

Unités géomorphologiques dans les biorégions du détroit de Georgia et du plateau Sud

Beatrice Proudfoot et Carrie Robb

Pêches et Océans Canada
Direction des sciences, région du Pacifique
Station biologique du Pacifique
Nanaimo (Colombie-Britannique)
V9T 6N7

2022

Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques 3459



Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques

Les rapports techniques contiennent des renseignements scientifiques et techniques qui constituent une contribution aux connaissances actuelles, mais qui ne sont pas normalement appropriés pour la publication dans un journal scientifique. Les rapports techniques sont destinés essentiellement à un public international et ils sont distribués à cet échelon. Il n'y a aucune restriction quant au sujet; de fait, la série reflète la vaste gamme des intérêts et des politiques de Pêches et Océans Canada, c'est-à-dire les sciences halieutiques et aquatiques.

Les rapports techniques peuvent être cités comme des publications à part entière. Le titre exact figure au-dessus du résumé de chaque rapport. Les rapports techniques sont résumés dans la base de données *Résumés des sciences aquatiques et halieutiques*.

Les rapports techniques sont produits à l'échelon régional, mais numérotés à l'échelon national. Les demandes de rapports seront satisfaites par l'établissement auteur dont le nom figure sur la couverture et la page du titre.

Les numéros 1 à 456 de cette série ont été publiés à titre de Rapports techniques de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada. Les numéros 457 à 714 sont parus à titre de Rapports techniques de la Direction générale de la recherche et du développement, Service des pêches et de la mer, ministère de l'Environnement. Les numéros 715 à 924 ont été publiés à titre de Rapports techniques du Service des pêches et de la mer, ministère des Pêches et de l'Environnement. Le nom actuel de la série a été établi lors de la parution du numéro 925.

Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences

Technical reports contain scientific and technical information that contributes to existing knowledge but which is not normally appropriate for primary literature. Technical reports are directed primarily toward a worldwide audience and have an international distribution. No restriction is placed on subject matter and the series reflects the broad interests and policies of Fisheries and Oceans Canada, namely, fisheries and aquatic sciences.

Technical reports may be cited as full publications. The correct citation appears above the abstract of each report. Each report is abstracted in the data base *Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts*.

Technical reports are produced regionally but are numbered nationally. Requests for individual reports will be filled by the issuing establishment listed on the front cover and title page.

Numbers 1-456 in this series were issued as Technical Reports of the Fisheries Research Board of Canada. Numbers 457-714 were issued as Department of the Environment, Fisheries and Marine Service, Research and Development Directorate Technical Reports. Numbers 715-924 were issued as Department of Fisheries and Environment, Fisheries and Marine Service Technical Reports. The current series name was changed with report number 925.

Rapport technique canadien des
sciences halieutiques et aquatiques 3459

2022

UNITÉS GÉOMORPHOLOGIQUES DANS LES BIORÉGIONS DU DÉTROIT DE GEORGIA
ET DU PLATEAU SUD

Par

Beatrice Proudfoot¹ et Carrie Robb²

¹Pêches et Océans Canada, Direction des sciences, région du Pacifique, Station biologique du Pacifique,
3190, chemin Hammond Bay, Nanaimo (C.-B.), Canada V9T 6N7

²Pêches et Océans Canada, Direction des sciences, région du Pacifique, Administration régionale,
401, rue Burrard, Vancouver (C.-B.), Canada V6C 3L6

©Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2022

N° de cat. Fs97-6/3459F-PDF ISBN 978-0-660-42338-8 ISSN 1488-545X

La présente publication doit être citée comme suit :

Proudfoot, B. et Robb, C. 2022. Unités géomorphologiques dans les biorégions du détroit de Georgia et du plateau Sud. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat., 3459, vi + 24 p.

Table des matières

Table des matières.....	iii
Liste des tableaux.....	iv
Liste des figures	iv
Résumé.....	v
Abstract.....	vi
1 Introduction	1
2 Méthodologie et application.....	3
2.1 Résumé des méthodes	3
2.2 Zone d'étude	4
2.3 Boîte à outils de modélisation du terrain benthique.....	6
2.4 Post-traitement des unités géomorphologiques classifiées	10
2.5 Comparaisons avec les entités sous-marines et les catégories benthiques de la BCMCA11	
3 Résultats des unités géomorphologiques.....	11
4 Analyse.....	16
4.1 Incertitude	16
4.2 Considérations pour l'avenir	17
Remerciements.....	18
Ouvrages et articles cités	19
Annexe 1 – Attributs des unités géomorphologiques	22
Annexe 2 – Aligement des entités sous-marines publiées dans la <i>Gazette du Canada</i> avec les unités géomorphologiques.....	23

Liste des tableaux

Tableau 1 : Niveaux, étendues spatiales, définitions et unités de sortie du cadre hiérarchique du Système de classification écologique marine du Pacifique (adapté de Rubidge <i>et al.</i> (2016)).	3
Tableau 2. Données bathymétriques utilisées pour dériver des unités géomorphologiques pour chaque zone d'analyse.	4
Tableau 3. Entités mesurées dans chaque zone d'analyse, plage de tailles et facteurs d'échelle finaux.	8
Tableau 4 : Définitions générales des entités délimitées dans chaque zone d'analyse. Les descriptions proviennent de Rubidge <i>et al.</i> (2016), qui ont utilisé la classification de Greene <i>et al.</i> (2008) et les définitions de Harris et Baker (2012).	9
Tableau 5. Tableau de classification pour les quatre zones d'analyse.	10
Tableau 6 : Entités sous-marines publiées dans la <i>Gazette</i> et leurs unités géomorphologiques connexes.	12
Tableau 7. Attributs inclus pour chaque polygone dans l'ensemble de données spatiales des unités géomorphologiques.	22
Tableau 8. Entités sous-marines publiées dans la <i>Gazette du Canada</i> qui ne s'alignent pas spatialement avec les unités géomorphologiques.	23

Liste des figures

Figure 1. Biorégions marines dans la région du Pacifique du Canada (MPO 2009). L'étendue des unités géomorphologiques produites dans le cadre du processus du Système de classification écologique marine du Pacifique (PMECS) en 2016 (Rubidge <i>et al.</i> 2016) est illustrée par des barres hachurées diagonales.	1
Figure 2. Zone d'étude pour l'analyse des unités géomorphologiques montrant les zones d'analyse et la résolution des données bathymétriques.	5
Figure 3. Unités géomorphologiques fusionnées pour les quatre zones d'analyse. Les unités géomorphologiques adjacentes produites dans le cadre du processus du Système de classification écologique marine du Pacifique (PEMS) (Rubidge <i>et al.</i> , 2016) sont affichées de façon semi-transparente et ont la même symbolologie de couleur que les unités de la présente analyse.	14
Figure 4 : Unités géomorphologiques du plateau et de la pente continentaux de la région du Pacifique du Canada produites par la fusion des résultats de la présente analyse avec les unités géomorphologiques générées dans le cadre du processus du Système de classification écologique marine du Pacifique (Rubidge <i>et al.</i> 2016).	15

Résumé

Proudfoot, B. et Robb, C. 2022. Unités géomorphologiques dans les biorégions du détroit de Georgia et du plateau Sud. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat., 3459: vi + 24 p.

Le Système de classification écologique marine du Pacifique (PMECS) a été élaboré en 2016 pour classer les espèces, les habitats et les écosystèmes en catégories écologiques à diverses échelles spatiales dans la région du Pacifique du Canada afin d'appuyer les activités de planification spatiale marine (PSM) et la mise en place d'un réseau d'aires marines protégées (AMP). Les unités géomorphologiques constituent un niveau du PMECS hiérarchique qui peut éclairer les décisions de gestion écosystémique. À l'échelle de 100 km, les unités géomorphologiques sont des zones ayant des caractéristiques benthiques semblables qui sont souvent associées à un biote distinct. Les données spatiales produites pour constituer les unités géomorphologiques du PMECS étaient axées sur la biorégion du plateau Nord et la partie de la pente continentale de la biorégion du plateau Sud. Dans le présent document, nous comblons les lacunes en matière de données qui ont été cernées en classant la partie du plateau continental des biorégions du détroit de Georgia et du plateau Sud en unités géomorphologiques. Les unités géomorphologiques ont été produites selon les méthodes du PMECS à l'aide de données bathymétriques détaillées et de la boîte à outils de modélisation du terrain benthique (BTM). Les résultats de ce travail, combinés aux analyses d'unités géomorphologiques antérieures effectuées dans le cadre du processus du PMECS, ont permis d'obtenir un produit de données spatiales continues représentant les unités géomorphologiques pour le plateau et la pente continentaux de la région du Pacifique du Canada. Ces données appuieront les efforts de PSM dans la région de planification de la côte sud du Pacifique, y compris la surveillance des AMP, et les analyses futures pour évaluer les assemblages d'espèces associés à chaque unité géomorphologique

Abstract

Proudfoot, B. et Robb, C. 2022. Unités géomorphologiques dans les biorégions du détroit de Georgia et du plateau Sud. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat., 3459: vi + 24 p.

The Pacific Marine Ecological Classification System (PMECS) was developed in 2016 to categorize species, habitats, and ecosystems into ecological classes at varying spatial scales in Canada's Pacific Region to support Marine Spatial Planning (MSP) activities and Marine Protected Area (MPA) network development. Geomorphic units are one level of the hierarchical PMECS that is suitable for informing ecosystem-based management decisions. At the scale of 100s of km, geomorphic units are areas with similar benthic features that are often associated with distinct biota. Spatial data developed to populate the PMECS geomorphic units focused on the Northern Shelf Bioregion and the continental slope portion of the Southern Shelf Bioregion. In this paper, we fill previously identified data gaps by classifying the continental shelf portion of the Strait of Georgia and Southern Shelf Bioregions into geomorphic units. The geomorphic units were produced following the PMECS methods using bathymetric data and the Benthic Terrain Modeler (BTM) toolbox. The results of this work, when combined with previous geomorphic unit analyses, produce a continuous spatial data product representing geomorphic units for the Canadian Pacific continental shelf and slope. These data will support MSP efforts in the Pacific South Coast planning region, including MPA monitoring, and future analyses to assess species assemblages associated with each geomorphic unit.

