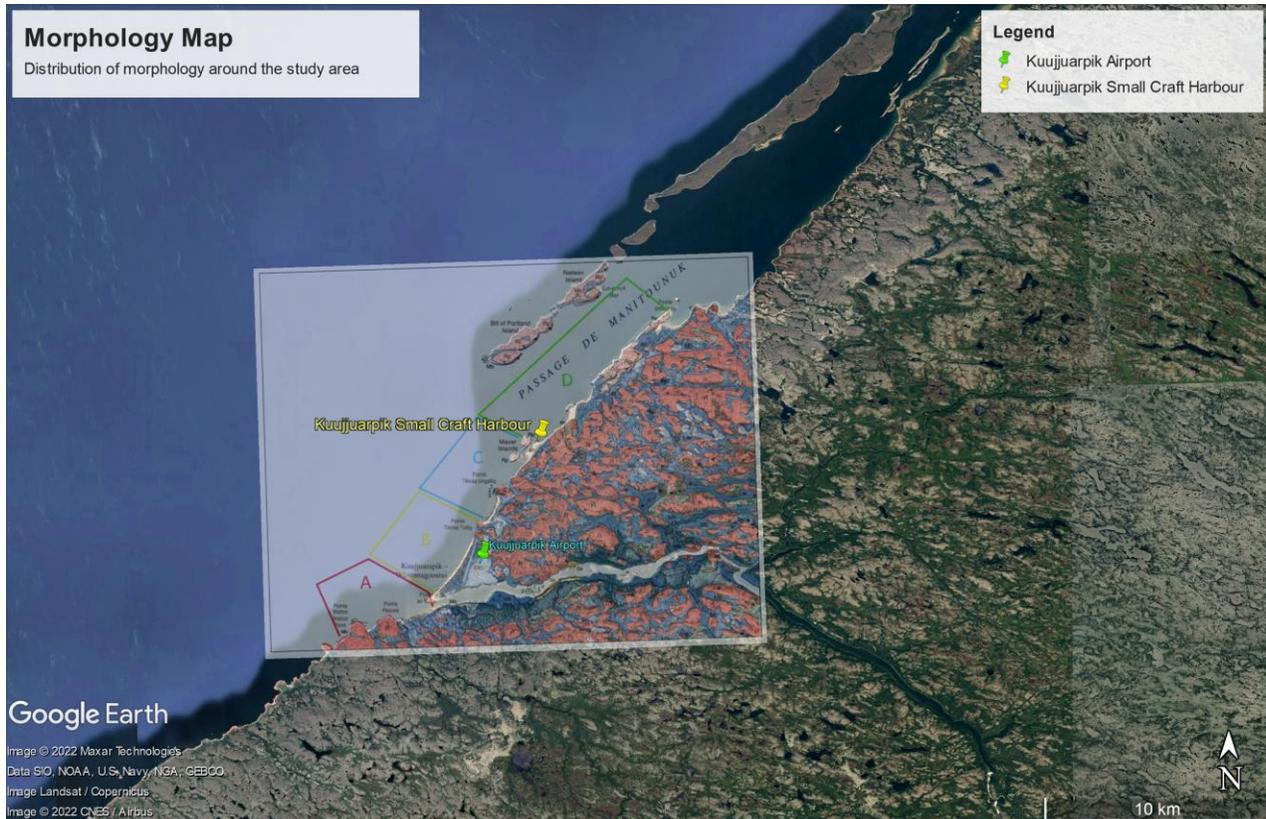


Figure 2-12 Imagerie aérienne de la répartition de la morphologie autour de la zone d'étude

Pour les étendues de terrain situées au-dessus de 20 m d'altitude du côté terre du site étudié, la teneur totale estimée en pergélisol est supérieure à 10-20 %.

Selon les informations limitées fournies, on suppose que les matériaux rocheux de différentes tailles nécessaires à la construction du port, y compris les grandes pierres de carapace utilisées pour la construction du brise-lames et de la protection des pentes, seront obtenus et extraits localement à proximité du site étudié.

## 2.15 DRAGAGE

En l'absence de données géotechniques spécifiques au site, et compte tenu des informations terrestres limitées, on peut s'attendre à un fond marin dur ou rocheux. Par conséquent, l'arrangement conceptuel du port est conçu de manière à fournir une profondeur d'eau suffisante pour l'arrivée, le départ, les manœuvres et l'accostage en toute sécurité des embarcations conceptuelles sans aucun dragage majeur.

## 2.16 LIMITES DE LA HAUTEUR DES VAGUES DANS LA ZONE DU PORT

La zone portuaire où les embarcations sont amarrées, et où les chargements et déchargements sont effectués, doit être protégée contre les vagues incidentes pendant la saison d'exploitation (libre de glaces) qui s'étend de juillet à novembre. Conformément aux recommandations du *Guide canadien de conception de PPB*, une hauteur de vague significative de 0,25 m a été déterminée comme seuil pour l'opération du PPB de Whapmagoostui/Kuujjuarapik.

## 2.17 PROFONDEUR D'EAU REQUISE

La profondeur d'eau minimale requise pour les embarcations de conception est calculée en utilisant le tirant d'eau maximal de conception et le dégagement minimal sous quille (DSQ). Selon les lignes directrices disponibles, la tolérance minimale pour le DSQ est égale à 0,5 à 0,6 m pour les fonds mous et à 0,75 à 0,9 m pour les bassins/canaux à fond dur ou rocheux. En l'absence d'informations géotechniques, on suppose un fond dur et un DSQ de 0,75 m.

La profondeur d'eau minimale requise est résumée dans le tableau 2-4.

Tableau 2-4 Profondeur d'eau minimale requise

CRITÈRE	VALEUR (M)
Tirant d'eau de l'embarcation	1,2
Dégagement sous quille	0,75
Profondeur allouée au dragage d'entretien	0,75
Profondeur d'eau minimale requise (sous le zéro des cartes)	2,70

Selon le système d'ancrage choisi pour les flotteurs du quai, une profondeur d'eau supplémentaire peut être nécessaire pour assurer un dégagement suffisant entre l'embarcation et le sommet des ancres. Ceci doit être conçu dans la prochaine phase de l'étude.

## 2.18 CRITÈRES D'ENDOMMAGEMENT DU BRISE-LAMES ET DE LA PROTECTION DES PENTES

Comme expliqué dans la section 3.3, la conception proposée pour l'aménagement du port comprend d'un brise-lames relié au rivage pour protéger les postes d'amarrage/flotteurs des vagues incidentes. Cette structure en carapace est principalement composée de :

- Noyau; pierres relativement petites pour construire la structure du brise-lames.
- Des pierres de carapace pour protéger le noyau du remodelage et des dommages causés par les vagues et la glace.
- Sous-couche placée entre le noyau et la couche de carapace pour éviter que les matériaux du noyau ne s'échappent par les vides de la couche de carapace et ne déstabilisent la structure.

