



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences des écosystèmes
et des océans

Ecosystems and
Oceans Science

Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS)

Document de recherche 2025/014

Région du Pacifique

Recensement des écosystèmes marins vulnérables des monts sous-marins dans la zone de la Convention de la Commission des pêches du Pacifique Nord au moyen de relevés visuels et de modèles de répartition

Devon Warawa¹, Janelle Curtis¹, Christopher Rooper¹, Jessica Nephin², Sam Georgian³, Jackson W.F. Chu⁴, Sarah Dudas¹ et Anders Knudby⁵

¹ Pêches et Océans Canada
Station biologique du Pacifique
3190, chemin Hammond Bay
Nanaimo (Colombie-Britannique) V9T 6N7

² Pêches et Océans Canada
Institut des sciences de la mer
9860, chemin West Saanich
Sydney (Colombie-Britannique) V8L 4B2

³ Marine Conservation Institute
4010 Stone Way N
Seattle (Washington) 98103

⁴ Pêches et Océans Canada
Station biologique de St. Andrews
125, promenade Marine Science
St. Andrews (Nouveau-Brunswick) E5B 0E4

⁵ Département de géographie, environnement et géomatique
Université d'Ottawa
60 University Private
Ottawa (Ontario) K1N 6N5

Avant-propos

La présente série documente les fondements scientifiques des évaluations des ressources et des écosystèmes aquatiques du Canada. Elle traite des problèmes courants selon les échéanciers dictés. Les documents qu'elle contient ne doivent pas être considérés comme des énoncés définitifs sur les sujets traités, mais plutôt comme des rapports d'étape sur les études en cours.

Publié par :

Pêches et Océans Canada
Secrétariat canadien des avis scientifiques
200, rue Kent
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

[http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/
csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca](http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca)



© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre du
ministère des Pêches et des Océans, 2025

Ce rapport est publié sous la [Licence du gouvernement ouvert – Canada](#)

ISSN 2292-4272

ISBN 978-0-660-75817-6 N° cat. Fs70-5/2025-014F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

Warawa, D., Curtis, J., Rooper, C., Nephin, J., Georgian, S., Chu, J.W.F., Dudas, S. et Knudby, A. 2025. Recensement des écosystèmes marins vulnérables des monts sous-marins dans la zone de la Convention de la Commission des pêches du Pacifique Nord au moyen de relevés visuels et de modèles de répartition. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2025/014. viii + 46 p.

Also available in English :

Warawa, D., Curtis, J., Rooper, C., Nephin, J., Georgian, S., Chu, J.W.F., Dudas, S., and Knudby, A. 2025. Identification of Vulnerable Marine Ecosystems on Seamounts in the North Pacific Fisheries Commission Convention Area using Visual Surveys and Distribution Models. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2025/014. vi + 42 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	viii
1. INTRODUCTION	1
1.1. POLITIQUES ET MESURES DE GESTION INTERNATIONALES RELATIVES AUX EMV	1
1.2. APPROCHES DE RECENSEMENT DES EMV	2
1.2.1. Estimation de la densité par la méthode du noyau.....	2
1.2.2. Évaluation selon plusieurs critères du CIEM.....	3
1.2.3. Seuil de densité de la complexité structurelle	3
1.3. CHOIX DES MÉTHODES APPROPRIÉES POUR LE NORD-EST DE L'Océan PACIFIQUE.....	3
1.4. CADRE DE RECENSEMENT DES EMV DANS LA ZONE DE LA CONVENTION DE LA CPPN	5
1.5. OBJECTIFS.....	6
2. MÉTHODES ET APPLICATION.....	6
2.1. ZONE D'ÉTUDE	6
2.2. DONNÉES.....	6
2.3. RECENSEMENT DES EMV	7
2.3.1. Étape 1 : Déterminer un seuil régional de densité	7
2.3.2. Étape 2 : Calculer la densité des taxons des EMV à partir des données visuelles ...	10
2.3.3. Étape 3 : Appliquer le seuil régional de densité des EMV	10
2.4. RECENSEMENT DES EMV POTENTIELS	10
2.4.1. Étape 1 : Déterminer un seuil régional de densité	10
2.4.2. Étape 2 : Modèles prédictifs de la densité des indicateurs des EMV	10
2.4.3. Étape 3 : Appliquer le seuil régional de densité des EMV	12
3. DISCUSSION.....	13
3.1. ZONES QUI SONT DES EMV SUR LA CHAÎNE DE MONTs SOUS-MARINS COBB-EICKELBERG	13
3.2. MÉTHODOLOGIE UTILISÉE POUR RECENSER LES ZONES QUI SONT DES EMV POTENTIELS.....	14
3.3. AVIS SUR L'EMPLACEMENT DES EMV POTENTIELS SUR LA CHAÎNE DE MONTs SOUS-MARINS COBB-EICKELBERG	16
3.4. INCERTITUDES DANS LES DONNÉES ET LES MÉTHODES DE RECENSEMENT DES EMV POTENTIELS	16
3.4.1. Incertitudes dans le modèle statistique (MAG) estimant la densité des EMV sur la chaîne de monts sous-marins Cobb-Eickelberg	18
3.4.2. Incertitude dans la méthode du seuil de densité qui estime la présence d'EMV	19
3.5. TRAVAUX À VENIR	20
4. TABLEAUX	22
5. FIGURES.....	29

6. REMERCIEMENTS.....	39
7. RÉFÉRENCES CITÉES.....	39
ANNEXE A – MODÈLE DE SEUIL DE DENSITÉ DES INDICATEURS DES EMV.....	44
ANNEXE B – MODÈLE DE DENSITÉ DES INDICATEURS DES EMV.....	45

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Taxons indicateurs des EMV reconnus par la CPPN, représentés dans les données annotées provenant du VSA tirées du relevé du mont sous-marin Cobb en 2012 (Curtis et al. 2015). Les taxons structurellement complexes sont indiqués par un astérisque (*), et le nombre total provient des quatre transects du VSA.	22
Tableau 2. Taxons sédentaires associés aux taxons indicateurs des EMV reconnus par la CPPN et recensés par la NOAA sur les quatre transects du véhicule sous-marin autonome (VSA) étudiés en 2012 sur le mont sous-marin Cobb (voir Curtis et al. 2015).	23
Tableau 3. Taxons mobiles associés aux taxons indicateurs des EMV reconnus par la CPPN et recensés par la NOAA sur les quatre transects du véhicule sous-marin autonome (VSA) étudiés en 2012 sur le mont sous-marin Cobb (voir Curtis et al. 2015).	24
Tableau 4. Résultats du MAG utilisés pour déterminer le seuil régional de densité des indicateurs des EMV avec les données annotées du relevé par véhicule sous-marin autonome (VSA) du mont sous-marin Cobb (voir plus de détails sur le relevé dans Curtis et al. 2015). Les degrés de liberté estimés (edf), la valeur statistique de F et la valeur de p sont indiqués pour chaque terme du modèle.	26
Tableau 5. Calculs des seuils de densité des indicateurs des EMV pour le seuil régional Cobb-Eickelberg selon les quatre méthodes utilisées dans Rowden et al. (2020) pour estimer un seuil de densité des indicateurs des EMV dans la zone de la Convention de l'Organisation régionale de gestion des pêches du Pacifique Sud (en nombre de taxons indicateurs des EMV par mètre carré). La moyenne et l'écart-type sont également calculés.	26
Tableau 6. Récapitulatif des cinq zones recensées comme des EMV sur le mont sous-marin Cobb.	27
Tableau 7. Caractéristiques des zones recensées comme des EMV potentiels, par mont sous-marin, sur la chaîne de monts sous-marins Cobb-Eickelberg. La profondeur maximale du mont sous-marin est tirée de Harris et al. (2014).	28
Tableau 8. Résultats du MAG utilisés pour recalculer le seuil régional de densité des indicateurs des EMV lorsque les pennatules sont incluses en tant que taxons indicateurs des EMV. Les degrés de liberté estimés (edf), la valeur statistique de F et la valeur de p sont indiqués pour chaque terme du modèle.	28