1 Introduction

Dans la région du Pacifique du Canada, des données spatiales sur les espèces, les habitats et les écosystèmes sont nécessaires pour éclairer les efforts de planification spatiale marine (PSM), y compris le développement du réseau d'aires marines protégées (AMP) et la surveillance des AMP. La PSM est un processus qui rassemble des partenaires fédéraux, provinciaux, territoriaux et autochtones ainsi que d'autres organisations et intervenants pour coordonner la manière d'utiliser collectivement les espaces marins pour atteindre les objectifs écologiques, économiques, culturels et sociaux (Ehler et Douvère 2009). Dans la région du Pacifique, des efforts de PSM sont en cours sur la côte nord du Pacifique, qui comprend la biorégion du plateau Nord (BPN) et la côte sud du Pacifique, qui comprend les biorégions du plateau Sud et du détroit de Georgia (figure 1).

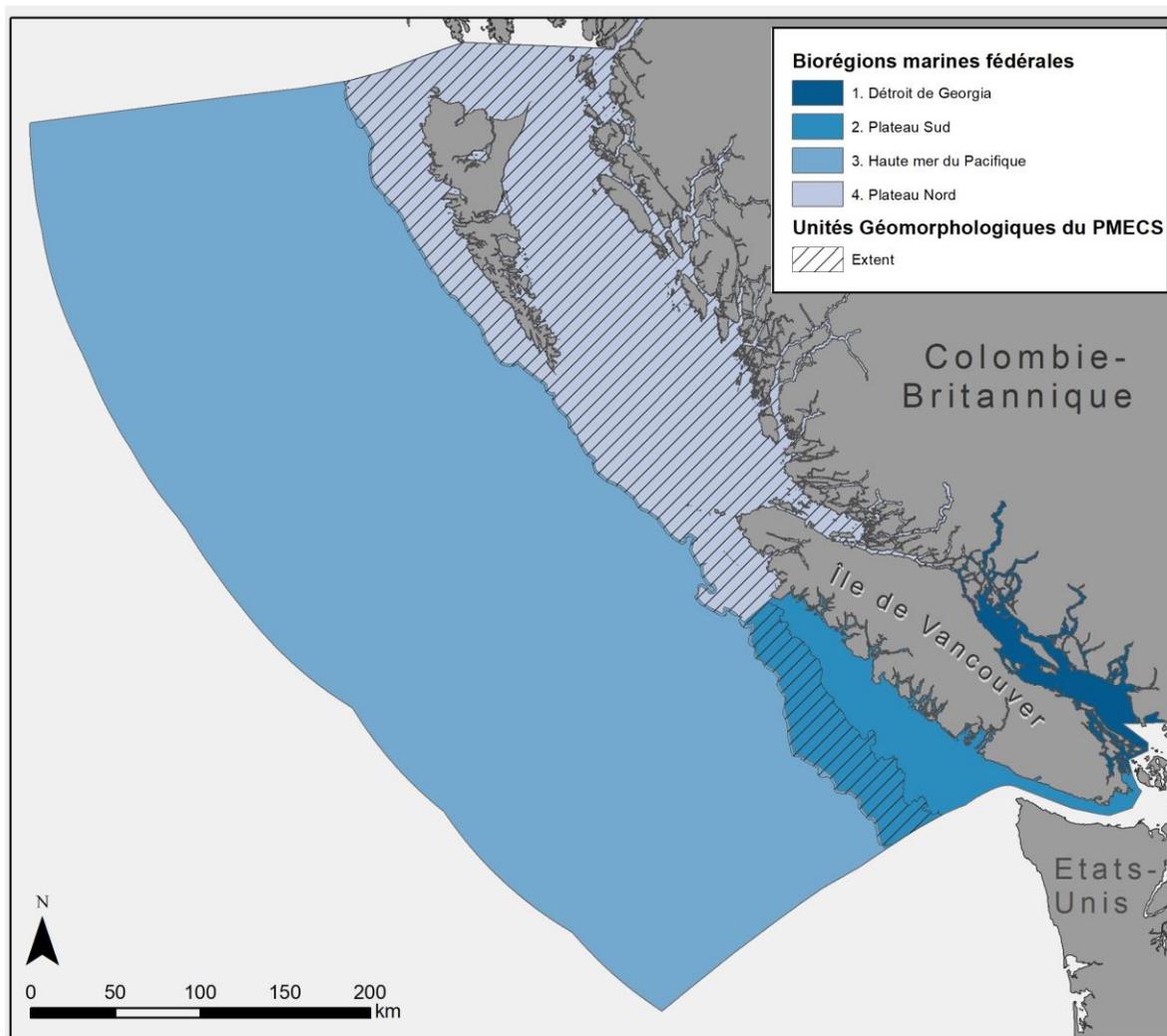


Figure 1. Biorégions marines dans la région du Pacifique du Canada (MPO 2009). L'étendue des unités géomorphologiques produites dans le cadre du processus du Système de classification écologique marine du Pacifique (PMECS) en 2016 (Rubidge *et al.* 2016) est illustrée par des barres hachurées diagonales.

Les systèmes de classification écologique marine sont un moyen de contextualiser les données spatiales pour les espèces, les habitats et les écosystèmes à diverses échelles spatiales. Les données spatiales

continues représentant les entités physiques peuvent servir de substituts importants pour les communautés biologiques et les habitats, et sont essentielles aux activités de conservation marine et de PSM (Rubidge *et al.* 2016; Lacharité et Brown 2019). Par exemple, les lignes directrices de conception élaborées pour appuyer la planification du réseau d'AMP dans la BPN indiquent que le réseau devrait « représenter et répliquer les cibles pour chaque catégorie dans au moins un système de classification complet à grande échelle dans la zone de planification » (Lieberknecht *et al.* 2016) pour aider à atteindre l'objectif du réseau de représenter les habitats marins. Les classifications écologiques ont été choisies comme intrants dans les analyses de sélection des sites à l'appui de la conception du réseau d'AMP (MPO 2017, 2018; Martone *et al.* 2021) et, après la mise en œuvre d'une AMP ou d'un réseau d'AMP, elles peuvent être utilisées pour éclairer les évaluations des caractéristiques de conception, y compris la représentation, la réplification et la connectivité (Balbar *et al.* 2020; Proudfoot *et al.* 2020). De plus, les classifications écologiques peuvent appuyer les recherches futures visant à évaluer les assemblages d'espèces associés à chaque catégorie et à étudier les relations possibles (Rubidge *et al.* 2016).

En 2016, le Système de classification écologique marine du Pacifique (PMECS) a été élaboré et les données spatiales sur les écosystèmes benthiques ont été classées pour la majeure partie du plateau et de la pente continentaux de la région du Pacifique du Canada (Rubidge *et al.* 2016). Le PMECS suit un cadre hiérarchique avec une série de niveaux avec des étendues spatiales imbriquées, allant de domaines à grande échelle à des microassemblages à petite échelle (tableau 1). À l'échelle de 100 km, les unités géomorphologiques représentent des zones ayant des caractéristiques benthiques semblables qui sont souvent associées à des assemblages biologiques distincts et décrivent le terrain du fond marin (dépressions, pentes, battures et crêtes). Dans le cadre du travail de Rubidge *et al.* (2016), les données spatiales pour les unités géomorphologiques dans la BPN et la partie de la pente continentale de la biorégion du plateau Sud ont été produites à l'aide de la boîte à outils de modélisation du terrain benthique (BTM) (Walbridge *et al.* 2018b, 2018a). Ces zones ont été priorisées parce que l'accent immédiat était mis sur les données spatiales pour appuyer la planification continue du réseau d'AMP au sein de la BPN. La biorégion du détroit de Georgia et la partie du plateau continental de la biorégion du plateau Sud (qui constituent la majeure partie de la région de planification de la PSM sur la côte sud du Pacifique) n'ont pas été incluses dans les analyses de 2016. Par conséquent, des travaux supplémentaires ont été nécessaires pour élaborer un ensemble de données couvrant l'ensemble du plateau continental du Pacifique. Ici, nous comblons cette lacune en produisant des unités géomorphologiques pour appuyer les activités de PSM en cours sur la côte sud du Pacifique, en suivant les méthodes élaborées pour le PMECS par Rubidge *et al.* (2016).

Tableau 1 : Niveaux, étendues spatiales, définitions et unités de sortie du cadre hiérarchique du Système de classification écologique marine du Pacifique (adapté de Rubidge *et al.* (2016)).

Niveau du PMECS	Étendue spatiale	Définition du cadre	Unité de sortie dans la région du Pacifique
1. Domaines	>Dizaines de milliers de km	Bassin océanique.	Pacifique Nord tempéré
2. Province	Milliers de km	Fondé sur des modèles d'endémisme à grande échelle.	Zone de transition orégonienne et aléoutienne
3. Biorégion	Milliers de km	Processus océanographiques physiques distinctifs, récurrents et à plus petite échelle (p. ex., séparation entre les régions actuelles de la Californie et de l'Alaska).	Voir la figure 1
4. Unités biophysiques	Centaines à milliers de km	Conditions/processus physiologiques et océanographiques distincts liés à la composition biotique.	Banc Dogfish, autres bancs, plateau, cuvettes, pente
5. Unités géomorphologiques	Centaines de km	<i>Structures géomorphologiques discrètes présumées avoir des assemblages biologiques distinctifs; définies individuellement par la forme, la taille et la variation topographique.</i>	<i>Crête, canyon, pente douce, pente abrupte, monticule</i>
6. Biotopes (habitats et communautés)	Centaines de m à centaines de km	Assemblages taxonomiques discrets caractérisés par les substrats et les facteurs environnementaux connexes.	Les principales unités abiotiques qui agissent comme substituts pour les assemblages vivant sur ou dans ces substrats.
7. Faciès biologiques	Centaines de m	Groupes d'espèces biogéniques ou fondatrices identifiés par une ou plusieurs espèces indicatrices. Ils sont épars et intégrés dans des biotopes.	P. ex., récifs d'éponges, forêts de varech, herbiers de zostère
8. Microassemblages	1 cm à dizaines de m	Assemblages à petite échelle d'espèces souvent très spécialisées. Seront associés au biotope, mais peuvent être associés ou non aux faciès biologiques.	P. ex., assemblages de crampons de varech

2 Méthodologie et application

2.1 Résumé des méthodes

La méthodologie décrite dans Rubidge *et al.* (2016) a été suivie et adaptée pour refléter l'échelle des entités dans la zone d'étude actuelle. Les grandes étapes de l'analyse se résument comme suit :

1. Diviser la zone d'étude (biorégions du détroit de Georgia et du plateau Sud) en zones plus petites de façon à ce que chaque zone contienne des caractéristiques de paysage marin à peu près de la même échelle (section 2.2)

2. Pour chacune des petites zones, utilisez les outils de la boîte à outils BTM (BTM 3.0; Walbridge *et al.* 2018b) et les données bathymétriques à haute résolution pour produire des cartes classées du terrain benthique (section 2.3)
3. Post-traiter la production matricielle pour simplifier les limites, retirer les micropolygones et joindre les unités géomorphologiques aux limites des petites zones d'analyse (section 2.4)
4. Joindre les noms aux entités du Répertoire géographique des noms d'entités sous-marines, le cas échéant, et rédiger des métadonnées pour les fichiers finaux (section 2.5).