La couche de carapace protégeant le brise-lames est conçue selon le critère « Aucun dommage » qui correspond à des niveaux de dommage de l'ordre de 0-5% pour un critère de conception d'événement de vague de PMSMM sur une récurrence de 100 ans (considérant qu'elle sera par la profondeur d'eau).

## 3 CONCEPTION

### 3.1 EXIGENCES EN MATIÈRE D'INFRASTRUCTURE

La première étape de la conception d'un port consiste à identifier, évaluer et analyser les exigences du projet d'infrastructures et les besoins opérationnels. Comme le PPB de Whapmagoostui/Kuujuuarapik sera un port de pêche, l'infrastructure doit inclure les besoins en espace portuaire, les besoins en matière d'accostage et de support de la flotte de pêche et les besoins en matière d'espace et d'installations terrestres.

Le nombre total de bateaux de pêche et la longueur du poste d'amarrage nécessaire pour chaque bateau (ou le nombre de bateaux-mètres) fourniront une indication préliminaire du nombre total de postes d'amarrage requis dans un port. Tel qu'indiqué à la section 2, en plus de fournir des installations d'amarrage pour 20 bateaux de pêche, le port comprendra également une rampe pour accueillir une barge avec petits remorqueurs dédiée au transfert des marchandises et des produits de base déchargés du *Desgagnés* ou d'autres bateaux effectuant les quelques opérations annuelles de transport maritime (figure 3-1). La barge est poussée et tirée par des remorqueurs tel que le *Kodiak*. Le *Kodiak* et la barge de transfert font tous les deux parties d'une opération typique de transport maritime et sont entreposés sur le pont du navire.

La section 2.5 décrit les spécifications des embarcations nominales qui accèdent aux ports, y compris les bateaux de pêche et la barge de transfert. Les spécifications des bateaux de pêche ont été tirées du *Guide canadien de conception des PPB*, et les dimensions de la barge sont approximatives et ont été mesurées à l'aide des photos disponibles.

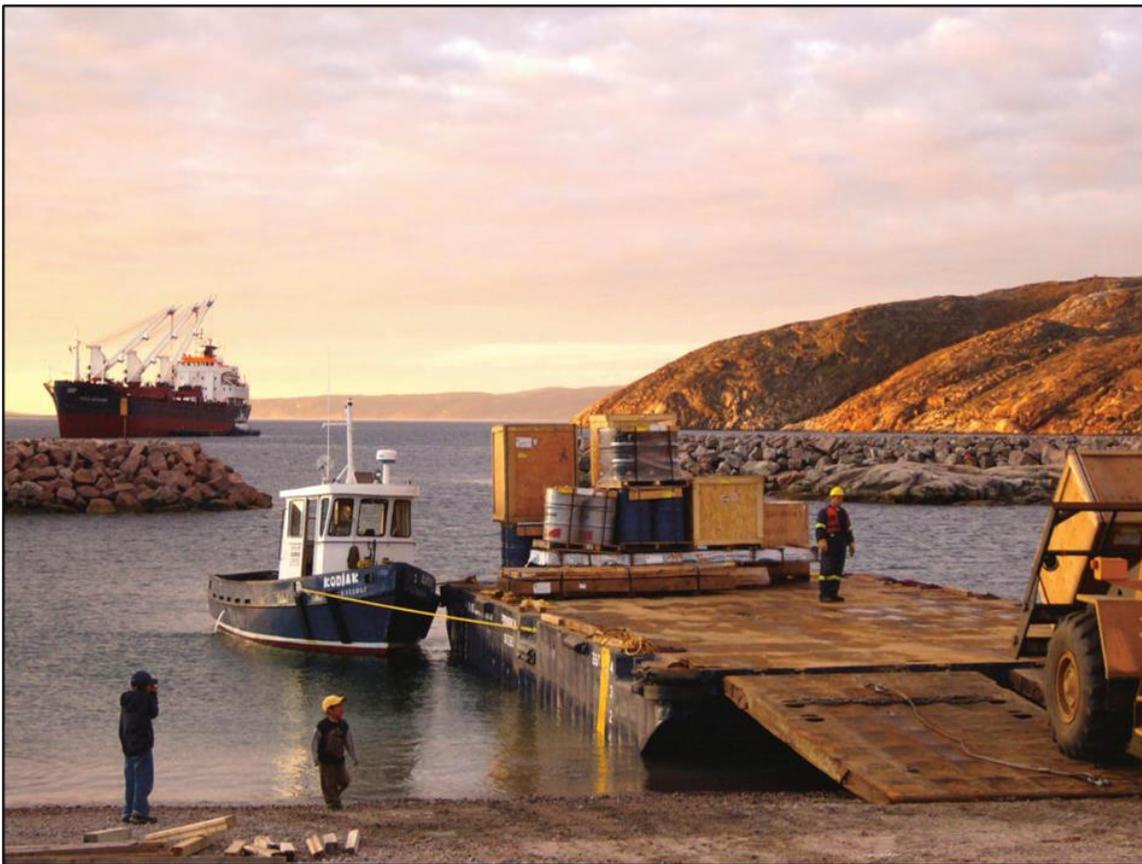


Figure 3-1 Barge utilisée pour le déchargement

### 3.2 CONFIGURATION GÉNÉRALE DU PORT

Il est probable que la construction d'un PPB pour desservir la communauté relèverait de la compétence du ministère des Pêches et des Océans (MPO). Le MPO n'a pas encore été consulté au sujet de ce concept et, avant que celui-ci ne soit exploré davantage, il faudrait évidemment qu'il le soit. L'autorisation, le financement et l'approbation d'une nouvelle installation de ce type est un long processus qui doit être soigneusement planifié et pour lequel toutes les parties prenantes, en particulier les nations concernées et celles qui en bénéficient, doivent être identifiées et soigneusement consultées.

Sachant toutefois qu'il faudrait probablement suivre les lignes directrices du MPO pour les PPB, WSP a utilisé le document *Lignes directrices pour l'établissement d'infrastructures portuaires pour petits bateaux - Pêches et Océans Canada* (Travaux publics et Services gouvernementaux Canada, 2015) pour compléter l'aménagement conceptuel.

La figure 3-2 présente la configuration conceptuelle proposée pour le port pour petits bateaux de Whapmagoostui/Kuujjuarapik, en tenant compte des exigences en matière d'infrastructures et des critères de conception présentés à la section 2.