LISTE DES FIGURES

Figure 1. La zone de la Convention de la Commission des pêches du Pacifique Nord (CPPN), qui s'étend sur les eaux internationales de l'océan Pacifique Nord. Toutes les mesures de conservation et de gestion de la CPPN s'appliquent à l'ouest, à l'est ou aux deux parties de la zone de sa Convention.	29
Figure 2. Courbe théorique qui décrit la relation entre la quantité d'habitat structurellement complexe et la richesse en espèces associées (d'après la figure 4 dans Rowden et al. 2020) ..	29
Figure 3. Carte bathymétrique du mont sous-marin Cobb montrant l'emplacement des quatre transects parcourus par le véhicule sous-marin autonome (VSA; en rouge) lors du relevé du mont sous-marin Cobb mené en 2012 (voir les détails dans Curtis et al. 2015).	30
Figure 4. Adaptation par le Canada des méthodes utilisées dans Rowden et al. (2017; 2020) dans l'est de la zone de la Convention de la CPPN.	30
Figure 5. La chaîne de monts sous-marins Cobb-Eickelberg dans l'est de la zone de la Convention de la CPPN, adjacente à la ZEE canadienne (en gris pâle). Les points noirs représentent les monts sous-marins nommés, et les contours noirs représentent les monts sous-marins identifiés à partir de caractéristiques géomorphiques dans Harris et al. (2014).	31
Figure 6. Les quatre méthodes décrites dans Rowden et al. (2020) que nous avons utilisées pour calculer notre seuil régional de densité des indicateurs des EMV.	32
Figure 7. Les segments des transects du VSA où des EMV ont été recensés sur le mont sous-marin Cobb sont indiqués par des étoiles noires sur les segments des transects 4 et 2 du VSA. Les segments des transects où les densités observées de taxons indicateurs des EMV sont inférieures au seuil régional de densité des indicateurs des EMV de 0,6 m ⁻² sont indiqués en vert. Les transects où aucun taxon indicateur des EMV n'a été observé sont marqués en bleu. Les lignes grises sont les courbes de niveau de 100 m de profondeur (voir Curtis et al. 2015).	33
Figure 8. Parties de la chaîne de monts sous-marins Cobb-Eickelberg où on a évalué la présence d'EMV potentiels (zones bleues) et où on n'a pas évalué la présence d'EMV ou d'EMV potentiels (zones grises hachurées à moins de 400 m et à plus de 1 200 m de profondeur).	34
Figure 9. Cartes de prévision du modèle de densité des taxons indicateurs des EMV et de la présence d'EMV potentiels, par mont sous-marin (pas à l'échelle). La présence d'EMV potentiels (en violet) est déterminée en appliquant le seuil de densité des EMV (voir Warawa et al. 2023a) à l'extrait du modèle de prévision de la densité des EMV. Les cartes de la présence d'EMV potentiels utilisant les valeurs inférieure et supérieure de l'intervalle de confiance à 95 % du seuil de densité des EMV (0,5 et 0,7, respectivement) sont présentées à des fins de comparaison. Les zones grisées représentent les profondeurs à l'extérieur de la zone de prévision, qui était limitée à la tranche de 400 à 1 200 m de profondeur.	35
Figure 10. Erreur type de l'estimation modélisée de la densité des EMV par le MAG. Des valeurs plus faibles de l'erreur type indiquent un meilleur ajustement du modèle de régression aux données et sont associées à une plus petite incertitude dans la prévision.....	37
Figure 11. Version simplifiée de l'analyse de l'estimation de la densité par noyau (EDN) utilisée dans Kenchington et al. (2014) : un graphique du pourcentage de variation de la superficie des EMV observés, la valeur du seuil augmentant par tranches de 0,1 comme autre moyen d'utiliser des ruptures naturelles pour déterminer les seuils. Le plus grand pourcentage de variation de la superficie d'EMV recensée se produit lorsque nous augmentons le seuil de densité des indicateurs des EMV de 0,5 à 0,6 indicateur par mètre carré.	38

Figure A1. Diagrammes d'évaluation du modèle pour le MAG du seuil de densité des indicateurs des EMV à l'aide de gam.check() pour examiner les valeurs résiduelles.....	44
Figure A2. Diagrammes des effets marginaux pour le MAG du seuil de densité des indicateurs des EMV.	44
Figure B2. Diagrammes d'évaluation du modèle de densité des EMV à l'aide de gam.check() pour examiner les valeurs résiduelles.	45
Figure B3. Diagrammes des effets marginaux pour le MAG de densité des EMV.	46

RÉSUMÉ

Dans sa résolution 61/105, adoptée en 2006, l'Assemblée générale des Nations Unies a demandé aux États de gérer les pêches durablement et de protéger les écosystèmes marins vulnérables (EMV) des pratiques de pêche destructrices. En vertu de la Convention sur la conservation et la gestion des ressources halieutiques en haute mer dans le Pacifique Nord, les membres de la Commission des pêches du Pacifique Nord (CPPN; NPFC en anglais, documents uniquement en anglais), y compris le Canada, doivent élaborer un processus de recensement des EMV et des zones où ils sont susceptibles de se trouver (EMV potentiels) à l'aide de la meilleure information scientifique disponible. En janvier 2024, la CPPN a inclus quatre groupes de coraux et deux classes d'éponges comme taxons indicateurs des EMV et a récemment adopté une méthodologie quantitative qui peut être utilisée pour recenser les EMV à partir de relevés visuels (NPFC-SSC BFME 2022, NPFC-SC 2022a; NPFC-COM 2023). Cette approche quantitative a été élaborée à l'origine par Rowden et ses collaborateurs (2020) pour l'Organisation régionale de gestion des pêches du Pacifique Sud et appliquée par Warawa et ses collaborateurs (2022, 2023a, 2023b) à l'est de la zone de la Convention (ZC) de la CPPN. La CPPN a également adopté un cadre qui définit les modèles prédictifs comme un moyen de recenser des EMV potentiels (NPFC 2023a; NPFC 2023b). En tant que partie contractante à la CPPN et son seul membre exploitant une pêche par le fond dans la partie nord-est (NE) de la zone de la Convention de la CPPN, il incombe au Canada de localiser les EMV et les EMV potentiels dans cette région. En date de janvier 2024, le Canada a recensé cinq zones d'EMV sur le mont sous-marin Cobb, qui ont été approuvées par le Comité scientifique de la CPPN en décembre 2023. La Commission les a adoptées en avril 2024. Nous décrivons comment ces cinq EMV ont été localisés à l'aide de l'approche décrite dans Rowden *et al.* (2020; voir Warawa *et al.* 2022, 2023a). Nous avons utilisé des données visuelles recueillies en 2012 (Curtis *et al.* 2015) pour estimer un seuil régional de densité des indicateurs des EMV afin de déterminer les cinq EMV sur le mont sous-marin Cobb en appliquant notre seuil à ces données visuelles. La taille des EMV variait d'environ 50 à 200 m² et leur profondeur, de 500 à 1 200 m. Nous recensons également les EMV potentiels dans la chaîne des monts sous-marins Cobb-Eickelberg en appliquant le seuil régional de densité des indicateurs des EMV aux prévisions modélisées de la densité des taxons indicateurs des EMV (Warawa *et al.* 2023b). Des EMV potentiels sont probablement présents sur tous les monts sous-marins de la chaîne de monts sous-marins Cobb-Eickelberg. La plus grande superficie totale déterminée comme étant un EMV potentiel se trouvait sur le mont sous-marin Cobb (27,55 km², 15,39 % de la superficie modélisée sur ce mont), puis sur le mont Brown Bear nord (20,4 km², 19,88 % de la superficie modélisée sur ce mont), sur le mont Brown Bear sud (13,74 km², 4,40 % de superficie modélisée sur ce mont) et sur la dorsale Eickelberg (10,95 km², 22,71 % de la superficie modélisée sur cette dorsale).