2.2 Zone d'étude

La zone d'étude comprenait la biorégion du détroit de Georgia et la partie du plateau continental de la biorégion du plateau Sud (tableau 1; MPO 2009) qui s'étend du littoral de pleine mer établi par le Service hydrographique du Canada (SHC)¹ jusqu'à la ligne de démarcation du plateau définie dans Rubidge *et al.* (2016; figure 2). La zone d'étude a été divisée en quatre zones d'analyse en raison des différences de taille des entités dans chaque zone d'analyse et des différences de résolution des données bathymétriques utilisées (figure 2; tableau 2). Les quatre zones d'analyse étaient le détroit de Georgia/détroit de Juan de Fuca, les bras de mer et fjords continentaux, le plateau de la côte ouest de l'île de Vancouver (COIV) et les bras de mer et fjords de la COIV. La limite entre le détroit de Georgia/détroit de Juan de Fuca et le plateau de la COIV a été délimitée à l'aide des biorégions marines du plateau Sud et du détroit de Georgia (MPO 2009) et ajustée pour correspondre à l'étendue des limites régionales utilisées pour la répartition des espèces et les analyses de modélisation de la qualité de l'habitat (Fields et Nephin 2020). Des écoséctions de la classification écologique marine de la Colombie-Britannique (BCMEC) (Ministry of Sustainable Resource Management (MSRM) Decision Support Services Branch 2002) ont été utilisées pour délimiter les bras de mer et les fjords de la COIV (écoséction littorale à faible débit) ainsi que les bras de mer et les fjords continentaux (écoséctions des bras de mer et fjords continentaux et du détroit de Johnstone). La zone d'analyse des bras de mer et des fjords de la COIV a été étendue à 5 km au large de l'isobathe de 50 m pour permettre un chevauchement avec la zone d'analyse du plateau de la COIV et pour faciliter la délimitation des unités géomorphologiques le long de la frontière entre les zones d'analyse du plateau de la COIV et des bras de mer et des fjords de la COIV, en particulier dans les plus grandes baies comme les baies Barkley, Clayoquot et Nootka où la frontière partagée est longue. Cela n'était pas nécessaire pour la zone d'analyse des bras de mer et des fjords continentaux, car l'échelle des entités d'intérêt dans les fjords continentaux correspondait à celles du détroit de Georgia/détroit de Juan de Fuca, et les frontières partagées entre les deux régions étaient petites. Le découpage a été effectué à l'aide de la fonction Mask dans le progiciel Raster R (version 3.5-2; Hijmans *et al.* 2020)

Tableau 2. Données bathymétriques utilisées pour dériver des unités géomorphologiques pour chaque zone d'analyse.

Zone d'analyse	Résolution	Source
Détroit de Georgia/Détroit de Juan de Fuca	10 m	Kung 2021
Fjords continentaux	10 m	Kung 2021
Plateau de la côte ouest de l'île de Vancouver (COIV)	75 m	Natural Resources Canada 2014
Bras de mer et fjords de la côte ouest de l'île de Vancouver (COIV)	75 m	Natural Resources Canada 2014

¹ Service hydrographique du Canada - [Données et levés \(chart.gc.ca\)](https://chart.gc.ca)

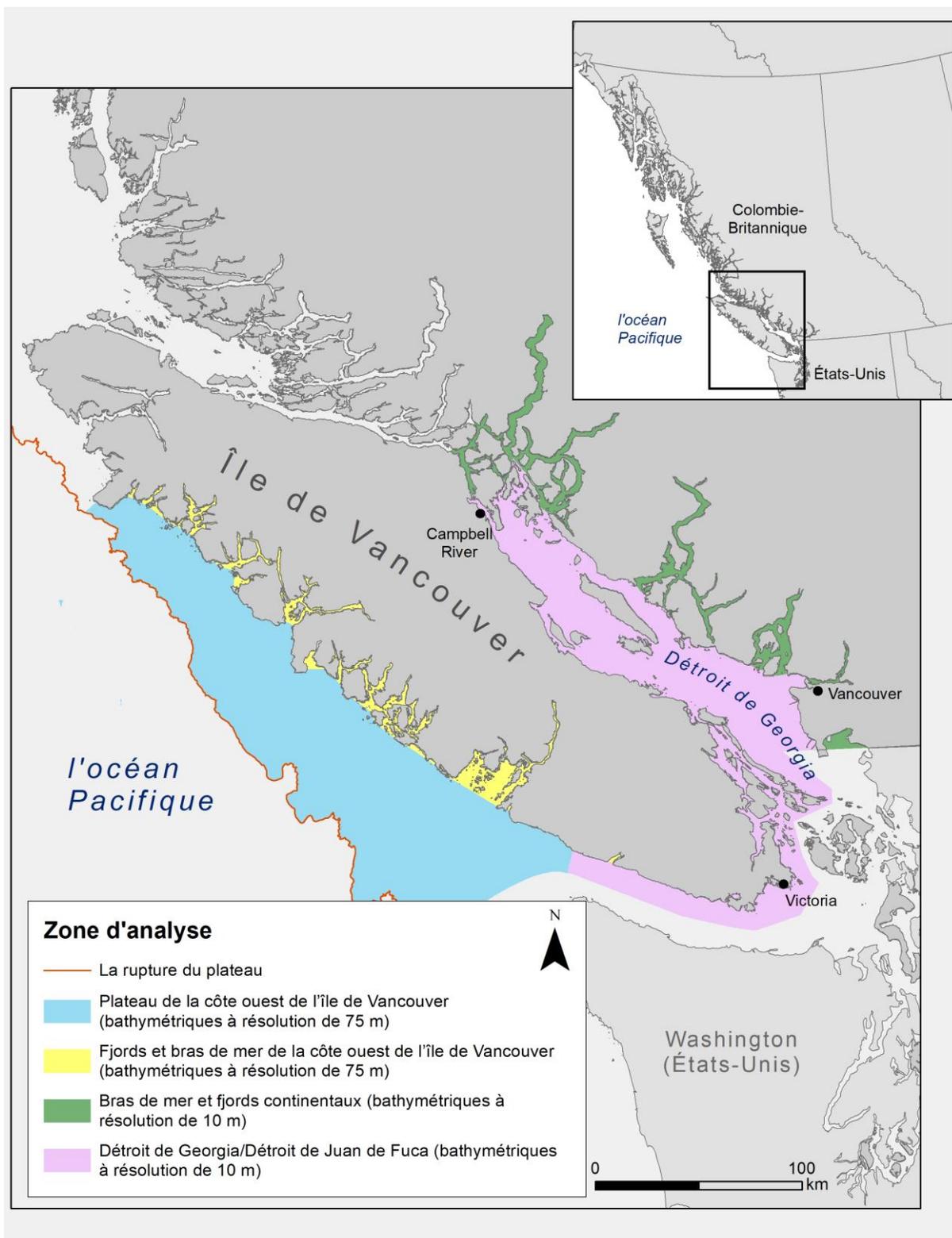


Figure 2. Zone d'étude pour l'analyse des unités géomorphologiques montrant les zones d'analyse et la résolution des données bathymétriques.

2.3 Boîte à outils de modélisation du terrain benthique

2.3.1 Intrants

Des données de bathymétrie, de pente et d'indice de position bathymétrique (IPB) ainsi qu'un ensemble de règles de classification (section 2.3.2) sont nécessaires pour délimiter les unités géomorphologiques à l'aide de la boîte à outils BTM² (Walbridge *et al.* 2018b). Les données pour cette analyse sont décrites en détail ci-dessous.

2.3.1.1 Bathymétrie et pente

Robert Kung, de Ressources naturelles Canada (RNCAN), a créé la couche bathymétrique de 10 m utilisée dans les zones d'analyse du détroit de Georgia/détroit de Juan de Fuca et les bras de mer et fjords continentaux pour appuyer la PSM (Kung 2021). Les données ont été produites en compilant les meilleures données bathymétriques disponibles de plusieurs organismes gouvernementaux.

La couche bathymétrique de 75 m qui couvre les zones d'analyse du plateau de la COIV et des bras de mer et fjords de la COIV a été élaborée et mise à disposition par Robert Kung de RNCAN (Ressources naturelles Canada 2014) à partir des données du SHC.

Des données bathymétriques à résolution de dix mètres étaient également disponibles pour la zone d'analyse des bras de mer et fjords de la COIV (Kung 2021). Des essais ont été effectués pour déterminer si les unités géomorphologiques dérivées pour la zone d'analyse des bras de mer et des fjords de la COIV à l'aide de données bathymétriques de 10 m pouvaient être fusionnées avec les unités géomorphologiques dérivées pour le plateau de la COIV à l'aide de la bathymétrie d'une résolution de 75 m. La fusion des unités géomorphologiques le long de la longue frontière des deux zones d'étude a donné lieu à des artefacts et à des profils spatiaux qui n'étaient pas représentatifs du paysage marin. Par conséquent, il a été déterminé que la couche bathymétrique d'une résolution de 75 m serait utilisée pour les zones d'analyse des bras de mer et des fjords de la COIV et du plateau de la COIV afin de faciliter la fusion des unités géomorphologiques à la limite des deux zones d'analyse et de maintenir la continuité entre les unités géomorphologiques du PMECS qui couvrent la pente continentale et la majeure partie du plateau continental. De plus, les essais ont également montré que les extrants dérivés de la bathymétrie de 10 m et de 75 m n'étaient pas très différents compte tenu de l'échelle des entités délimitées.

Pour chaque zone d'analyse, la pente (c'est-à-dire le changement de profondeur) a été calculée en degrés à l'aide de l'ensemble de données bathymétriques choisi et de l'outil Slope dans ArcGIS 10.7.1 (ESRI Inc. 2019).