# NOTE TECHNIQUE 13B – CONCEPTION DU PORT

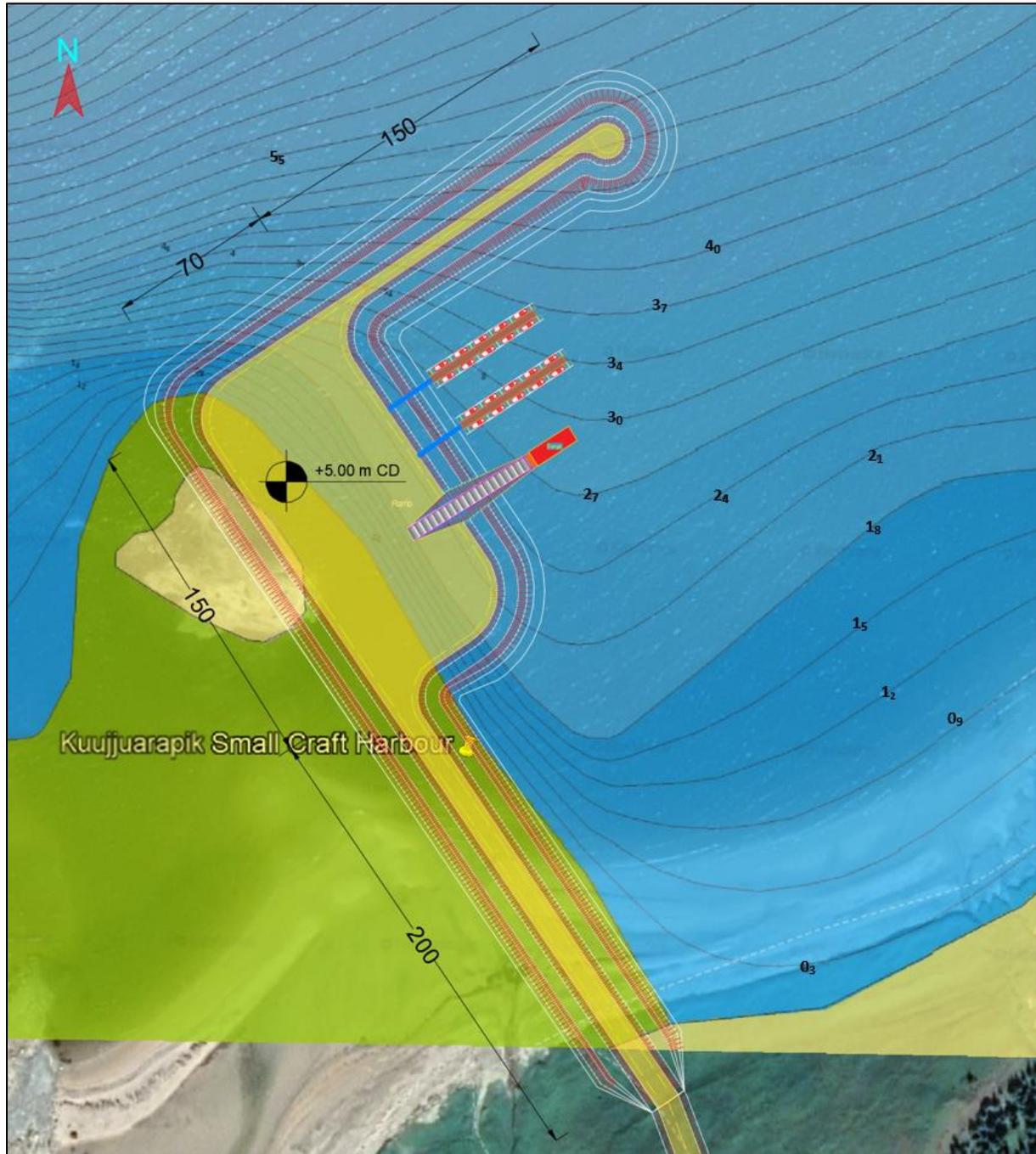


Figure 3-2 Plan d'aménagement proposé pour le port

L'aménagement proposé comprend des zones portuaires et des flotteurs pour amarrer les bateaux de pêche, une rampe d'accès au rivage pour les barges de transfert et la mise à l'eau des bateaux, une zone dédiée aux installations terrestres, un brise-lames pour protéger les installations des vagues incidentes et un accès pour relier le port aux routes locales. Tel qu'illustré à la figure 3-2, afin d'utiliser la protection fournie par les îles Qikirtaaruit contre les vagues incidentes et de réduire le volume de remblai, le port proposé est situé à la limite de la zone intertidale et est relié à la petite île.

Cette disposition offre l'avantage supplémentaire que si un port en eau profonde devait être requis dans le futur, la route sur digue pourrait être partagée et ce prolongement pourrait servir de port à chevalets avec un ou plusieurs postes d'amarrage. L'eau profonde (18,0 m) est la plus proche du rivage à cet endroit, de toutes les zones A, B, C et D, comme illustré à la figure-2-1.

L'aménagement du port sera réévalué et mis à jour (si nécessaire) lors de la prochaine phase de l'étude.

---

### 3.3 ZONES DU PORT

La zone globale requise pour un PPB dépend de la nature et de la taille de la flotte, du type de pêcheries actives dans la zone, du chevauchement éventuel des saisons de pêche et des contraintes/exigences opérationnelles.

Les principales fonctions d'un port de pêche typique consistent à fournir un amarrage sûr pour la flotte de pêche lorsqu'elle est au port, à fournir une zone de service aux utilisateurs pour charger l'équipement, décharger leurs prises et entretenir leurs navires, et à fournir des installations pour mettre et retirer les bateaux de l'eau.

La zone portuaire et le plan d'aménagement proposés pour le port de Whapmagoostui/Kuujuarapik prévoient une combinaison de postes d'amarrage et des zones de service, des quais flottants et des chenaux.

Cette section décrit brièvement les zones du port et le raisonnement derrière les choix de ces aménagements.

---

#### 3.3.1 EXIGENCES EN MATIÈRE D'AMARRAGE

Deux types de structures d'accostage, fixes et flottantes, sont généralement utilisés dans un PPB. Dans la présente conception, des structures flottantes, avec des travées pour plusieurs embarcations disposées parallèlement aux quais flottants, ont été privilégiées pour les raisons suivantes :

- Les structures flottantes sont généralement plus rentables pour les petits ports.
- Les quais flottants demeurent à une hauteur constante au-dessus de la surface de l'eau; par conséquent, l'amplitude de la marée n'a pas d'incidence sur le franc-bord du pont, la face d'accostage et la disposition de l'amarrage, ainsi que sur l'accès aux navires.
- Une structure d'accostage fixe peut ne pas être réalisable pour le site sélectionné en raison de la charge potentielle de glace. Comme indiqué brièvement dans la section 2.8.2, on suppose que les structures flottantes seront rassemblées et transportées sur la côte pendant l'hiver, pour éviter l'impact de la glace. Cela implique également qu'aucun pieu ou structure fixe dans l'eau ne devrait être utilisé dans le cadre de la conception pour éviter d'être détruit par l'impact de la glace.