1. INTRODUCTION

1.1. POLITIQUES ET MESURES DE GESTION INTERNATIONALES RELATIVES AUX EMV

En 2006, dans sa résolution 61/105, l'Assemblée générale des Nations Unies a demandé « aux États d'agir immédiatement, individuellement et par l'intermédiaire des organismes et accords de gestion des pêches, et conformément aux approches de précaution et écosystémiques, afin de gérer durablement les stocks de poissons et de protéger les écosystèmes marins vulnérables (EMV), notamment les monts sous-marins, les cheminées hydrothermales et les coraux d'eaux froides, des pratiques de pêche destructrices, vu l'immense importance que revêtent les écosystèmes des grands fonds marins et la biodiversité qu'ils contiennent » (Assemblée générale des Nations Unies 2006). Par la suite, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) a publié des directives internationales sur la gestion de la pêche profonde en haute mer (FAO 2009). Ces directives décrivaient cinq critères de zones, d'habitats ou d'écosystèmes à utiliser individuellement ou combinés pour recenser les EMV, notamment :

1. caractère unique ou rareté
2. importance fonctionnelle de l'habitat
3. fragilité
4. caractéristique du cycle biologique des espèces constitutives qui rendent le rétablissement difficile
5. complexité structurelle

La FAO recommandait aussi d'élaborer des définitions opérationnelles propres à chaque cas des EMV pour les appliquer (voir des exemples dans Kenchington *et al.* 2014, Morato *et al.* 2018, Miyamoto et Yonezaki 2019, Rowden *et al.* 2020). Le processus et la méthode utilisés pour appliquer cette recommandation sont délibérément laissés à la discrétion des organisations régionales de gestion des pêches (ORGP) pour ce qui est de la mise en œuvre.

L'ORGP de la Commission des pêches du Pacifique Nord est entrée en vigueur en 2015 et en vertu de sa Convention, la CPPN doit mettre en place un processus pour recenser les EMV à l'aide de la meilleure information scientifique disponible. En particulier, l'article 10(4) de la Convention sur la conservation et la gestion des ressources halieutiques en haute mer dans le Pacifique Nord (« la Convention » dans le reste du document) précise que le Comité scientifique de la CPPN doit « élaborer un processus pour recenser les écosystèmes marins vulnérables, y compris les critères pertinents pour ce faire, et déterminer, à partir de la meilleure information scientifique disponible, les zones ou les caractéristiques où la présence de ces écosystèmes est connue ou probable... » [traduction] Aux fins du présent document de recherche, le terme « EMV potentiels » est utilisé comme synonyme de l'expression « zones où la présence des EMV est probable » employée par la CPPN. Le plan de recherche du Comité scientifique de la CPPN (NPFC-SC 2022b) vise explicitement à « parvenir à un consensus sur les critères utilisés pour recenser les EMV et la façon dont il pourrait être appliqué dans le contexte de la CPPN. » [traduction] L'annexe 2 des Mesures de conservation et de gestion (MMC) 2023-05 (NPFC 2023a) et 2023-06 (NPFC 2023b) de la CPPN indique des normes et des critères scientifiques pour le recensement des EMV et précise que : « Le but de ces normes et critères est de fournir des directives à chaque membre de la Commission pour localiser les EMV et évaluer les effets négatifs importants [ENI] des activités de différentes pêches par le fond sur les EMV ou les espèces marines dans la zone de la Convention (ZC). » [traduction]

En tant que partie contractante à la CPPN, le Canada a l'obligation de protéger la biodiversité dans le milieu marin, notamment en prévenant les effets négatifs importants (ENI) sur les EMV et les EMV potentiels. Le Canada a recensé les EMV dans la partie nord-est de la zone de la Convention de la CPPN (figure 1) en décembre 2023 et a proposé de fermer deux zones à la pêche par le fond afin de prévenir les effets négatifs importants dans ces EMV (Warawa *et al.* 2023a; NPFC-SSC BFME 2023; NPFC-SC 2023), mais il n'a pas encore localisé les EMV potentiels dans cette région. À ce jour, le Canada n'a présenté qu'une méthodologie pour le recensement des EMV potentiels dans cette région (Warawa *et al.* 2023a), que le Comité scientifique de la CPPN a approuvée en décembre 2023 (NPFC-SSC BFME 2023; NPFC-SC 2023). Le Canada est la seule partie contractante à la CPPN qui pratique la pêche avec des engins entrant en contact avec le fond dans la partie nord-est (NE) de la zone de la Convention de la CPPN. Il lui incombe donc de localiser les EMV et les EMV potentiels dans cette région et de les protéger des effets négatifs importants.

1.2. APPROCHES DE RECENSEMENT DES EMV

Certaines approches de recensement des EMV reposent sur l'utilisation d'informations qualitatives et de jugements d'experts, qui peuvent manquer d'uniformité et de transparence (Morato *et al.* 2018). Morato et ses collaborateurs (2018) soulignent qu'il serait avantageux que les analystes mettent au point des méthodes quantitatives robustes et reproductibles pour localiser les EMV.

Les exemples d'approches quantitatives existantes ci-après s'appuient sur les données sur les prises provenant de méthodes d'échantillonnage scientifique extractives, de données d'observation historiques des taxons indicateurs des EMV ou de données visuelles de relevés scientifiques non extractifs des organismes benthiques. Toutefois, les données visuelles éparpillées actuellement disponibles sur les taxons indicateurs des EMV dans l'est de la zone de la Convention de la CPPN limitent la capacité de recenser quantitativement les EMV sur le seul mont sous-marin Cobb. Nous avons donc recours à la modélisation spatiale pour prédire la répartition des EMV potentiels sur la chaîne des monts sous-marins Cobb-Eickelberg, où le Canada pêche la morue charbonnière (*Anoplopoma fimbria*).

1.2.1. Estimation de la densité par la méthode du noyau

Sur la base du critère de la complexité structurelle créée par des concentrations importantes de caractéristiques biotiques pour le recensement des EMV défini par la FAO (FAO 2009), Kenchington et ses collaborateurs (2014) ont utilisé une approche d'estimation de la densité par noyau (EDN) pour analyser les données des relevés de recherche au chalut et déterminer les zones où la biomasse de quatre taxons indicateurs des EMV (grandes éponges, pennatules, petites et grandes gorgones) est relativement élevée dans la zone réglementée par l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest (OPANO). À l'aide de l'estimation de la densité par noyau, l'OPANO a localisé des concentrations importantes de la biomasse de taxons indicateurs des EMV, qu'elle a interprétées comme des EMV. L'OPANO a également évalué indépendamment les fortes concentrations d'indicateurs des EMV qu'elle a observées à partir d'images, d'échantillonnages benthiques ou de modèles prédictifs. L'estimation de la densité par noyau est une méthode qui permet de produire une surface de données lisse à partir d'observations ponctuelles; elle est donc fortement influencée par un échantillonnage incomplet de l'EMV en question et ne convient qu'à une utilisation dans des zones densément échantillonnées.