2.3.1.2 Indice de position bathymétrique (IPB)

L'IPB est un dérivé bathymétrique de deuxième ordre (la pente est le dérivé de premier ordre) qui identifie les dépressions, les crêtes et les battures en quantifiant la position relative d'un emplacement sur une surface bathymétrique (Walbridge *et al.* 2018a). L'algorithme de l'IPB de la boîte à outils BTM utilise un annulaire défini par l'utilisateur (rayons intérieur et extérieur d'un environnement de recherche) pour comparer la profondeur d'une cellule matricielle à la profondeur moyenne des cellules environnantes. Les valeurs de cellules matricielles de l'IPB obtenues représentent des dépressions (valeurs négatives), des crêtes (valeurs positives) et des battures ou des zones de pente constante (valeurs quasi nulles) (Lundblad *et al.* 2006). Rubidge et ses collaborateurs (2016) ont élaboré des lignes directrices sur les facteurs d'échelle appropriés pour l'établissement des rayons d'IPB. Pour déterminer les paramètres d'IPB appropriés pour les trois zones d'analyse de la présente étude, la gamme de tailles des entités ciblées pour la délimitation a été enregistrée et des couches d'IPB à grande échelle ont été

² <https://coast.noaa.gov/digitalcoast/tools/btm.html>

élaborées à l'aide de facteurs d'échelle qui représentent environ la moitié de la dimension des entités d'intérêt (Rubidge *et al.* 2016; tableau 33). Les matrices d'IPB à grande échelle ont été créées et normalisées à l'aide des outils « build BPI » et « standardized BPI » dans la boîte à outils BTM.

Tableau 3. Entités mesurées dans chaque zone d'analyse, plage de tailles et facteurs d'échelle finaux.

Zone d'analyse	Entités ciblées pour la délimitation	Plage de tailles (largeur)	Facteur d'IPB à grande échelle (m)	Rayon intérieur (cellules)	Rayon extérieur (cellules)
Détroit de Georgia/détroit de Juan de Fuca	Cuvettes, bancs, fjords, chenaux, bras de mer	2-8 km	4 000	20	200
Bras de mer et fjords continentaux	Fjords, chenaux, bras de mer	2-7 km	3 400	5	170
Plateau de la côte ouest de l'île de Vancouver (COIV)	Cuvettes, bancs	10-20 km	10 000	10	100
Fjords et bras de mer de la côte ouest de l'île de Vancouver (COIV)	Fjords, chenaux, bras de mer	2-7 km	3 375	5	45
Parois des cuvettes (détroit de Georgia/détroit de Juan de Fuca; plateau de la COIV)	Parois des cuvettes	1,5-4 km	Les parois des cuvettes sont définies en utilisant la pente, et non l'IPB		

2.3.2 Règles de classification

En plus des données de bathymétrie, de pente et de l'IPB, la délimitation des unités géomorphologiques à l'aide de la boîte à outils BTM nécessite un tableau de classification qui précise les règles pour définir chaque catégorie ou entité (c.-à-d. l'unité géomorphologique). Rubidge et ses collaborateurs (2016) ont dressé une liste des entités qu'ils prévoyaient délimiter dans chaque zone d'analyse de la zone d'étude du PMECS (p. ex., crête, dépressions, monticules, parois; tableau 4), puis ont testé de façon itérative divers paramètres dans les tableaux de classification jusqu'à ce que les entités ciblées pour la délimitation correspondent le mieux aux résultats de l'analyse. Les tableaux de classification fondés sur l'IPB et la pente à grande échelle se sont révélés les plus appropriés pour délimiter les entités à l'échelle des unités géomorphologiques (Rubidge *et al.* 2016). Les mêmes entités ont été ciblées dans la présente analyse et les mêmes tableaux de classification et noms d'unités géomorphologiques ont été appliqués et entrés dans l'outil « Classify Benthic Terrain » à partir de la boîte à outils BTM (tableau 3 et tableau 5). À l'aide de l'approche développée par Rubidge et ses collaborateurs (2016), les parois des cuvettes ont été délimitées à l'aide de seuils de pente.

Tableau 4 : Définitions générales des entités délimitées dans chaque zone d'analyse. Les descriptions proviennent de Rubidge *et al.* (2016), qui ont utilisé la classification de Greene *et al.* (2008) et les définitions de Harris et Baker (2012).

Entité	Description
Crête	Zones plates avec relief positif extrême
Dépression	Zones relativement plates avec relief négatif et pente douce négative (moins de 1 degré)
Dépression sur le fond	Zones plates avec relief négatif extrême
Monticule	Zones relativement plates avec relief positif et pente douce positive (moins de 1 degré)
Paroi, en pente	Zones avec des valeurs de pente supérieures à 1 (degré) qui capturent les pentes entre les dépressions et les monticules (plateau continental seulement)
Paroi, forte pente	Zones de pente constante et abrupte avec des valeurs de pente supérieures à 2,86 (degrés; bras de mer et fjords seulement)

2.3.2.1 *Bras de mer et fjords de la côte ouest de l'île de Vancouver et bras de mer et fjords continentaux*

Parmi les entités d'intérêt des fjords et des bras de mer, mentionnons les pentes abruptes des parois des fjords, les dépressions des fonds des fjords et des chenaux, les régions plates à la tête des bras de mer et des monticules ou encore les seuils des régions où les fjords et les bras de mer rencontrent le plateau continental. Valeurs extrêmes de l'IPB de plus ou moins d'un écart-type de la moyenne définie des parois des fjords (crêtes) ou des fonds des fjords ou des chenaux (dépressions sur le fond). Les dépressions et les monticules ont été délimités à l'aide des valeurs de l'IPB moyennes comme seuil. Les parois à forte pente ont été définies comme des zones avec des pentes constantes et abruptes à l'aide du seuil utilisé pour définir la rupture de pente (tableau 5).

2.3.2.2 *Détroit de Georgia et détroit de Juan de Fuca*

Les entités à délimiter dans le détroit de Georgia/détroit de Juan de Fuca comprenaient des monticules, des crêtes, des dépressions, des dépressions sur le fond et des pentes. Les crêtes et les dépressions sur le fond ont été définies par des valeurs de l'IPB extrêmes de plus ou moins d'un écart-type de la moyenne. Les monticules et les dépressions ont été délimités de la même façon que les zones d'analyse des bras de mer et fjords de la COIV et des bras de mer et fjords continentaux. Toutes les battures dont les valeurs de pente sont supérieures à un degré ont été définies comme des parois à pente pour capturer les zones en pente entre les dépressions et les monticules (tableau 5).

2.3.2.3 *Plateau de la côte ouest de l'île de Vancouver*

Les entités à délimiter dans la zone d'analyse du plateau de la COIV comprenaient les monticules, les crêtes, les dépressions, les dépressions sur le fond et les pentes et ont été définies en utilisant la même approche que la zone d'analyse du détroit de Georgia/détroit de Juan de Fuca (tableau 5).

Tableau 5. Tableau de classification pour les quatre zones d'analyse.

Zone d'analyse	Catégorie	Zone	IPB inférieur à grande échelle	IPB supérieur à grande échelle	IPB inférieur à petite échelle	IPB supérieur à petite échelle	Pente inférieure	Pente supérieure	Profondeur inférieure	Profondeur supérieure
Bras de mer et fjords de la côte ouest de l'île de Vancouver	1	Crête	100							
	2	Dépression sur le fond		-100						
	3	Dépression	-100	0,46				2,86		
	4	Monticule	0,46	100				2,86		
	5	Paroi, forte pente	-100	100			2,86			
Déroit de Georgia et déroit de Juan de Fuca	1	Crête	100							
	2	Dépression sur le fond		-100						
	3	Dépression	-100	0,57				1		
	4	Monticule	0,57	100				1		
	5	Paroi, en pente	-100	100			1			
Bras de mer et fjords continentaux	1	Crête	100							
	2	Dépression sur le fond		-100						
	3	Dépression	-100	0,61				2,86		
	4	Monticule	0,61	100				2,86		
	5	Paroi, en pente	-100	100			2,86			
Plateau de la côte ouest de l'île de Vancouver	1	Crête	100							
	2	Dépression sur le fond		-100						
	3	Dépression	-100	0,33				1		
	4	Monticule	0,33	100				1		
	5	Paroi, en pente	-100	100			1			

2.4 Post-traitement des unités géomorphologiques classifiées

Les étapes de post-traitement suivantes ont été réalisées séparément pour chaque zone d'analyse en fonction des directives de Rubidge *et al.* (2016). Les matrices classifiées (le résultat de l'outil Classify Benthic Terrain BTM) ont été converties en catégories de caractéristiques des polygones à l'aide de l'outil Raster to Polygon dans ArcMap 10.7.1 (ESRI Inc. 2019) avec l'option « simplify polygons » sélectionnée pour produire des polygones plus lisses. Les micropolygones ont été fusionnés avec les polygones environnants avec lesquels ils partageaient la plus longue frontière à l'aide de l'outil Eliminate

(ESRI Inc. 2019). Les micropolygones ont été définis comme des fragments de moins de 0,5 km² pour la zone d'analyse du plateau de la COIV et de 0,2 km² pour les zones d'analyse des bras de mer et fjords de la COIV, du détroit de Georgia/détroit de Juan de Fuca et des bras de mer et fjords continentaux (Rubidge et al. 2016). Un seuil plus petit est requis pour les zones d'analyse des bras de mer et fjords de la COIV, du détroit de Georgia/détroit de Juan de Fuca et des bras de mer et fjords continentaux afin de s'assurer que les caractéristiques étroites des chenaux, des bras de mer et des fjords (p. ex., les seuils des fjords, les parois des fjords avec des pentes abruptes, les chenaux étroits entre les îles) ne sont pas éliminées. Le processus d'élimination a été répété une deuxième fois pour s'assurer que tous les micropolygones étaient retirés. Les trois fichiers des zones d'analyse ont ensuite été fusionnés en un seul fichier. De petits écarts entre les zones d'analyse (résultant de la procédure de simplification lorsque les matrices classifiées ont été converties en catégories de caractéristiques des polygones) ont été supprimés en créant une topologie et en effectuant la correspondance des limites.

Le long de la limite ouest de la zone d'analyse du plateau de la COIV, entre les unités géomorphologiques du plateau continental créées dans la présente analyse et les unités géomorphologiques de la pente continentale créées pour le PMECS (Rubidge *et al.*, 2016), on retrouvait plusieurs unités de crête et de dépression sur le fond longues et étroites qui ont été considérées comme des artefacts créés par la présence de la limite de la zone d'analyse. Dans l'ensemble de données des unités géomorphologiques nouvellement créées pour la zone d'analyse du plateau de la COIV, ces unités ont été reclassées dans la catégorie « Paroi, en pente » pour s'aligner sur les unités géomorphologiques de la pente continentale.