La longueur du quai nécessaire à l'accostage sécuritaire et efficace d'un bateau dépend de l'exposition au vent, de l'agitation des vagues dans le port et de l'amplitude des marées. En l'absence d'études sur la tranquillité du port et l'agitation des vagues à cette phase de l'étude, les rapports suivants entre la longueur du quai et la longueur nominale du bateau, tels que recommandés dans le *Guide canadien de conception des PPB*, sont utilisés à des fins de planification conceptuelle (voir le tableau 3-1).

## NOTE TECHNIQUE 13B – CONCEPTION DU PORT

Tableau 3-1 Rapport entre la longueur du poste d'amarrage et la longueur nominale du bateau

Amplitude de la marée	Travée du quai Façade par travée	Espacement entre les travées	Bateaux par travée	Mètres-bateau par mètre de quai mb/m
Marnage = de 2 à 3 m	1,5 x L	1,0 x L	1	0,67

En utilisant les caractéristiques des bateaux et les critères de conception présentés à la section 2, la longueur totale de l'amarrage requise pour les bateaux de pêche est d'environ 200 mètres.

### 3.3.2 ZONE DE SERVICE

Les aires de service du port sont généralement désignées pour la manutention de l'équipement, le déchargement des produits et l'entretien des embarcations. À des fins de planification, les aires de service ne sont pas conçues pour être utilisées pour l'amarrage des bateaux non utilisés; toutefois, pour dans le cadre de cette conception, on a supposé que les besoins en superficie pour ces deux fonctions pouvaient être combinés.

### 3.3.3 CHENAUX

Des chenaux sont nécessaires le long ou entre les zones d'amarrage et de service pour permettre l'accès (voir la figure 3-3).

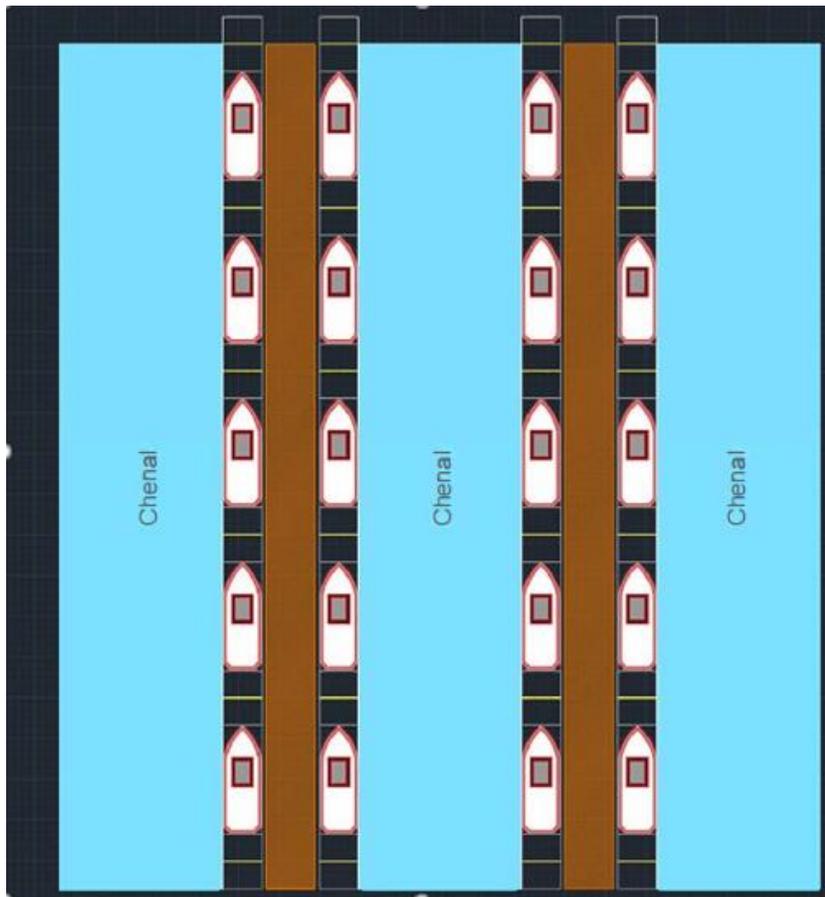


Figure 3-3 Chenaux du port

Selon le *Guide canadien de conception des PPB*, la largeur minimale du chenal est égale à la longueur nominale totale du bateau, de sorte qu'il ait suffisamment d'espace pour pivoter et entrer ou sortir du poste d'amarrage. Dans cette conception, une largeur de chenal équivalente à environ deux fois la longueur nominale totale du bateau (15 m) a été retenue.

### 3.4 FLOTTEURS

Les flotteurs, ou les quais flottants, qui sont couramment utilisés pour les PPB, peuvent constituer des solutions d'accostage relativement denses à faible coût initial. Les flotteurs maintiennent une élévation constante par rapport aux petites embarcations, ce qui réduit le frottement associé à l'accostage sur des quais fixes tout en facilitant l'embarquement et le débarquement du bateau.

#### 3.4.1 TYPE DE FLOTTEUR

Selon le *Guide canadien de conception des PPB*, divers types de flotteurs sont utilisés au Canada et dans l'industrie de la pêche commerciale. Dans la plupart des cas, la flottaison est assurée par des boîtes ou des coquilles discrètes, construites à partir de caissons en bois traité, ou moulées en polyéthylène haute densité, remplies de matériaux de flottaison en polystyrène. Les quais flottants sont composés de trois éléments de base (figure 3-4) :

- Éléments de flottaison pour assurer la du quai lui-même.
- Cadre structural pour recevoir et distribuer les charges horizontales et verticales.
- Surface du quai ou plateforme pour supporter les charges vives superposées aux flotteurs.