1.2.2. Évaluation selon plusieurs critères du CIEM

Dans le nord-est de l'océan Atlantique, le Conseil international pour l'exploration de la mer (CIEM) a adopté une méthode d'évaluation selon plusieurs critères pour recenser les EMV (Morato *et al.* 2018). Cette évaluation collige les données de différentes sources et aux attributs divers. La méthode évalue la probabilité qu'un EMV soit présent et tient compte à la fois de la quantité et de la qualité des données d'entrée. L'approche selon plusieurs critères combinait une liste de 13 groupes d'indicateurs des EMV qui étaient présents dans la base de données sur les EMV du CIEM et comportait une rubrique de notation pour relier les critères des EMV de la FAO pour chacun de ces groupes. En général, les valeurs des notes variaient de 1 (ajustement le plus mauvais) à 5 (ajustement le meilleur) et étaient attribuées après des discussions entre les membres d'un groupe d'experts scientifiques des grands fonds marins. Le seul paramètre d'indice des EMV combinait les notes pour chaque groupe à l'aide de la moyenne géométrique et comprenait également des informations quantitatives supplémentaires telles que les niveaux de données sur l'abondance (si elles existaient pour un groupe d'EMV), l'incertitude et les problèmes de qualité des données.

1.2.3. Seuil de densité de la complexité structurelle

Rowden et ses collaborateurs (2020) ont remarqué que de nombreuses approches quantitatives de recensement des EMV étaient axées sur la prédiction de la répartition des taxons indicateurs des EMV, mais ils ont également reconnu que la présence d'un ou de plusieurs de ces taxons indicateurs ne signifie pas nécessairement l'existence d'un EMV. Ils se sont appuyés sur le critère de la complexité structurelle des EMV mis au point par la FAO (FAO 2009) pour élaborer une approche quantitative en vue de définir un seuil de densité des taxons indicateurs des EMV au-dessus duquel on déterminait la présence d'un EMV dans la zone de la Convention de l'Organisation régionale de gestion des pêches du Pacifique Sud. Leur méthode repose sur une relation théorique où la richesse en espèces associées augmente avec la quantité d'habitat structurellement complexe (figure 2). Rowden et ses collaborateurs ont cerné une relation importante entre la densité de *Solenosmilia variabilis* et la richesse des organismes épifauniques associés, et en ont déduit qu'on pourrait combiner un seuil de densité avec des modèles prédictifs pour cartographier les zones où la densité prévue des indicateurs des EMV était égale ou supérieure à ce seuil. Ils ont mis au point des modèles prédictifs de la densité de *Solenosmilia variabilis*, puis ont appliqué le seuil de densité pour recenser les EMV. On présume que les zones où les densités prévues de *Solenosmilia variabilis* sont égales ou supérieures au seuil de densité répondent au critère de la complexité structurelle défini pour les EMV par la FAO (FAO 2009) et sont considérées comme des EMV. Rowden et ses collaborateurs (2020) ont souligné la valeur de tels seuils quantitatifs pour rendre la localisation des EMV moins subjective. Les modèles prédictifs de densité des coraux élaborés par Rowden et ses collaborateurs (2020) fournissent des renseignements améliorés pour recenser les EMV par rapport aux modèles qui prédisent l'occurrence, car la répartition des taxons indicateurs des EMV ne correspond pas nécessairement à la zone réelle de l'EMV (Howell *et al.* 2011, comme décrit dans Rowden *et al.* 2020).

1.3. CHOIX DES MÉTHODES APPROPRIÉES POUR LE NORD-EST DE L'OCÉAN PACIFIQUE

Il existe peu de sources de données disponibles sur la répartition et l'abondance des taxons indicateurs des EMV et d'autres organismes épifauniques ou benthiques dans la zone d'étude de la CPPN. Ces sources de données comprennent des relevés visuels de l'épifaune, mais seules les images d'un relevé ont été systématiquement annotées (voir Curtis *et al.* 2015).

En 1982 et 1983, le submersible habité *Pisces IV* a effectué sept plongées sur le mont sous-marin Cobb, où des spécimens physiques ont été prélevés et des photographies ont été prises. Toutefois, les annotations des images ne sont pas disponibles.

En 2002, la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) des États-Unis a entrepris un relevé visuel du mont sous-marin Warwick et des observations de coraux, d'éponges et d'autres taxons [sont disponibles gratuitement sur le site](#). En raison de l'exactitude des coordonnées associées aux annotations d'un sous-ensemble de l'épifaune observée, cependant, elles sont moins fiables pour déterminer l'emplacement des EMV et des EMV potentiels.

En 2012, un relevé scientifique visant à caractériser la structure de la communauté benthique sur le mont sous-marin Cobb a été réalisé à l'aide d'un véhicule sous-marin téléguidé (VTG) jusqu'à une profondeur d'environ 220 m et d'un véhicule sous-marin autonome (VSA) pour prendre des images fixes en dessous de 400 m le long de quatre transects (voir la figure 3; Curtis *et al.* 2015). L'emplacement de ces quatre transects du VSA a été choisi au hasard parmi une série de points de départ et de directions aléatoires afin que chaque transect se trouve dans chacun des quadrants nord-ouest, nord-est, sud-ouest et sud-est du mont sous-marin Cobb (Janelle Curtis, observation personnelle). La NOAA a produit un ensemble de données entièrement annotées des photos prises par le VSA. En revanche, les images vidéo du VTG n'ont pas été annotées, et seule une petite aire quadratique (0,16 m²) de photos prises toutes les 15 secondes le long de chaque transect du VTG a été annotée. Il a donc été difficile de recenser de manière fiable les taxons indicateurs des EMV et les autres espèces épifauniques associées à l'aide des données du VTG.

Le Canada et les États-Unis ont mené conjointement en 2022 un relevé international visuel plus récent des monts sous-marins (Rooper *et al.* 2023). Ce relevé avait été conçu pour estimer la répartition, l'abondance et la structure par taille des coraux et des éponges d'eaux profondes et des taxons associés à l'aide d'un plan de relevé stratifié aléatoire. Des paires d'images fixes ont été prises à l'aide d'un système de caméras stéréoscopiques sous-marines sur cinq monts sous-marins de la chaîne de monts sous-marins Cobb-Eickelberg. L'analyse préliminaire des 77 transects indique que la présence de taxons indicateurs des EMV est répandue sur ces monts sous-marins aux profondeurs étudiées entre 400 et 850 m. L'analyse des images prises au cours de ce relevé est en cours, et les annotations ne sont pas encore disponibles.