2.5 Comparaisons avec les entités sous-marines et les catégories benthiques de la BCMCA

Les unités géomorphologiques ont été comparées aux emplacements ponctuels des entités sous-marines publiées dans la *Gazette du Canada*, à l'aide du Répertoire canadien des noms d'entités sous-marines³. Le Répertoire canadien des noms d'entités sous-marines comprend l'ensemble le plus complet des emplacements des entités marines dans notre zone d'étude. Un champ a été ajouté au tableau des entités des unités géomorphologiques pour consigner les noms des entités associées publiées dans la *Gazette*.

On a également procédé à une comparaison visuelle des unités géomorphologiques et des entités sous-marines de l'océan Pacifique Nord-Est (Manson 2009) produites à l'aide d'analyses de l'IPB et de la surface des pentes, afin d'évaluer le niveau de concordance entre les deux ensembles de données en ce qui concerne l'emplacement des cuvettes, des vallées et des bassins sur le plateau continental.

Les unités géomorphologiques ont également été comparées visuellement aux catégories benthiques produites pour le British Columbia Marine Conservation Atlas (BCMCA; British Columbia Marine Conservation Atlas 2010). Les catégories benthiques ont combiné les caractéristiques des paysages, la profondeur et les renseignements sur le substrat afin de déterminer les zones ayant des caractéristiques benthiques semblables et ont été utilisées dans des exercices de planification antérieurs (p. ex., [le Marine Plan Partnership](#)), avant l'élaboration des unités géomorphologiques du PMECS (Rubidge *et al.* 2016).

Le niveau de concordance entre les unités géomorphologiques, les entités sous-marines publiées dans la *Gazette*, les entités sous-marines de l'océan Pacifique Nord-Est (Manson 2009) et les catégories benthiques (British Columbia Marine Conservation Atlas 2010) peut aider à évaluer l'incertitude des unités géomorphologiques et à cerner les différences résultant des diverses méthodes utilisées pour identifier les entités du fond marin à de grandes échelles spatiales.

3 Résultats des unités géomorphologiques

La figure 3 illustre les unités géomorphologiques de la biorégion du détroit de Georgia et de la partie du plateau continental de la biorégion du plateau Sud qui s'étend du littoral de pleine mer jusqu'à la rupture

³ [BC Gazetteer - BC GAZETTEER 22JUL2020 - Portail du gouvernement ouvert \(canada.ca\)](#)

du plateau défini dans Rubidge *et al.* (2016). Ces résultats, lorsqu'ils ont été fusionnés avec les unités géomorphologiques du PMECS, forment une couche spatiale continue représentant les unités géomorphologiques dans le plateau et la pente continentaux de la région du Pacifique du Canada (figure 4).

Sont également affichés les emplacements ponctuels des entités sous-marines publiées dans la *Gazette* qui s'alignent spatialement avec une unité géomorphologique qui représente probablement l'entité. Sur les 55 entités sous-marines publiées dans la *Gazette* qui se trouvent dans la zone d'étude, 29 présentaient une unité géomorphologique connexe (tableau 6). La majorité des points d'observation des entités sous-marines publiées dans la *Gazette* se trouvaient à l'intérieur des limites du polygone qui représentait probablement l'entité (p. ex., banc du Flétan, bassin Sooke, banc Achilles). Les emplacements ponctuels d'autres entités, comme le banc Ajax, la barre Comox et le banc Constance, étaient à proximité (< 1 km) de l'unité géomorphologique qui représente probablement l'entité, et il a été mentionné précédemment que certains des emplacements de la *Gazette* pourraient être compensés spatialement (Rubidge *et al.* 2016). Certaines entités sous-marines publiées dans la *Gazette* sont représentées par une unité géomorphologique multipartite (p. ex., banc Sargison et banc Swiftsure). Il s'agit habituellement de cas où les unités géomorphologiques de crête et de monticule adjacentes représentent ensemble un banc. L'emplacement ponctuel du banc La Perouse n'était pas situé dans un monticule géomorphologique ou une crête distinct, mais plutôt dans la grande unité géomorphologique de monticule qui s'étend sur la majeure partie de la zone d'analyse du plateau de la COIV. Une partie du banc La Perouse est représentée par une unité géomorphologique de crête située à environ 30 km au sud-ouest de l'entrée de la baie Barkley. Les entités sous-marines publiées dans la *Gazette* qui n'étaient pas associées à une unité géomorphologique sont énumérées à l'annexe 2.

Tableau 6 : Entités sous-marines publiées dans la *Gazette* et leurs unités géomorphologiques connexes

Nom de l'entité publiée dans la <i>Gazette</i>	Unité géomorphologique connexe	Proximité de l'entité du polygone de l'unité géomorphologique	Renseignements additionnels
Banc Achilles	Crête	Dans le polygone	
Banc Ajax	Crête	< 1 km de la limite du polygone	
Cuvette Ballenas	Dépression	Dans le polygone	
Haut-fond Bjerre	Crête	< 200 m de la limite du polygone	
Baie Boundary	Dépression	Dans le polygone	
Barre Comox	Monticule	< 1 km de la limite du polygone	
Banc Constance	Monticule	< 100 m de la limite du polygone	
Haut-fond Exeter	Crête	< 200 m de la limite du polygone	
Banc Halibut	Crête	Dans le polygone	
Bassin Hidden	Monticule	Dans le polygone	
Banc La Perouse (partiel)	Crête	S. O.	L'unité géomorphologique de crête représente une partie du banc La Perouse. Le point de la <i>Gazette</i> est situé dans une grande unité géomorphologique de monticule qui couvre une vaste zone au-delà de l'emplacement du banc La Perouse. Seule une partie du banc (crête) est associée à une unité géomorphologique.

Détroit de Malaspina	Dépression sur le fond	Dans le polygone	
Bassin Mary	Dépression	Dans le polygone	
Haut-fond McCall	Crête	~2 km de la limite du polygone	
Banc Montgomery/ haut-fond Sentry	Crête	~1,5 km de la limite du polygone	Le point du haut-fond Sentry est situé dans une unité géomorphologique de crête. Le point du banc Montgomery est situé à environ 1,5 km de la limite du polygone.
Banc Nash	Monticule	Dans le polygone	
Banc Roberts	Crête/Monticule /Dépression	Dans le polygone	Entité multipartite.
Haut-fond Rocket	Monticule	~250 m de la limite du polygone	
Banc Sargison	Crête/Monticule	Dans le polygone	Entité multipartite.
Haut-fond Sinclair	Crête	Dans le polygone	
Bassin Sooke	Dépression	Dans le polygone	
Banc Spanish	Monticule	< 150 m de la limite du polygone	
Banc Sturgeon	Crête/Monticule /Dépression	Dans le polygone	Entité multipartite.
Banc Swiftsure	Crête/Paroi, en pente	< 500 m de la limite du polygone	Entité multipartite.
Haut-fond Thames	Monticule	< 300 m de la limite du polygone	
Haut-fond Victoria	Monticule	< 400 m de la limite du polygone	
Banc Yaculta	Monticule	< 250 m de la limite du polygone	
Banc Yellow	Monticule	Dans le polygone	

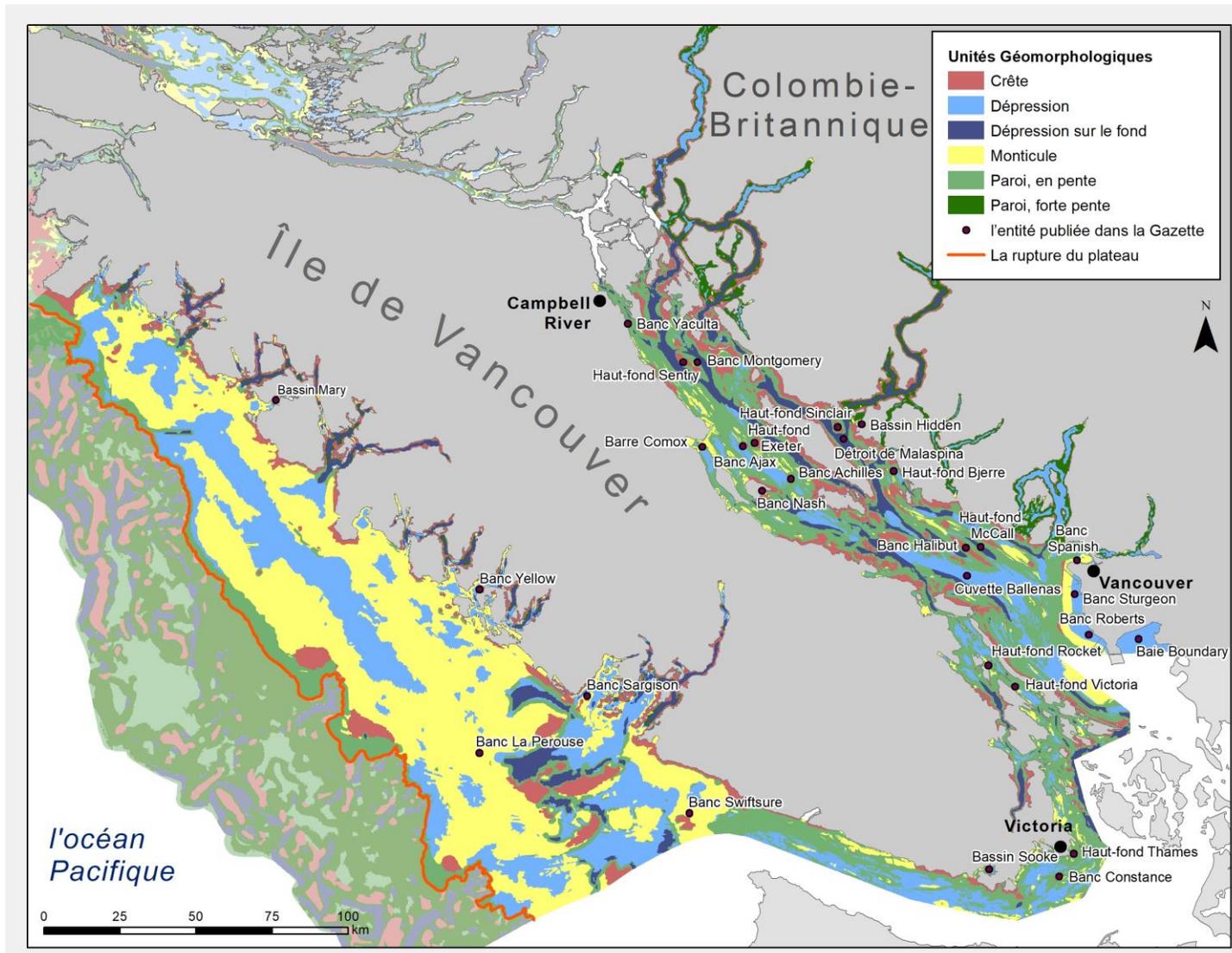


Figure 3. Unités géomorphologiques fusionnées pour les quatre zones d’analyse. Les unités géomorphologiques adjacentes produites dans le cadre du processus du Système de classification écologique marine du Pacifique (PCEMS) (Rubidge *et al.*, 2016) sont affichées de façon semi-transparente et ont la même symbologie de couleur que les unités de la présente analyse.