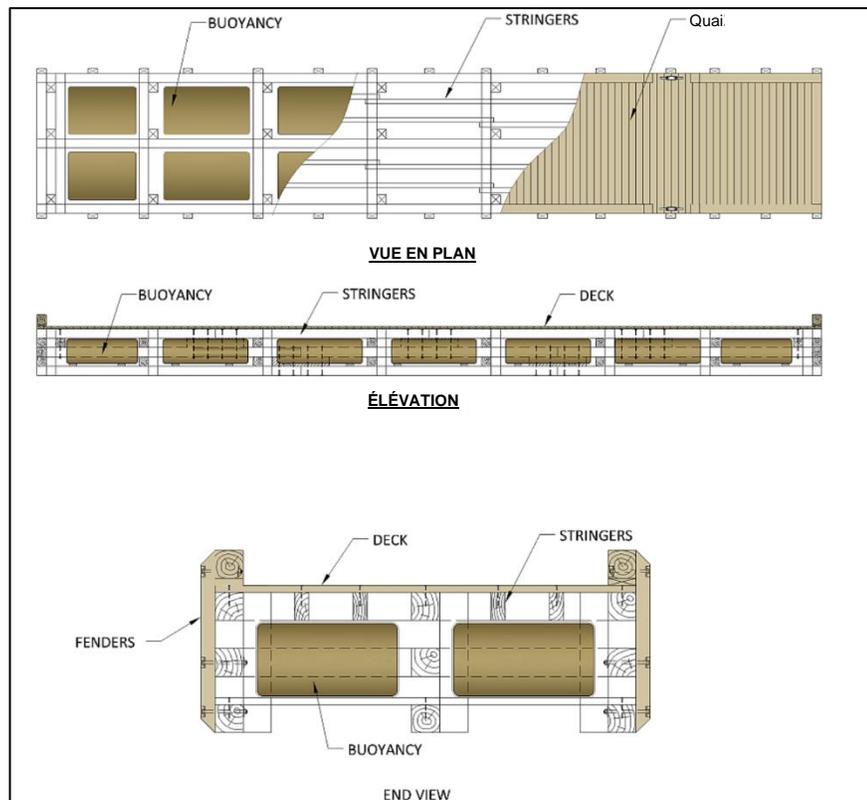


Figure 3-4 Vue en plan, élévation et vue d'extrémité de flotteurs typiques (Réf. Guide canadien de conception des PPB)

En plus de la flottaison séparée, la majorité des flotteurs utilisés séparent le cadre structural du pont. Les cadres sont généralement fabriqués en acier, en aluminium ou en bois. Les surfaces du quai disponibles comprennent le platelage en bois, les panneaux en béton préfabriqué avec diverses finitions et les panneaux en fibre de verre avec une surface antidérapante.

Dans cette conception, un quai flottant modulaire à charpente en bois est utilisé pour faciliter le retrait et le stockage des flotteurs chaque année avant la saison hivernale (glaces) et leur transport/installation au début de la saison de la saison d'eau libre.

### 3.4.2 DIMENSIONS DES FLOTTEURS

Les quais flottants étudiés dans le cadre de la conception ont une largeur de 3,0 m pour permettre un accès sécuritaire du personnel sur le flotteur. La longueur des flotteurs est déterminée en fonction de la disposition et de la taille de l'équipement disponible pour retirer les flotteurs avant la saison des glaces.

### 3.4.3 AMARRAGE DES FLOTTEURS

La sélection du système d'amarrage portuaire optimal dépend d'un certain nombre de facteurs, notamment l'état du fond, la profondeur de l'eau, la charge environnementale due au vent, aux courants, aux vagues et à la glace, la charge induite par l'embarcation et les mouvements admissibles. Les systèmes d'amarrage sont classés en deux catégories de base :

- des amarrages fixes tels que des pieux de guidage ou des structures de gravité où le flotteur est fixé à la structure de gravité par un système de guidage ou des bras;
- Systèmes d'amarrage par chaîne ou câble dans lesquels la structure flottante est maintenue en position par des chaînes ou des câbles fixés à des ancrs immergés.

Tel que mentionné précédemment, afin de prévenir l'impact de la glace sur les structures, on suppose que les flotteurs seront récupérés et transportés sur la rive pendant les saisons hivernales et réinstallés dès le début des saisons d'exploitation. Par conséquent, un système d'amarrage par écartement avec des blocs d'ancrage submergés et des chaînes fixées au quai flottant modulaire est proposé pour cette conception. Un système d'amarrage typique est illustré à la figure 3-5.

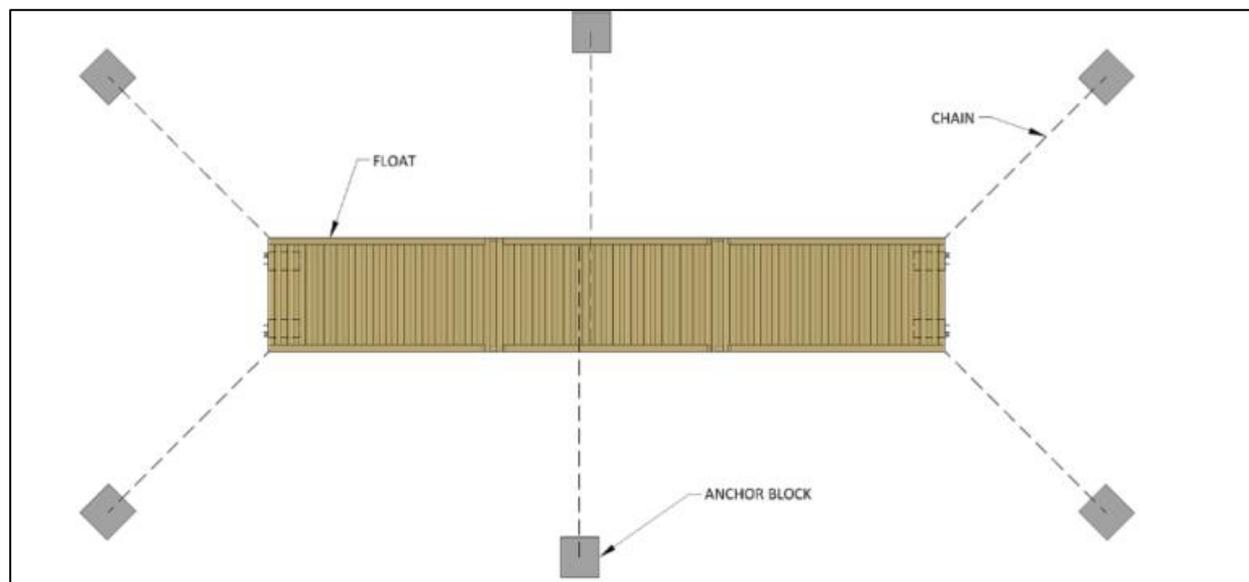


Figure 3-5 Amarrage typique par écartement (Réf. : Guide canadien de conception des PPB)

La disposition des flotteurs et le système d'amarrage seront étudiés de nouveau et mis à jour (si nécessaire) lors de la prochaine phase de l'étude.