La plupart des données sur les coraux et les éponges dans le nord-est de l'océan Pacifique ont été recueillies avec des engins de pêche dans les zones côtières ou sur le plateau continental dans les eaux nationales du Canada et des États-Unis. Ces données ne sont donc pas représentatives des monts sous-marins plus loin dans les eaux internationales. La seule pêche par le fond pratiquée dans la partie nord-est de la zone de la Convention de la CPPN est la pêche canadienne de la morue charbonnière, qui a lieu principalement sur un sous-ensemble de monts sous-marins le long de la chaîne de monts sous-marins Cobb-Eickelberg (monts sous-marins Brown Bear, Cobb, Corn, Eickelberg et Warwick). La morue charbonnière au Canada est pêchée à l'aide de pièges fixés sur une longue ligne de fond ou de lignes munies d'hameçons, qui ne sont habituellement pas efficaces pour retenir les taxons indicateurs des EMV. Il n'y a donc pas suffisamment de registres des prises fortuites de taxons de coraux et d'éponges disponibles pour cette région pour appuyer une analyse selon l'approche d'estimation de la densité par noyau élaborée et appliquée dans Kenchington *et al.* (2014).

La réalisation d'une évaluation selon plusieurs critères semblable à celle du CIEM (voir Morato *et al.* 2018) nécessite également de vastes bases de données qui ne sont pas disponibles pour l'est de la zone de la Convention de la CPPN. La base de données du CIEM contient environ 15 000 enregistrements de taxons indicateurs des EMV qui ont été regroupés à partir de

diverses sources. Bien qu'il existe un nombre tout aussi élevé d'enregistrements dans les eaux nationales canadiennes de l'océan Pacifique Nord, les données sur les taxons de coraux et d'éponges dans les eaux internationales sont limitées. De plus, il n'y a pas actuellement de groupe d'experts consensuel ou de rubrique de notation pour entreprendre une évaluation similaire selon plusieurs critères.

La méthode de recensement des EMV qui convient le mieux pour l'est de la zone de la Convention de la CPPN est actuellement l'approche fondée sur la complexité structurelle décrite dans Rowden *et al.* (2020), car elle peut être appliquée à l'aide du seul ensemble de données annotées du relevé visuel de Curtis et ses collaborateurs (2015). Avec cette approche et les données du relevé visuel du mont sous-marin Cobb, nous pouvons calculer un seuil régional de densité des EMV et utiliser la modélisation de la densité pour élaborer des prévisions de l'emplacement des EMV potentiels. Reprenant le cadre de la CPPN pour le recensement des EMV (NPFC 2023a; NPFC 2023b) et la méthode du seuil des taxons indicateurs des EMV de Rowden *et al.* (2020), Warawa et ses collaborateurs (2023a) utilisent les données visuelles limitées disponibles sur le mont sous-marin Cobb pour localiser les EMV. Warawa et ses collaborateurs (2023b) proposent ensuite d'utiliser la méthode décrite dans Rowden *et al.* (2020) pour appliquer un seuil régional de densité des indicateurs des EMV combiné à la densité des taxons indicateurs des EMV modélisée pour prédire l'emplacement des EMV potentiels sur la chaîne des monts sous-marins Cobb-Eickelberg.

1.4. CADRE DE RECENSEMENT DES EMV DANS LA ZONE DE LA CONVENTION DE LA CPPN

Nous avons adapté les méthodes élaborées par Rowden et ses collaborateurs (2020) à l'est de la zone de la Convention de la CPPN (figure 2), avec des modifications mineures, afin de vérifier qu'elles sont écologiquement appropriées et qu'elles respectent les normes scientifiques, le plan de recherche et les mesures de conservation et de gestion de la CPPN. Tout d'abord, Rowden et ses collaborateurs (2020) ont posé l'hypothèse que les seuils utilisés pour recenser les EMV varieraient probablement d'une région à l'autre. Nous avons donc utilisé nos données de relevé pour élaborer un seuil régional de densité des indicateurs des EMV qui soit écologiquement pertinent pour le nord-est de l'océan Pacifique. Ensuite, les taxons indicateurs des EMV sont également différents d'une organisation régionale de gestion des pêches à l'autre. Rowden et ses collaborateurs (2020) se sont concentrés sur *Solenosmilia variabilis*, une espèce de corail dur formant des récifs présente dans l'océan Pacifique Sud et inscrite comme taxon indicateur des EMV par l'Organisation régionale de gestion des pêches du Pacifique Sud. Pour notre part, dans notre application de cette approche, nous utilisons les taxons indicateurs des EMV actuellement reconnus par la CPPN qui, en date de janvier 2024, comptaient quatre groupes de niveau supérieur de coraux d'eaux froides présents dans le nord-est de l'océan Pacifique : les *Alcyonacea* (coraux mous autrefois non classés parmi les gorgones), les *Antipatharia* (coraux noirs), les *Gorgonacea* (coraux autrefois classés parmi les gorgones) et les *Scleractinia* (coraux durs), ainsi que deux classes d'éponges : les *Demospongiae* (démospouges) et les *Hexactinellida* (éponges siliceuses) (NPFC-SC 2022a; NPFC-COM 2023). Enfin, nous avons intégré les mesures de conservation et de gestion de la CPPN, qui font la distinction entre le recensement des zones qui sont des EMV et celui des zones qui sont des EMV potentiels. Dans la zone de la Convention de la CPPN, les EMV observés sont recensés à l'aide de données visuelles et, pour les zones pour lesquelles on ne dispose pas de données visuelles actuellement, on recense les EMV potentiels par modélisation ou selon d'autres approches (voir l'annexe 2.3 des documents NPFC 2023a et NPFC 2023b). Les EMV potentiels deviennent alors des zones hautement prioritaires pour les relevés visuels afin de prédire la réalité de terrain. Nous adaptons ainsi les étapes 2 et 3 de

l'approche de Rowden et ses collaborateurs (2020) en fonction des EMV ou des EMV potentiels que nous avons localisés et des données utilisées (voir la figure 4).

La CPPN a approuvé cette méthode pour recenser les EMV (NPFC-COM 2023). Notre approche générale et notre adaptation de la méthodologie de Rowden et ses collaborateurs (2020) dans l'est de la zone de la Convention de la CPPN à l'aide des données visuelles recueillies sur le mont sous-marin Cobb sont décrites dans Warawa *et al.* (2021, 2022, 2023a). Les membres et les observateurs de la CPPN ont examiné l'adaptation de cette méthode par le Canada lors des réunions du Small Scientific Committee on Bottom Fish and Marine Ecosystem (comité scientifique restreint sur les poissons de fond et les écosystèmes marins; SSC BF-ME) en 2021 (NPFC-SSC BFME 2021) et 2022 (NPFC-SSC BFME 2022), laquelle a été approuvée par le Comité scientifique de la CPPN (NPFC-SC 2022a), puis adoptée par la Commission en mars 2023 (NPFC-COM 2023). Ce comité et le Comité scientifique du CPPN ont également approuvé la méthodologie du Canada pour prédire la répartition des EMV potentiels sur la chaîne de monts sous-marins Cobb-Eickelberg (NPFC-SSC BFME 2023; NPFC-SC 2023).

1.5. OBJECTIFS

Les objectifs du présent document de recherche sont les suivants :

1. Recenser les zones qui sont des EMV sur la chaîne de monts sous-marins Cobb-Eickelberg.
2. Examiner la méthodologie qui pourrait être utilisée pour déterminer les zones qui sont des EMV potentiels dans la zone de la Convention de la CPPN.
3. Produire un avis sur l'emplacement des EMV et des EMV potentiels sur la chaîne de monts sous-marins Cobb-Eickelberg.
4. Cerner les incertitudes dans les données et la méthodologie utilisées pour recenser les EMV potentiels.