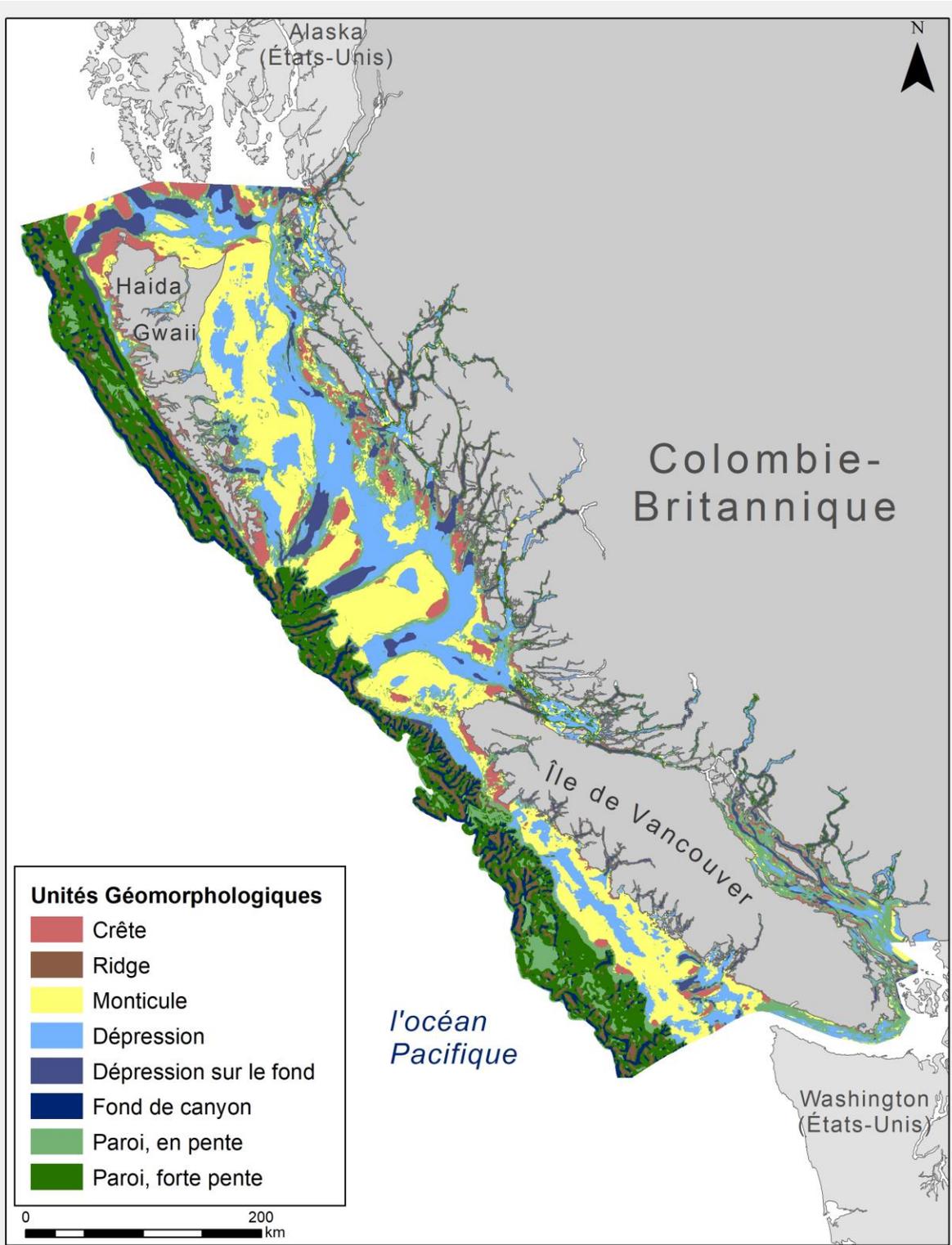


Figure 4 : Unités géomorphologiques du plateau et de la pente continentaux de la région du Pacifique du Canada produites par la fusion des résultats de la présente analyse avec les unités géomorphologiques générées dans le cadre du processus du Système de classification écologique marine du Pacifique (Rubidge *et al.* 2016).

L'évaluation visuelle du degré de chevauchement entre les nouvelles unités géomorphologiques et les entités sous-marines de l'océan Pacifique Nord-Est (Manson 2009) indique un accord entre l'emplacement de la cuvette Ballenas, le détroit de Malaspina, ainsi que des cuvettes et des bassins sans nom au sud-est de l'entrée de la baie Barkley et dans le nord du détroit de Georgia. Les unités géomorphologiques représentant ces entités sont plus étroites que les entités sous-marines, et capturent des entités de plus petite échelle à l'intérieur des cuvettes, comme de petites crêtes et de petits monticules qui ne sont pas représentées dans les entités sous-marines.

L'évaluation visuelle visant à comparer les catégories benthiques de la BCMCA⁴ avec les unités géomorphologiques montre qu'il y a un certain accord, en particulier avec les emplacements des dépressions et des crêtes. Cependant, dans le détroit de Georgia/détroit de Juan de Fuca, les catégories benthiques de la BCMCA semblent moins capables de saisir la transition entre les dépressions et les crêtes, comme en témoigne l'absence relative de pentes. Les dépressions des catégories benthiques de la BCMCA sont également plus étroites que les cuvettes dans l'ensemble de données de Manson (2009) et cadrent bien avec les dépressions et les dépressions sur le fond de l'unité géomorphologique.

4 Analyse

La présente analyse a permis de combler une lacune connue dans les données spatiales en classant les biorégions de la partie du plateau continental du détroit de Georgia et du plateau Sud en unités géomorphologiques, qui ont ensuite été fusionnées avec les unités géomorphologiques existantes pour la biorégion du plateau Nord et la pente continentale de la Colombie-Britannique afin de produire une couche d'unités géomorphologiques continues pour les régions du plateau et de la pente continentales de la côte du Pacifique du Canada (figure 4). Ces données appuient les efforts de PSM dans la région de planification de la côte sud du Pacifique, y compris la surveillance des AMP, ainsi que les analyses futures pour étudier les relations entre les assemblages d'espèces et les unités géomorphologiques.

4.1 Incertitude

Pour les zones d'analyse du détroit de Georgia/détroit de Juan de Fuca et des bras de mer et fjords continentaux, des données bathymétriques à plus petite échelle (résolution de 10 m) ont été utilisées que les analyses des unités géomorphologiques du PMECS (Rubidge *et al.* 2016). Ce choix a été fait parce que les données bathymétriques de 10 m convenaient davantage à l'échelle plus petite des entités d'intérêt dans ces zones d'analyse. Cette décision a toutefois posé certains défis lorsque les unités géomorphologiques adjacentes du détroit de Georgia/détroit de Juan de Fuca et du plateau de la COIV ont été fusionnées parce que la résolution n'était pas uniforme dans les deux zones d'analyse, ce qui a eu une incidence sur la résolution et la complexité des limites des polygones. Cependant, la frontière entre les zones d'analyse du plateau de la COIV et le détroit de Georgia/détroit de Juan de Fuca était relativement petite (~ 10 km) et seulement cinq polygones ont été fusionnés des deux zones d'analyse, de sorte que l'incidence de cette résolution non concordante était mineure.

En général, il y avait un bon alignement entre les entités publiées dans la *Gazette* et les unités géomorphologiques (tableau 6), ce qui suggère que les unités géomorphologiques représentent des entités connues du fond marin. Cependant, les petits hauts-fonds et bancs près de la côte semblaient être les entités les plus courantes publiées dans la *Gazette* qui n'avaient pas d'unités géomorphologiques connexes (p. ex., banc Holland, haut-fond Collins; annexe 2). Cela donne à penser que l'approche de l'unité géomorphologique est moins en mesure de discerner les petites entités littorales peu profondes et que les hauts-fonds, les monticules et les crêtes peuvent être sous-représentés. Par conséquent, il peut être nécessaire d'utiliser une autre méthode pour identifier les entités littorales. Cela pourrait comprendre l'utilisation de zones de forte rugosité (Du Preez 2015), comme le recommandent Rubidge et ses

⁴ https://bcmca.ca/datafeatures/eco_physical_benthicclasses/

collaborateurs (2016) pour compléter l'approche de l'unité géomorphologique et identifier les entités plus complexes dans les zones littorales. Une autre option pourrait être d'utiliser des données bathymétriques à plus haute résolution (p. ex., LIDAR; Walbridge *et al.* 2018a) et un autre ensemble de paramètres de l'IPB pour identifier les entités à plus petite échelle dans les zones littorales.

Une des limites de cette approche qui a été soulignée dans Rubidge *et al.* (2016) et qui persiste dans la présente analyse est l'importance d'identifier les entités d'intérêt avant d'exécuter l'outil BTM. C'est important parce que l'outil ne permet pas d'identifier facilement des entités complexes comme des fjords et des canyons avec des parois à forte pente et des dépressions plates. Par conséquent, une certaine compréhension du terrain du fond marin et des entités d'intérêt est nécessaire pour s'assurer que les paramètres de classification de l'IPB produisent des unités géomorphologiques qui sont significatives pour la zone d'intérêt particulière.

4.2 Considérations pour l'avenir

En plus d'appuyer les activités de PSM sur la côte sud du Pacifique, la couche continue d'unités géomorphologiques pour la côte de la Colombie-Britannique peut être utilisée pour des analyses plus vastes à l'échelle de la côte, ainsi que pour des enquêtes visant à évaluer les assemblages d'espèces associés à chaque unité géomorphologique.