## 3.5 RAMPE D'ACCÈS AU RIVAGE

Comme indiqué précédemment, l'un des éléments du port de Whapmagoostui/Kuujjuarapik est une rampe d'accès au rivage, qui sera principalement utilisée pour le chargement et le déchargement des biens et des marchandises transférés du fournisseur de services de transport maritime vers le rivage au moyen d'une barge spéciale (voir la section 3.1). On s'attend à ce que la rampe soit également utilisée pour la mise à l'eau des bateaux de pêche avec une combinaison remorque / camionnette.

En général, les structures des rampes d'accès sont situées dans la zone protégée du port et adjacentes à l'aire de stationnement, avec des zones adéquates au sommet pour que les semi-remorques puissent manœuvrer en toute sécurité pour pouvoir descendre la rampe. La pente de la rampe dépend des caractéristiques des véhicules qui seront utilisés pour la mise à l'eau des bateaux ainsi que des données topo/bathy existantes.

La partie de la rampe qui se trouve au-dessus de l'eau peut être soit une dalle en béton armé coulée sur place, soit une suite de panneaux en béton préfabriqués. Dans cette conception, la rampe d'accès au rivage et de mise à l'eau proposée est constituée de panneaux de béton préfabriqués munis de vides d'accès et de barres de levage pour la manutention, le transport et l'installation. La figure 3-6 illustre la disposition et la section transversale d'une rampe d'accès au rivage typique.

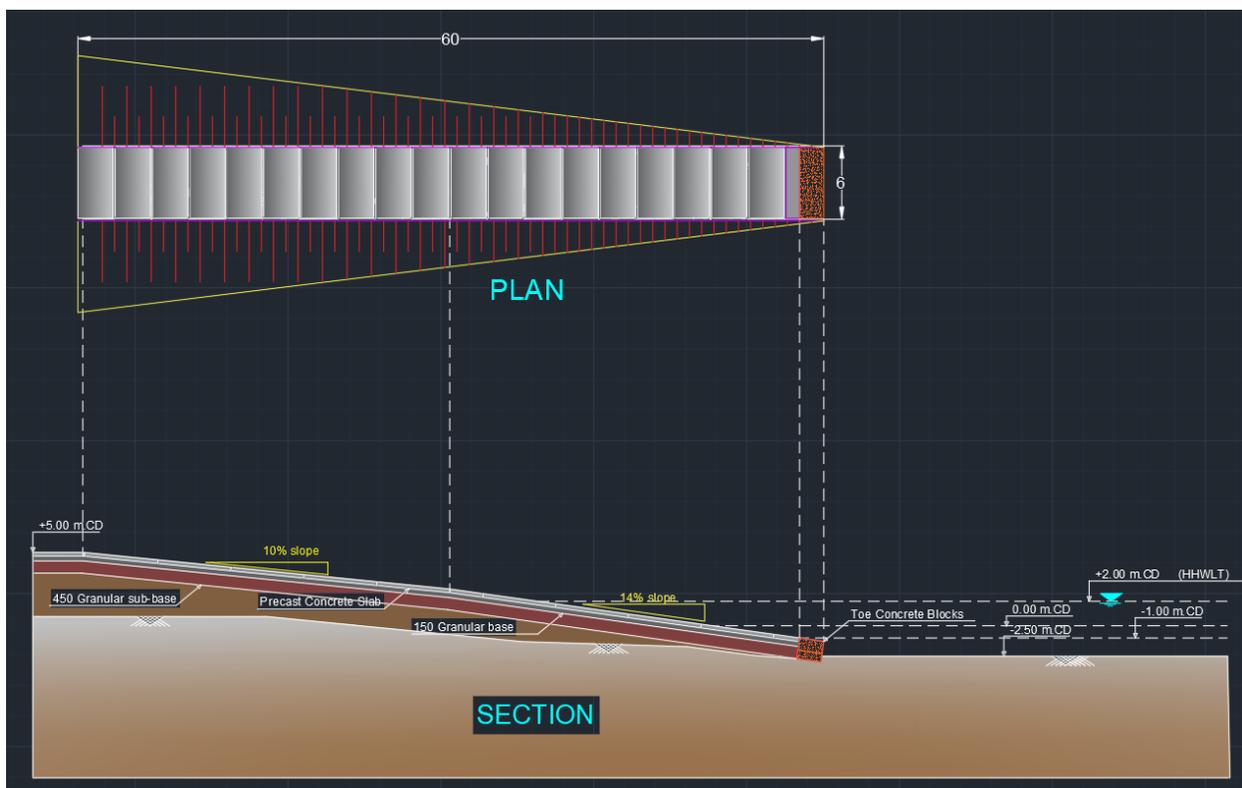


Figure 3-6 Rampe d'accès

### 3.6 BRISE-LAMES

En l'absence d'études sur la tranquillité du port et l'agitation des vagues dans cette phase de l'étude, un brise-lames de 150 m de long relié au terre-plein, parallèle au rivage, a été proposé pour protéger la zone portuaire des vagues incidentes.

Étant donné la difficulté de se procurer des pierres de carapace suffisamment grandes pour une stabilité dans les conditions de glace de conception (2 m d'épaisseur), on a supposé que des pierres de carapace d'une masse médiane ( $M_{50}$ ) de 5 t seront utilisées en plusieurs couches dans une zone qui sera probablement touchée par la glace (c.-à-d. entre -1 m et +3 m/ZC), pour protéger le brise-lames. Bien que l'on s'attende à ce que la mise en place de couches supplémentaires de pierres de carapace améliore la résistance et la durabilité de la conception, la section du brise-lames pourrait subir une certaine déformation lors d'hivers plus froids avec une glace plus épaisse. Il est donc recommandé de surveiller périodiquement les profils du brise-lames et le niveau de remodelage, à l'aide de relevés bathymétriques/topographiques, et d'ajouter des pierres de carapace si nécessaire pour réparer les sections endommagées.

Aux fins de l'estimation générale des coûts, on a supposé que des pierres de carapace d'une masse médiane de 5 t, une sous-couche d'une masse médiane de 500 kg et un noyau de roc de 100 à 1000 mm de diamètre seront utilisés pour construire le brise-lames. Dans la conception proposée, un matériau rocheux d'une masse médiane de 500 kg sera également utilisé pour recouvrir la crête (après l'achèvement de la tête du brise-lames et le recul) et le profil du brise-lames au-dessus de l'élévation de +3 m/ZC. Si des travaux d'entretien/de réparation sont nécessaires, l'entrepreneur devra enlever/empiler la roche de carapace/sous-couche, construire une route d'accès et recouvrir la crête une fois les travaux de réparation terminés.