2. MÉTHODES ET APPLICATION

2.1. ZONE D'ÉTUDE

Notre zone d'étude, c'est-à-dire la chaîne de monts sous-marins Cobb-Eickelberg, se trouve dans la partie est de la zone de la Convention de la CPPN, juste à l'extérieur de la zone économique exclusive (ZEE) du Canada, à environ 450 km au large de l'île de Vancouver (figure 5). Cette chaîne de monts sous-marins comprend 11 monts nommés et une dorsale (la dorsale Eickelberg), le sommet du mont sous-marin Cobb étant le moins profond à 24 m (Parker et Tunnicliffe 1994). La pêche commerciale canadienne de la morue charbonnière est pratiquée dans la région depuis les années 1980, principalement à la longue ligne de fond ou aux lignes munies d'hameçons. De 2006 à 2020, cette pêche a posé ses engins à une profondeur médiane de 727 m ($n = 1263$). Les 25^e et 75^e centiles de la profondeur étaient de 621 m et 822 m, respectivement. La pêche canadienne de la morue charbonnière est actuellement la seule exploitée dans l'est de la zone de la Convention de la CPPN.

2.2. DONNÉES

Dans nos analyses, nous avons utilisé les données annotées recueillies durant un relevé scientifique réalisé en 2012 pour caractériser la structure de la communauté benthique sur le mont sous-marin Cobb à l'aide d'un véhicule sous-marin autonome (VSA; Curtis *et al.* 2015; voir

les transects sur la figure 3). L'ensemble de données entièrement annotées de photos du VSA de la NOAA comprenait des données sur au moins 56 morphotypes ou espèces, dont 12 étaient des taxons structurants de coraux et d'éponges indicateurs des EMV et trois étaient des coraux non structurants (tableau 1). Les démosponges figuraient sur la liste des taxons indicateurs des EMV de la CPPN en janvier 2024, mais une seule démosponge verticale a été observée sur les quatre transects du VSA; les autres étaient des éponges incrustantes. Il y avait au moins 14 morphotypes sédentaires associés à des taxons structurants indicateurs des EMV (tableau 2), notamment des pennatulace, des hydrocoraux, des coraux non structurants et des éponges incrustantes. Bien que les Pennatulacea (pennatulace) puissent apporter une complexité structurelle aux habitats, ils n'ont pas été approuvés par la Commission du CPPN en tant que taxons indicateurs des EMV avant avril 2024. L'ensemble de données annotées du VSA de la NOAA comprenait au moins 30 espèces mobiles associées à des taxons structurants indicateurs des EMV reconnus par la CPPN, y compris des crinoïdes, des nudibranches, des étoiles de mer, des holothuries, des crabes, des galathées, des poissons, des requins et une espèce de pieuvre (tableau 3).

2.3. RECENSEMENT DES EMV

Les étapes que nous utilisons pour recenser les EMV et les EMV potentiels dans l'est de la zone de la Convention de la CPPN sont décrites à la figure 4. Chacune de ces étapes est détaillée ci-après.

2.3.1. Étape 1 : Déterminer un seuil régional de densité

D'après l'approche théorique de Rowden et ses collaborateurs (2020) et l'affirmation selon laquelle la densité des taxons indicateurs dans les EMV différera selon la région, nous avons adapté leur méthode pour calculer un seuil de densité des indicateurs des EMV par région pour notre zone d'étude dans l'est de la zone de la Convention de la CPPN. La figure 4 illustre l'étape 1 de l'application par le Canada de la méthodologie adoptée par la CPPN pour recenser les EMV et les EMV potentiels (voir Warawa *et al.* 2022; NPFC-SC 2022a; NPFC-COM 2023).

2.3.1.1. Modéliser la densité des taxons indicateurs des EMV et la richesse en espèces associées

Pour calculer un seuil régional de densité des indicateurs des EMV dans le nord-est du Pacifique, nous avons commencé par tracer la richesse en espèces de taxons épifauniques par rapport à la densité des taxons indicateurs des EMV selon la CPPN. Ces données proviennent de l'ensemble de données entièrement annotées du VSA créé par la NOAA (Curtis *et al.* 2015). Cet ensemble de données se compose de données extraites de 2 614 photos prises par le VSA à partir de quatre transects d'une longueur moyenne de 1 805 m, à une profondeur de 435 à 1 154 m (figure 3). Les taxons discernables, y compris les coraux, les éponges, d'autres invertébrés (mais pas les ophiures ou les escargots) et les poissons ont été identifiés et dénombrés (Curtis *et al.* 2015; Du Preez *et al.* 2015). Nous avons limité notre recensement des EMV et des EMV potentiels aux annotations photographiques du VSA, qui sont l'ensemble de données le plus complet et le plus pertinent des deux recueillis par Curtis et ses collaborateurs (2015).

Dans l'ensemble, la NOAA a identifié 25 taxons sédentaires et 31 taxons mobiles. Il y avait des espèces sédentaires de trois des taxons indicateurs des EMV reconnus par la CPPN : les gorgones, les coraux noirs et les éponges siliceuses (voir le tableau 1). Ces taxons n'ont pas été comptés comme espèces associées. Les taxons sédentaires associés étaient des anémones de mer, des hydrocoraux et des Pennatulaceans (voir le tableau 2), que la CPPN a récemment approuvés, en avril 2024, en tant que taxons indicateurs des EMV. Les taxons

mobiles associés identifiés par la NOAA étaient un nudibranche, un crinoïde, huit étoiles de mer, quatre holothuries, quatre crabes, des galathées, des pieuvres, dix espèces de poissons et un requin (voir le tableau 3).

Pour traiter les données annotées du VSA aux fins de notre analyse, nous avons divisé les transects en segments normalisés de 50 m² en regroupant les photos adjacentes jusqu'à obtenir une superficie combinée de 50 m². Selon Rowden et ses collaborateurs (2020), les observations faites à des échelles spatiales comprises entre 25 m² et 50 m² donnent des estimations de densité plus stables et plus fiables, car elles sont plus susceptibles de saisir des parcelles entières de récifs coralliens. Bien que les taxons indicateurs des EMV dans notre région d'étude ne forment pas de récifs, nous avons utilisé cette même taille de parcelle afin que les études soient comparables. Nous avons traité chaque section de 50 m² comme l'unité minimale à recenser comme un EMV, et combiné les segments adjacents qui répondent à notre définition d'un EMV dans une plus grande zone d'EMV. La surface couverte par chaque photo variait en fonction de la distance entre le VSA et le fond marin lorsque la photo a été prise. Nous avons omis les segments de transect de notre analyse s'ils étaient 10 % plus petits ou plus grands que notre surface cible (50 m²) afin d'éviter une grande variation de la taille finale des segments. Nous avons ainsi éliminé 5,6 % (13 sur un total de 234) des segments de transect de 50 m². Pour chaque groupe de segments de transect de 50 m², nous disposons de 5 à 12 photos du VSA, selon la surface couverte par chaque photo du groupe.

Dans chaque segment de transect, nous avons additionné le nombre total de taxons indicateurs des EMV reconnus par la CPPN, puis l'avons divisé par la superficie pour obtenir la densité des individus des taxons indicateurs des EMV (p. ex. des colonies de coraux ou des éponges individuelles) par mètre carré. Étant donné que notre méthode est fondée sur l'hypothèse que les taxons indicateurs des EMV fournissent un habitat structurellement complexe, nous avons filtré les taxons indicateurs des EMV inclus dans le calcul du seuil afin d'exclure ceux qui ne contribuent pas à la formation de zones structurellement complexes (voir le tableau 1). Notre critère pour les taxons qui contribuent à la formation d'un habitat structurellement complexe est qu'il est connu pour dépasser 10 cm de hauteur dans notre zone d'étude. En conséquence, trois taxons ont été exclus de notre ensemble de données et de nos analyses de la densité des taxons indicateurs des EMV : *Gersemia* spp. (coraux mous), *Heteropolypus ritteri* (corail mou) et *Desmophyllum dianthus* (corail dur). En raison des données visuelles limitées disponibles, nous avons combiné tous les groupes d'indicateurs des EMV structurellement complexes conservés pour calculer un seul seuil régional de densité des EMV. Des seuils propres à une espèce ou à un taxon peuvent exister, mais nous n'avons pas suffisamment de données pour les calculer du fait de notre ensemble de données visuelles limitées.