Il existe des preuves substantielles de la relation entre les assemblages biologiques et les unités physiographiques et les facteurs abiotiques, et tout indique que les entités physiques comme les unités géomorphologiques peuvent servir de substituts pour les structures écologiques et les assemblages (Brown *et al.* 2012; Harris et Baker 2019; Lacharité *et al.* 2020; Proudfoot *et al.* 2020). Cependant, la relation entre les unités géomorphologiques et les assemblages d'espèces à l'échelle de la côte et de la région n'est pas bien comprise. Un examen plus poussé des corrélations possibles entre les unités géomorphologiques et les assemblages d'espèces pourrait appuyer une variété de programmes et d'initiatives spatiaux, y compris la PSM. Une voie d'analyse possible pourrait consister à utiliser l'ensemble de données du relevé synoptique au chalut du MPO (Sinclair *et al.* 2003; Anderson *et al.* 2019) pour évaluer les corrélations entre les assemblages de poissons de fond et les unités géomorphologiques afin de déterminer si les unités géomorphologiques pourraient servir de substituts pour les assemblages d'espèces. Cela pourrait être particulièrement utile dans les régions où les données sur les espèces et les habitats ne sont pas complètes sur le plan spatial. Cette information pourrait avoir de multiples utilisations, y compris la possibilité d'éclairer la surveillance des AMP en aidant à comprendre et à réduire au minimum les effets confusionnels de l'habitat (Lacharité et Brown 2019) sur les profils benthiques et épibenthiques du biote. Toutefois, il n'est pas recommandé d'utiliser les unités géomorphologiques pour la cartographie et les analyses à l'échelle locale ou pour représenter des modèles de fond marin à petite échelle. Les unités géomorphologiques ont été produites et devraient être interprétées comme des zones ayant des caractéristiques benthiques semblables à l'échelle de 100 km. Cela est particulièrement pertinent pour les zones plus restreintes comme le détroit de Georgia ou à l'intérieur des bras de mer et des fjords, où l'échelle des entités est comparativement plus petite que celle du plateau et de la pente extérieurs. De plus, les niveaux inférieurs de la hiérarchie du PMECS (p. ex., biotopes, faciès biologiques; tableau 1) pourraient être plus appropriés pour déterminer les entités à petite échelle afin de répondre à des besoins plus localisés.

En outre, les résultats de ces travaux pourraient être utilisés pour valider et comparer les modèles de substrat existants en fournissant des données spatiales qui se chevauchent et représentent les entités du fond marin. Par exemple, il est peu probable que des unités géomorphologiques à forte pente se trouvent dans des zones avec des substrats boueux. De plus, les unités géomorphologiques et les couches de substrat prévues à l'échelle de la côte (Gregr *et al.* 2013, 2021) pourraient être combinées pour attribuer le substrat le plus probable à chaque unité géomorphologique. Cela ressemble à ce qui a été fait pour produire les catégories benthiques (British Columbia Marine Conservation Atlas 2010), qui ont combiné les caractéristiques du paysage, la profondeur et les renseignements sur le substrat pour identifier les

zones ayant des caractéristiques benthiques semblables. Cependant, on ne sait pas exactement comment les caractéristiques du paysage ont été calculées et les paramètres BTM particuliers appliqués dans l'analyse des catégories benthiques de la BCMCA. Ainsi, les unités géomorphologiques produites ici et le modèle de substrat récemment publié (Gregg *et al.* 2021) pourraient être utilisés pour mettre à jour l'ensemble de données des catégories benthiques. Il y avait un niveau modéré d'accord entre les unités géomorphologiques et les catégories benthiques de la BCMCA⁵, particulièrement en ce qui concerne les emplacements des dépressions et des crêtes. Cependant, l'absence relative de pentes dans les catégories benthiques de la BCMCA dans le détroit de Georgia/détroit de Juan de Fuca laisse croire que le tableau de classification appliqué dans l'analyse de la BCMCA avait des seuils différents pour délimiter les diverses caractéristiques du paysage et qu'il saisit donc des caractéristiques légèrement différentes. Les catégories benthiques de la BCMCA ont été utilisées dans des exercices de planification antérieurs qui portaient sur la côte de la Colombie-Britannique (p. ex., Ban *et al.* 2013) ou les grandes biorégions (p. ex., [le Marine Plan Partnership](#)), ce qui peut avoir influencé l'échelle à laquelle les entités ont été identifiées (c.-à-d. à grande échelle, à l'échelle de la côte) et les seuils de pente ont été appliqués.

Les unités géomorphologiques sont un exemple de produits de données spatialement complets représentant les caractéristiques benthiques qui sont essentielles aux activités de PSM et d'établissement des priorités en matière de conservation. Les unités géomorphologiques produites dans le cadre de la présente analyse, lorsqu'elles sont couplées aux unités géomorphologiques existantes produites dans le cadre du processus de PMECS, peuvent être incluses dans les évaluations des réseaux de conservation existants et proposés sur la côte de la Colombie-Britannique afin d'évaluer le degré de représentativité et de réplification des unités géomorphologiques. Ces évaluations seront particulièrement utiles si elles sont combinées à d'autres travaux visant à examiner dans quelle mesure les unités géomorphologiques sont associées à des assemblages d'espèces ou à des espèces préoccupantes sur le plan de la conservation.

Remerciements

Nous sommes reconnaissants envers de nombreuses personnes pour leur contribution durant la création de ce rapport. En particulier, Katie Gale, Karin Bodtker et Emily Rubidge ont fourni des commentaires et des suggestions avisés sur les méthodes et le rapport provisoire. Nous remercions également Katie Gale et Cole Fields pour leurs examens du manuscrit provisoire et Karen Douglas (Ressources naturelles Canada) pour ses précieux commentaires sur les résultats cartographiés. Nous tenons également à remercier les auteurs, les collaborateurs et les examinateurs de l'analyse du PMECS de 2016 qui a servi de fondement à ce travail.

⁵ https://bcmca.ca/datafeatures/eco_physical_benthicclasses/

Ouvrages et articles cités

- Anderson, S.C., Keppel, E.A., and Edwards, A.M. 2019. A reproducible data synopsis for over 100 species of British Columbia groundfish. DFO Can. Sci. Advis. Sec. 2019/041. vii + 321 p.: 328.
- Balbar, A.C., Daigle, R.M., Heaslip, S.G., Jeffery, N.W., Proudfoot, B., Robb, C.K., Rubidge, E., and Stanley, R. 2020. Approaches for Assessing and Monitoring Representation, Replication, and Connectivity in Marine Conservation Networks. DFO Can. Sci. Advis. Sec. 2020/050.: vii + 57p.
- Ban, N.C., Bodtker, K.M., Nicolson, D., Robb, C.K., Royle, K., and Short, C. 2013. Setting the stage for marine spatial planning: Ecological and social data collation and analyses in Canada's Pacific waters. *Marine Policy* **39**: 11–20. doi:10.1016/j.marpol.2012.10.017.
- British Columbia Marine Conservation Atlas. 2010. BCMCA Eco-Physical Benthic Classes DATA. Available from https://bcmca.ca/datafeatures/eco_physical_benthicclasses/ [accessed 4 November 2021].
- Brown, C.J., Sameoto, J.A., and Smith, S.J. 2012. Multiple methods, maps, and management applications: Purpose made seafloor maps in support of ocean management. *Journal of Sea Research* **72**: 1–13. doi:10.1016/j.seares.2012.04.009.
- DFO. 2009. Development of a Framework and Principles for the Biogeographic Classification of Canadian Marine Areas. DFO Can. Sci. Advis. Sec. 2009/056.
- DFO. 2017. Science Guidance on Design Strategies for a Network of Marine Protected Areas in the Newfoundland and Labrador Shelves Bioregion. DFO Can. Sci. Advis. Sec. 2017/046.
- DFO. 2018. Design Strategies for a Network of Marine Protected Areas in the Scotian Shelf Bioregion. DFO Can. Sci. Advis. Sec. 2018/006.
- Du Preez, C. 2015. A new arc–chord ratio (ACR) rugosity index for quantifying three-dimensional landscape structural complexity. *Landscape Ecol* **30**(1): 181–192. doi:10.1007/s10980-014-0118-8.
- Ehler, C., and Douvère, 2009. 2009. Marine Spatial Planning: a step-by-step approach toward ecosystem-based management. Intergovernmental Oceanographic Commission and Man and the Biosphere Programme. IOC Manual and Guides No. 53, ICAM Dossier No. 6. Paris: UNESCO. Available from <https://repository.oceanbestpractices.org/handle/11329/459>.
- ESRI Inc. 2019. ArcGIS (Version 10.7.1). ESRI Inc.
- Fields, C., and Nephin, J. 2020. Species Distribution Modelling Boundaries. Data Distributor: Cole Fields, Marine Spatial Ecology and Analysis Section, Fisheries and Oceans Canada, Nanaimo, BC. [accessed 8 August 2021].
- Greene, H., O'Connell, V., Brylinsky, C., and Reynolds, J. 2008. Marine Benthic Habitat Classification: What's Best for Alaska? *In* Marine Habitat Mapping Technology for Alaska. *Edited by* J. Reynolds and H. Greene. Alaska Sea Grant, University of Alaska Fairbanks. pp. 169–184. doi:10.4027/mhmta.2008.12.
- Gregr, E.J., Haggarty, D.R., Davies, S.C., Fields, C., and Lessard, J. 2021. Comprehensive marine substrate classification applied to Canada's Pacific shelf. *PLoS ONE* **16**(10): e0259156. doi:10.1371/journal.pone.0259156.
- Gregr, E.J., Lessard, J., and Harper, J. 2013. A spatial framework for representing nearshore ecosystems. *Progress in Oceanography* **115**: 189–201. doi:10.1016/j.pocean.2013.05.028.
- Harris, P., and Baker, E. 2019. Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat - Geohab Atlas of Seafloor Geomorphic Features and Benthic Habitats. *In* 2nd edition. Elsevier Science.
- Harris, P.T., and Baker, E.K. 2012. Glossary. *In* Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat. Elsevier, San Francisco. pp. 889-900.