En l'absence d'informations géotechniques spécifiques au site, il a été supposé que le fond marin est constitué de matériaux compétents.

Vous trouverez ci-dessous un croquis illustrant la conception proposée pour le brise-lames (figure 3-7), en utilisant les critères de conception regroupés/présentés dans la section 2 et en tenant compte des effets des vagues et de la glace sur le brise-lames.

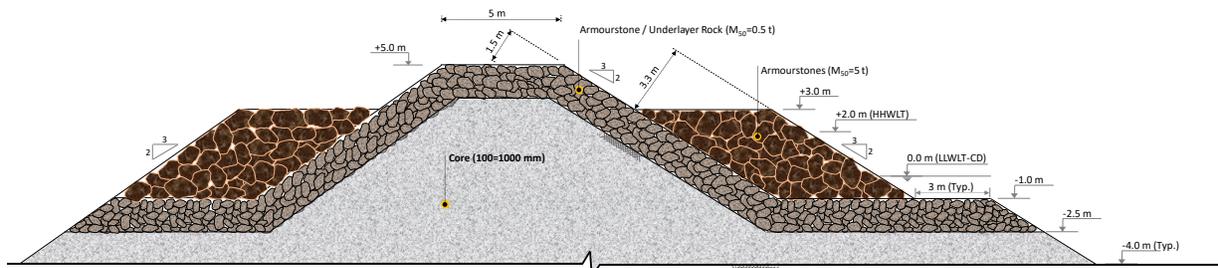


Figure 3-7 Coupe transversale typique d'un brise-lames

La disposition du brise-lames (position, forme et orientation) et la section transversale seront étudiées plus en détail lors de la prochaine phase de la conception en tenant compte des résultats des études métocéaniques et de l'évaluation du temps d'immobilisation du poste d'amarrage (et du temps d'immobilisation admissible, à définir en collaboration avec le client), des paramètres géotechniques, de la disponibilité des matériaux rocheux (taille, granulométrie, qualité et quantité), des aspects de constructibilité (méthodologie/calendrier/équipement/risques) et des priorités des parties prenantes.

On suppose qu'une carrière de roche se trouve à moins de 500 m de la route d'accès, avec une roche compétente facilement accessible en surface et en quantité et qualité adéquates. Des affleurements rocheux de ce qui pourrait être un substrat rocheux archéen sont clairement visibles sur les images de Google Earth, juste à l'est de la zone portuaire.

### 3.7 ZONE CÔTIÈRE

Dans cette conception, une zone récupérée d'environ 70 m x 150 m est prévue pour accueillir les opérations et fonctions potentielles sur terre, dont les zones de service, les bureaux et les aires de stationnement, les zones de stockage (y compris les zones de stockage des flotteurs pendant les saisons hivernales), et les voies d'accès.

La disposition de la zone terrestre sera revue et mise à jour, si nécessaire, lors des étapes ultérieures de la conception, en tenant compte des installations/opérations/services (par exemple, électricité, eau potable et pour les incendies, carburant et déchets) requis, à définir en collaboration avec le client.

On s'attend à ce que la protection du talus de la zone côtière soit affectée par la glace, par conséquent, une conception similaire à celle proposée pour le brise-lames peut être utilisée pour cette portion de l'infrastructure.

### 3.8 ACCÈS AUX ROUTES LOCALES

La conception du port comprend une voie d'accès reliant la zone terrestre aux routes locales. La figure 3-8 présente la disposition proposée de la voie d'accès.

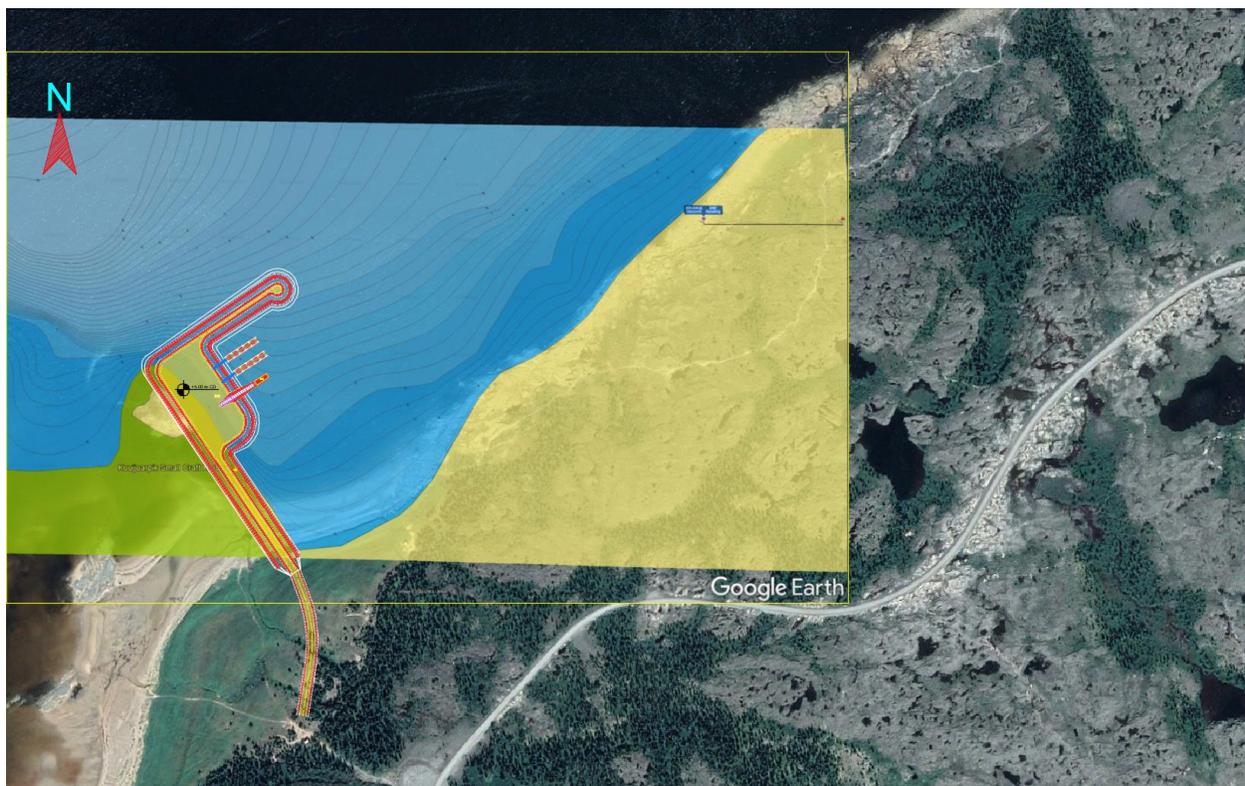


Figure 3-8 Raccordement de la route aux routes locales

La conception générale réalisée pour la voie d'accès sera évaluée plus en détail dans la prochaine phase de la conception en tenant compte des conditions météorologiques et de glace, de la topographie et de la bathymétrie, des paramètres géotechniques et des aspects de constructibilité.