Nous avons calculé la densité des taxons indicateurs des EMV structurellement complexes pour $n = 221$ segments des transects du VSA sur le mont sous-marin Cobb. Le nombre d'espèces associées (richesse) variait de 2 à 16 par segment de transect de 50 m², avec une moyenne de 7,4 (ET = 2,5). La densité des indicateurs des EMV allait de 0 à 1,16 individu par mètre carré, avec une moyenne de 0,15 individu (ET = 0,19).

Nous avons utilisé des modèles additifs généralisés (MAG) ajustant la richesse en espèces de tous les taxons épifauniques discernables identifiés par la NOAA sur les quatre transects du VSA dans Curtis *et al.* (2015), à l'exception des indicateurs des EMV reconnus par la CPPN (désormais la richesse en espèces associée et une variable dépendante) à la densité des indicateurs de densité des EMV reconnus par la CPPN (variable indépendante) pour estimer le seuil de densité des EMV comme dans Rowden *et al.* (2020). Le MAG final a été choisi en fonction de la note la plus faible du critère d'information d'Akaike (CIA). Les MAG ont été ajustés à l'aide d'une distribution gaussienne et d'une fonction de lien identité.

La profondeur et le transect du VSA ont été considérés comme des variables explicatives dans le choix du MAG. Nous avons inclus la profondeur en tant que variable prédictive pour tenir compte des différences dans la diversité taxonomique provenant uniquement des changements de profondeur (p. ex. diminutions de la diversité globale à des profondeurs plus grandes, comme l'ont observé d'autres études et méta-analyses (Costello et Chaudhary 2017; Davies et Guinotte 2011; Georgian *et al.* 2014). Le transect a été inclus comme effet aléatoire dans le modèle pour intégrer la dépendance potentielle des observations tirées du même transect (voir la figure 4). Aucune autre variable explicative n'a été prise en compte, mais l'information sur le type dominant de substrat aurait pu améliorer l'ajustement du modèle.

Nous avons évalué le nombre de fonctions de base ou de points d'inflexion dans les termes lisses (k) pour vérifier que les choix de dimension étaient adéquats. L'exactitude du modèle a été estimée à l'aide des valeurs ajustées de R^2 et l'ajustement du modèle a été comparé à l'aide de la note du CIA. L'évaluation de l'ajustement du MAG a montré que le modèle fonctionnait bien (figure A1) avec une valeur ajustée de R^2 de 0,46 (tableau 4).

L'effet de la densité des indicateurs des EMV sur la richesse en espèces associées n'est pas notable avec une valeur de p de 0,14. Nous soulignons cependant que la valeur de p associée à des variables indépendantes dans un MAG n'est qu'approximative et n'a pas la même interprétation que dans un modèle linéaire. Il faut utiliser plusieurs critères pour évaluer l'ajustement du modèle (voir Wood 2017). Nous avons évalué l'ajustement du MAG en comparant le maximum de vraisemblance restreinte (ou REML), le critère d'information d'Akaike (CIA) et la déviance expliquée avec et sans la variable. Lorsque nous comparons ce MAG à 1 sans cette variable, le CIA diminue de 919,58 à 917,95, mais le REML augmente de 463,85 à 464,74 et la déviance du modèle expliquée diminue de 48,6 % à 47,8 %. La densité des indicateurs des EMV est également la principale variable explicative d'intérêt dans cette étude et a donc été conservée dans le MAG.

La formule finale du modèle est illustrée ci-dessous (voir les diagrammes des effets marginaux à la figure A2), où $bs='re'$ indique la variable traitée comme un effet aléatoire et s indique un lissage par spline cubique :

Richesse en espèces ~ $s(\text{densité des indicateurs des EMV}) + s(\text{profondeur}) + s(\text{transect}, bs = 're')$

2.3.1.2. Calculer le seuil

Nous avons calculé le seuil de densité des indicateurs des EMV dans le MAG en utilisant les quatre méthodes décrites dans Rowden *et al.* (2020) et la moyenne comme valeur finale du seuil. Les quatre méthodes en question sont les suivantes :

1. le point d'intersection des régressions linéaires en utilisant les premiers 5 % et les derniers 5 % des données,
2. le point d'intersection entre une régression linéaire en utilisant les premiers 5 % des données et la valeur cumulative maximale de la richesse en espèces,
3. le point de la courbe le plus proche de l'angle supérieur droit (0,1)
4. le point de la courbe qui maximise la distance entre la courbe et la ligne entre les points extrêmes (indice de Youden).

Une explication visuelle de ces quatre méthodes est présentée sur la figure S2 dans Rowden *et al.* (2020) et les graphiques de leur application à l'aide de nos données, sur la figure 6.

Le seuil final de densité régionale moyenne des indicateurs des EMV dans le nord-est du Pacifique est de 0,6 individu des taxons indicateurs des EMV par mètre carré (ET = 0,1, IC à 95 % inférieur = 0,5 et IC supérieur à 95 % = 0,7; tableau 5).

2.3.2. Étape 2 : Calculer la densité des taxons des EMV à partir des données visuelles

Nous calculons la densité des taxons indicateurs des EMV sur les quatre transects du VSA comme décrit précédemment à la section 2.3.1(a). Un seul ensemble de données visuelles est actuellement disponible dans notre zone d'étude; nous l'avons donc utilisé pour calculer le seuil régional de densité des indicateurs des EMV et pour recenser les EMV.

2.3.3. Étape 3 : Appliquer le seuil régional de densité des EMV

Nous utilisons les valeurs de la densité des indicateurs des EMV dans chaque segment de transect de 50 m² et le seuil estimé à l'étape 1 pour recenser les EMV le long des quatre transects du VSA sur le mont sous-marin Cobb. Nous avons localisé les EMV comme des segments de transects où les densités de taxons indicateurs des EMV étaient égales ou supérieures à notre seuil régional de densité des EMV (0,6 individu m⁻²). Nous avons regroupé les segments de transect adjacents qui étaient au-dessus de ce seuil et considéré qu'ils formaient un seul EMV.

Ces méthodes nous ont permis de repérer cinq zones d'EMV sur le mont sous-marin Cobb, composées de 1 à 4 segments de transects adjacents (tableau 6). La taille des EMV variait d'environ 50 à 200 m² et en profondeur, d'environ 500 à 1 150 m. Des EMV ont été recensés sur deux des quatre transects du VSA sur le mont sous-marin Cobb (figure 7). Les EMV plus grands se trouvaient dans les zones les plus profondes du transect 4. Les EMV du transect 4 comprenaient 290 gorgones, 45 coraux noirs et 13 éponges siliceuses individuelles; ceux du transect 2 abritaient 30 colonies de coraux noirs et seulement une gorgone et une éponge siliceuse. La superficie totale évaluée pour les EMV à l'aide des données du VSA dans cette étude était de 0,011 km² et la superficie totale déterminée comme EMV était de 0,0005 km².