- Hijmans, R.J., van Etten, J., Sumner, M., Cheng, J., Baston, D., Bevan, A., Bivand, R., Busetto, L., Canty, M., Fasoli, B., Forrest, D., Ghosh, A., Golicher, D., Gray, J., Greenberg, J.A., Hiemstra, P., Hingee, K., Institute for Mathematics Applied Geosciences, Karney, C., Mattiuzzi, M., Mosher, S., Naimi, B., Nowosad, J., Pebesma, E., Perpinan Lamigueiro, O., Racine, E.B., Rowlingson, B., Shortridge, A., Venables, B., and Wueest, R. 2020. Package 'raster.' R. Available from <https://rspatial.org/raster/> [accessed 23 October 2021].
- Kung, R. 2021. Canada west coast topo-bathymetric digital elevation model. Natural Resources Canada, Government of Canada. Available from <https://open.canada.ca/data/en/dataset/e6e11b99-f0cc-44f7-f5eb-3b995fb1637e>.
- Lacharité, M., and Brown, C.J. 2019. Utilizing benthic habitat maps to inform biodiversity monitoring in marine protected areas. *Aquatic Conserv: Mar Freshw Ecosyst* **29**(6): 938–951. doi:10.1002/aqc.3074.
- Lacharité, M., Brown, C.J., Normandeau, A., and Todd, B.J. 2020. Geomorphic features and benthos in a deep glacial trough in Atlantic Canada. *In Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat*. Elsevier. pp. 691–704. doi:10.1016/B978-0-12-814960-7.00041-5.
- Lieberknecht, L.M., Ardron, J.A., Ban, N., Bennet, N.J., Eckert, L., Hooper, T.E.J., and Robinson, C.L.K. 2016. Recommendations for Applying Canada-BC Marine Protected Area Network Principles in Canada's Northern Shelf Bioregion. Principles 1, 2, 3, 5, 6,7,8,9,11,14 and 15. Produced by PacMARA for the British Columbia Marine Protected Area Technical Team (MPATT).
- Lundblad, E.R., Wright, D.J., Miller, J., Larkin, E.M., Rinehart, R., Naar, D.F., Donahue, B.T., Anderson, S.M., and Battista, T. 2006. A Benthic Terrain Classification Scheme for American Samoa. *Marine Geodesy* **29**(2): 89–111. doi:10.1080/01490410600738021.
- Manson, M.M. 2009. Small Scale Delineation of Northeast Pacific Ocean Undersea Features Using Benthic Position Index. *Can. Manusc. Rep. Fish. Aquat. Sci*: 2864: iv + 16p.
- Martone, R.G., Robb, C.K., Gale, K.S., Frid, A., McDougall, C., and Rubidge, E. 2021. Design Strategies for the Northern Shelf Bioregional Marine Protected Area Network. *DFO Can. Sci. Advis. Sec. 2021/024.*: xi + 156 p.
- Ministry of Sustainable Resource Management (MSRM) Decision Support Services Branch. 2002. British Columbia Marine Ecological Classification Marine Ecosystems and Ecounits. Version 2.0. Prepared for the Coastal Task Force Resources Information Standards Committee, Province of British Columbia.
- Natural Resources Canada. 2014. Bathymetry (75 m) for Pacific Canadian Waters. Data distributor: Robert Kung, Natural Resources Canada, Sidney, BC.
- Proudfoot, B., Devillers, R., Brown, C.J., Edinger, E., and Copeland, A. 2020. Seafloor mapping to support conservation planning in an ecologically unique fjord in Newfoundland and Labrador, Canada. *J Coast Conserv* **24**(3): 36. doi:10.1007/s11852-020-00746-8.
- Rubidge, E., Gale, K.S.P., Curtis, J.M.R., McClelland, E., Feyrer, L., Bodtker, K., and Robb, C. 2016. Methodology of the Pacific Marine Ecological Classification System and its Application to the Northern and Southern Shelf Bioregions. *DFO Can. Sci. Advis. Sec. 2016/035.*: xi + 124 p.
- Sinclair, A., Schnute, J., Rowan Haigh, Starr, P., Stanley, R., Fargo, J., and Workman, G. 2003. Feasibility of multispecies groundfish bottom trawl surveys on the BC COAST. *DFO Can. Sci. Advis. Sec. 2003/049.*: iii + 34 p.
- Walbridge, S., Slocum, N., Pobuda, M., and Wright, D. 2018a. Unified Geomorphological Analysis Workflows with Benthic Terrain Modeler. *Geosciences* **8**(3): 94. doi:10.3390/geosciences8030094.

Walbridge, S., Slocum, N., Pobuda, M., and Wright, D.J. 2018b. Benthic Terrain Modeler (BTM): Tools for understanding and classifying the benthic environment. Available from <https://coast.noaa.gov/digitalcoast/tools/btm.html>.

Annexe 1 – Attributs des unités géomorphologiques

Tableau 7. Attributs inclus pour chaque polygone dans l'ensemble de données spatiales des unités géomorphologiques.

Attribut	Type	Description
Id	Long	Identificateur numérique unique pour chaque polygone. Valeurs comprises entre 1 et 2 991 (n polygones)
Geomorph	Chaîne	Nom de l'unité géomorphologique originale
GeoGreene	Chaîne	Catégorie d'unité géomorphologique décrite à l'aide de la classification élaborée par Greene et al. (2008). Valeurs possibles : Fjord, crête Fjord, dépression Fjord, dépression sur le fond marin Fjord, monticule Fjord, paroi, forte pente Plateau, crête Plateau, dépression Plateau, dépression sur le fond Plateau, monticule Plateau, paroi, en pente
Zone	Chaîne	Catégorie d'unité géomorphologique généralisée décrite à l'aide de la classification élaborée par Greene <i>et al.</i> (2008). Ce champ ne distingue pas les entités selon leur emplacement sur le plateau continental. Ce champ peut être utile à des fins de cartographie et de visualisation. Valeurs possibles : Crête Dépression Dépression sur le fond Monticule Paroi, en pente Paroi, forte pente
Area	Chaîne	Classification géologique générale pour distinguer les fjords et les bras de mer du plateau continental. Valeurs possibles : Plateau continental Plateau continental (bras de mer et fjords)
Label	Chaîne	Étiquette de carte (utilisée dans Rubidge <i>et al.</i> 2016). Conservée pour éviter les erreurs lors de la fusion avec les unités géomorphologiques du PMECS
FeatureGazette	Chaîne	Nom de l'entité figurant dans le Répertoire canadien des noms d'entités sous-marines, le cas échéant
Year_Created	Chaîne	Année où l'analyse a été faite. Il s'agit de distinguer les unités géomorphologiques produites dans le cadre du processus de PMECS (2016) et les unités géomorphologiques produites dans le cadre de la présente analyse.
AnalysisArea	Chaîne	Zones d'analyse utilisées pour diviser la zone d'étude (biorégions du détroit de Georgia et du plateau Sud) en zones plus petites de façon à ce que chaque zone contienne des caractéristiques de paysage marin à peu près de la même échelle. Les trois zones d'analyse sont les suivantes : Détroit de Georgia et détroit de Juan de Fuca Bras de mer et fjords de la côte ouest de l'île de Vancouver Plateau de la côte ouest de l'île de Vancouver
Shape_Length	Double	Longueur du périmètre du polygone (unités = mètres)
Shape_Area	Double	Mesure de la superficie du polygone (unités = mètres carrés)

Annexe 2 – Alignement des entités sous-marines publiées dans la *Gazette du Canada* avec les unités géomorphologiques

Tableau 8. Entités sous-marines publiées dans la *Gazette du Canada* qui ne s'alignent pas spatialement avec les unités géomorphologiques.

Nom de l'entité publiée dans la Gazette	Unité géomorphologique* à l'intérieur de laquelle l'entité ponctuelle se situe
Banc Alan	Situé dans une grande unité géomorphologique (en pente). Aucune unité géomorphologique de crête ou monticule n'est présente.
Haut-fond Barnsley	Situé dans une grande unité géomorphologique (en pente). Aucune unité géomorphologique de crête n'est présente.
Haut-fond Beaumont	Situé dans une grande unité géomorphologique (en pente). Aucune unité géomorphologique de crête n'est présente.
Haut-fond Black	Situé dans l'unité géomorphologique de dépression. Aucune unité géomorphologique de crête n'est présente.
Haut-fond Collins	Situé dans une grande unité géomorphologique (en pente). Aucune unité géomorphologique de crête n'est présente.
Banc Coomes	Situé dans une grande unité géomorphologique de monticule qui couvre une vaste zone au-delà de l'emplacement du banc.
Hauts-fonds D'Arcy	Situés dans une grande unité géomorphologique (en pente). Aucune unité géomorphologique de crête n'est présente.
Bancs Edgell	Situés dans une grande unité géomorphologique de crête qui couvre une vaste zone au-delà de l'emplacement du banc.
Banc Elbow	Situé dans une grande unité géomorphologique de monticule qui couvre une vaste zone au-delà de l'emplacement du banc.
Banc Entrance	Situé dans une grande unité géomorphologique (en pente). Aucune unité géomorphologique de monticule n'est présente.
Banc Fairway	Situé dans une grande unité géomorphologique (en pente). Aucune unité géomorphologique de monticule n'est présente. .
Haut-fond Four Mile	Situé dans l'unité géomorphologique de dépression.
Haut-fond Ganges	Situé dans une grande unité géomorphologique de monticule qui couvre une vaste zone au-delà de l'emplacement du haut-fond.
Hauts-fonds Gossip	Situés dans une grande unité géomorphologique à paroi (en pente) adjacente à une grande unité géomorphologique de crête qui couvre une vaste zone au-delà de l'emplacement des hauts-fonds.
Dôme Grant	À l'extérieur de la zone d'étude.
Banc Gumboot	Situé dans une grande unité géomorphologique (à forte pente). Aucune unité géomorphologique de monticule n'est présente.
Barre Hesquiat	Située dans une grande unité géomorphologique de monticule qui couvre une vaste zone au-delà de l'emplacement de la barre.
Banc Holland	Situé dans une grande unité géomorphologique (en pente). Aucune unité géomorphologique de monticule n'est présente.
Hauts-fonds Horda	Situés dans une grande unité géomorphologique (en pente). Aucune unité géomorphologique de crête ou de monticule n'est présente.

Nom de l'entité publiée dans la Gazette	Unité géomorphologique* à l'intérieur de laquelle l'entité ponctuelle se situe
Batture Josephine	Située dans une grande unité géomorphologique à paroi (en pente) qui couvre une vaste zone au-delà de l'emplacement de la batture. Aucune unité géomorphologique de dépression n'est présente.
Banc Loch Katrine	Situé dans l'unité géomorphologique de dépression. Aucune unité géomorphologique de crête ou de monticule n'est présente.
Banc Neptune	Situé dans l'unité géomorphologique de dépression. Aucune unité géomorphologique de crête ou de monticule n'est présente.
Banc Oswald	Situé dans une grande unité géomorphologique de crête qui couvre une vaste zone au-delà de l'emplacement du banc.
Bassin Snug	Situé dans l'unité géomorphologique de crête. L'entité ponctuelle publiée dans la Gazette se trouve à la limite de la zone d'étude et le bassin se trouve probablement à l'extérieur des limites de la zone d'étude.
Banc Soquel	Situé dans l'unité géomorphologique de dépression. Aucune unité géomorphologique de crête ou de monticule n'est présente.
Hauts-fonds Wilby	Situés dans une grande unité géomorphologique de crête qui couvre une vaste zone au-delà de l'emplacement des hauts-fonds.

*Classification de *Greene et al.* (2008)