### 4 CONCLUSION

Cette note technique présente la conception élaborée pour le PPB de Whapmagoostui/Kuujuarapik, qui sera situé le long du littoral de Whapmagoostui/Kuujuarapik, entre l'embouchure de la Grande rivière de la Baleine et l'entrée du détroit de Manitousuk, au Québec, et à proximité des îles Qikirtaaruit. L'emplacement proposé du port a été déterminé à l'aide d'une étude générale de sélection de site et d'une analyse multicritères tenant compte de plusieurs paramètres tels que les conditions environnementales physiques, la morphologie côtière et marine, la dynamique des glaces le long du littoral et l'accessibilité.

Le site sélectionné et l'aménagement proposé pour le PPB répondent aux besoins de la collectivité, en accueillant les bateaux de pêche et en transportant les marchandises des navires de ravitaillement vers la côte, et favorisent le développement futur d'un port en eau profonde, le cas échéant. Compte tenu du récent glissement de terrain en amont de l'embouchure de la Grande rivière de la Baleine et du risque perçu de sédimentation excessive, le PPB proposé est considéré comme une mesure d'atténuation offrant une alternative à la communauté au cas où le port de plage naturel existant dans l'embouchure de la Grande rivière de la Baleine deviendrait non opérationnel.

La conception du port comprend plusieurs éléments : des quais flottants pour l'accostage de 20 bateaux de pêche, une rampe pour des barges spécialisées dans le transfert des marchandises et des produits de base déchargés des navires de transport maritime typiques, une zone récupérée qui sera utilisée pour des installations terrestres reliées à la côte par une route sur digue et un brise-lames pour protéger la zone d'accostage des vagues incidentes.

La conception proposée pour l'aménagement du port et ses composants s'appuie sur la base de conception présentée dans cette note technique. La section base de conception résume les paramètres de conception, les exigences/contraintes et les conditions environnementales physiques recueillies (ainsi que les hypothèses formulées dans le cas où les informations requises n'étaient pas disponibles). Les paramètres de conception retenus pour cette conception seront réexaminés dans la prochaine phase de l'étude, une fois que les données spécifiques au site auront été obtenues et que les études et analyses requises auront été réalisées. Les résultats seront utilisés pour réviser/avancer la conception du port.

## 5 RÉFÉRENCES

- Boisson A, Allard M. 2018. “Quaternary Hydrodynamic Contexts of the Emerging Coasts of Nunavik (Northern Québec, Canada)”. *Journal of Coastal Research*: numéro spécial 85, Actes du 15<sup>e</sup> symposium côtier international, p. 616-620.
- Boisson A, Allard M. 2018. “Chapter 4: Nunavik’s Coastal Systems in a Changing Climate” dans *Caractérisation et modèles d’évolution des environnements côtiers du Nunavik*, Québec, Canada. Université Laval, Thèse de doctorat, p. 174 - 230.
- British Standard Code of practice for Maritime Structures-Design of inshore moorings and floating structures* BS 6349, 1989.
- Brouard E, Roy M, Dubé-Loubert H, Lamarche O, Hébert S. 2020. *Carte des dépôts de surface de la province de Québec, rapport sur les méthodes et les données*, Le Bureau de la Connaissance géoscientifique du Québec (BCGQ), Énergie et Ressources naturelles, Québec, 1 carte.
- Environnement Canada. 2021. *Normales climatiques des glaces sur 30 ans*. Page internet consultée le 20 janvier 2022 : <https://iceweb1.cis.ec.gc.ca/30Atlas/page1.xhtml?lang=fr>
- Étude de préféabilité - Phases II & III - Infrastructure de transport note technique 13A, Port en eau profonde - Conditions environnementales physiques*, Version : 01 - Préliminaire. Date : Mai 2022
- Gouvernement du Canada, *Rapport sur le climat changeant du Canada*, RCCC2019.
- Harbour Accommodations Guidelines for Small Craft Harbours (SCH) Branch Fisheries and Oceans Canada* by Public Works and Government Services Canada, 2015.
- Hequette A, Tremblay P. 2009. “Effects of low water temperature on longshore sediment transport on a subarctic beach, Hudson Bay, Canada”. *Journal of Coastal Research*, 25, p. 171-180.
- Hill P, Meule S, Longuepee H. 2003. “Combined-flow processes and sedimentary structures on the shoreface of the wave-dominated Grande-Riviere-De-La-Baleine Delta”. *Journal of Sedimentary Research*, 73, p. 217-226.
- Hulse P, Bentley SJ. 2012. “A 210Pb sediment budget and granulometric record of sediment fluxes in a subarctic deltaic system: The Great Whale River, Canada. Estuarine”, *Coastal and Shelf Science*, 109, p. 41-52.
- Hydro-Quebec. 1993. “Grande Baleine Complex, hydroelectric complex, Book 2, Description of the Environment”, *Volume 1 – continental Environment. Hydro-Quebec Feasibility Study*.
- Ingram RG. 1981. “Characteristics of the Great Whale River plume”. *Journal of Geophysical Research*, 86 (C3), 2017 – 2023.
- Mazzotti, S., Lambert, A., van der Kooij, M. and Mainville, A. 2009. “Impact of anthropogenic subsidence on relative sea-level rise in the Fraser River delta”, *Geology*, v. 37, p. 771–774. doi: 10.1130/G25640A.1
- OURANOS. 2020. *Knowledge Synthesis: Impact of Climate change on Nunavik’s Marine and Coastal Environment*. Rapport présenté au Ministère des Transports du Québec, juillet 2020.
- Owczarek P, Opala-Owczarek M, Boudreau S, Lajeunesse P, Stachnik L. 2020. “Re-activation of landslide in sub-Arctic areas due to extreme rainfall and discharge events (the mouth of the Great Whale River, Nunavik, Canada)”. *Science of the Total Environment*, p. 744: 1440991.
- Étude de préféabilité – Phases II & III – Infrastructure de transport. Note technique 13A, Port en eau profonde – Conditions environnementales physiques*, Version : 01 – Préliminaire. Date : Mai 2022
- US Army Corps of Engineers, 2002. *Coastal Engineering Manual*.
- Unified Facilities Criteria (UFC), 2009. *Small Craft Berthing Facilities*.