2.4. RECENSEMENT DES EMV POTENTIELS

Nous recensons les EMV potentiels sur les monts sous-marins à l'intérieur de notre plage de profondeurs de modélisation selon la même approche de modélisation prédictive que celle utilisée par Rowden et ses collaborateurs (2020) pour prédire l'emplacement des EMV (voir la figure 4 et la section 1.2.3).

2.4.1. Étape 1 : Déterminer un seuil régional de densité

Nous reprenons le même seuil régional de densité des indicateurs des EMV, de 0,6 taxon indicateur par mètre carré, qui a été défini et utilisé pour recenser les EMV sur le mont sous-marin Cobb (voir la section 2.3.1).

2.4.2. Étape 2 : Modèles prédictifs de la densité des indicateurs des EMV

2.4.2.1. Données dépendantes

Nous utilisons les densités combinées des taxons indicateurs des EMV de segments de transects de 50 m² (n = 221, Warawa *et al.* 2023a) tirées des données du VSA pour le relevé des monts sous-marins Cobb de 2012 (Curtis *et al.* 2015) comme données dépendantes dans les modèles de densité des EMV potentiels sur la chaîne de monts sous-marins Cobb-Eickelberg. Les abondances des densités de taxons structurants indicateurs des EMV

reconnus par la CPPN ont été additionnées. Cette approche suppose que les variables environnementales mesurées le long des quatre transects du VSA sur le mont sous-marin Cobb (voir Warawa *et al.* 2023a) influencent la densité des indicateurs des EMV et étaient représentatives des conditions environnementales associées aux densités des indicateurs des EMV sur toute la chaîne de monts sous-marins Cobb-Eickelberg. Notre approche présume également que le mont sous-marin Cobb est représentatif des autres monts de cette chaîne.

Nous avons créé des ensembles de données d'entraînement et de test à partir des segments de transects du VSA en les regroupant en cinq plis à peu près égaux pour la validation croisée (44 ou 45 segments dans chaque pli). Les plis ont été regroupés spatialement le long de chaque transect afin de réduire la quantité d'autocorrélation spatiale entre les données d'entraînement et de test (figure B1).

2.4.2.2. Données environnementales

Nos données indépendantes étaient des variables environnementales dont la corrélation avec la répartition et la densité des coraux et des éponges est connue ou présumée. Nous avons pris en compte les couches matricielles environnementales suivantes décrites dans Chu *et al.* (2019) pour modéliser la densité des indicateurs des EMV sur la base des connaissances préalables des conditions environnementales qui influencent fortement la densité et la répartition des coraux et des éponges : profondeur, calcite, oxygène dissous, pourcentage de carbone organique, esticité, nordicité, silicate, pente, température au fond, indice de position topographique (TPI) à des échelles spatiales de 1 000, 500, et 100 mètres, et température de la surface de la mer. Nous avons considéré l'esticité et la nordicité comme des substituts pour d'autres variables qui n'étaient pas disponibles ou qui n'étaient pas bien résolues sur les monts de la chaîne Cobb-Eickelberg, comme la vitesse du courant et la contrainte de cisaillement. Les couches matricielles environnementales étaient des couches du World Ocean Atlas (Boyer *et al.* 2018) réduites à 100 m x 100 m. La couche bathymétrique était composée des données de la mosaïque multifaisceau de la NOAA présentées en mosaïque avec le modèle altimétrique numérique (MAN) de la NOAA pour combler les lacunes dans les données si nécessaire. La couche bathymétrique a servi à dériver les couches de terrain, y compris la pente, la nordicité, l'esticité et le TPI. Nous avons extrait les covariables du modèle à partir des couches matricielles environnementales aux emplacements des centroïdes des segments du VSA à l'aide du progiciel terra en R (Hijmans 2022). Nous avons vérifié la colinéarité élevée entre les covariables du modèle à l'aide des corrélations de Pearson et du facteur d'inflation de la variance (VIF) avec le progiciel *usdm* en R (Naimi *et al.* 2014). Nous avons retiré les covariables du silicate, de la température au fond, de la calcite, de la température de la surface de la mer, du TPI 100 et du TPI 1000 pour limiter les valeurs du VIF à moins de 10.

2.4.2.3. Ajustement et sélection du modèle

Nous avons ajusté un modèle additif généralisé (MAG) à l'aide du progiciel *mgcv* en R (Wood 2011). Nous avons modélisé la densité des taxons indicateurs des EMV en utilisant la distribution de Tweedie avec une fonction de lien logarithmique, en définissant le paramètre de puissance p à 1,5. Le paramètre de puissance a été ajusté au modèle et choisi en fonction de la valeur la plus faible du CIA. Sa valeur peut varier entre 1 et 2, où 1 représenterait une distribution de Poisson et 2 représenterait une distribution gamma. Une valeur de 1,5 de p représente la distribution composée standard de Poisson (appelée gamma non centrale) et peut être exprimée comme le mélange d'une fonction de densité de Poisson avec une fonction gamma incomplète (de Oliveira *et al.* 2013). Nous avons limité la complexité en modélisant toutes les covariables à l'aide d'une dimension de base faible ($k = 3$) pour éviter les courbes de réponse biologiquement irréalistes.

Nous avons effectué une sélection de modèle à l'envers, en commençant par le modèle complet et en supprimant les covariables en fonction du rendement prédictif hors échantillon du modèle et des courbes de réponse marginales. Nous avons privilégié les modèles ayant une valeur plus élevée de R^2 calculée en comparant les observations de test et les prédictions. Nous avons calculé les courbes de réponse marginales en suivant la méthode de la bande d'évaluation (Elith *et al.* 2005). Pour choisir le modèle, nous avons retiré les covariables de l'oxygène dissous, du pourcentage de carbone organique, de l'esticité et du TPI 500. La structure finale du modèle comprenait uniquement les covariables de la profondeur, de la nordicité et de la pente pour donner la formule finale du modèle (s indique un lissage par spline cubique) :

$$\text{Densité des indicateurs des EMV} \sim s(\text{profondeur}) + s(\text{nordicité}) + s(\text{pente})$$

Nous avons validé le modèle à l'aide de la fonction `gam.check` du progiciel *mgcv* en R pour examiner les résidus. Les courbes de résidus ont confirmé les hypothèses du modèle (figure B2). Les graphiques des effets marginaux ont fait apparaître une relation positive de la densité des EMV avec la profondeur et la nordicité, et une relation négative avec la pente (figure B3).

La densité des EMV a été prédite avec une résolution de 100 par 100 m². Les prévisions ont été limitées aux zones situées entre 400 m et 1 200 m de profondeur afin d'éviter d'extrapoler au-delà de la tranche d'eau des observations de la densité des EMV (données dépendantes, figures 8 et 9). Le pic des monts sous-marins Anger, Sloth, Lust et Gluttony se trouve en dessous de 1 200 m de profondeur; nous n'avons donc pas modélisé la densité des EMV et recensé les EMV potentiels sur ces monts.

2.4.2.4. Évaluation du modèle

Pour chaque modèle de validation croisée (VC), nous avons établi des prédictions aux emplacements des données de test (« hold-out »). Nous avons regroupé les prédictions de test des modèles de VC pour calculer R^2 en tant que corrélation de Pearson au carré entre toutes les observations de test et les prévisions de test. Nous avons choisi de regrouper les prédictions de test pour calculer une seule valeur de R^2 en raison de la petite taille de notre échantillon et de la grande proportion d'observations nulles dans un pli. La valeur de R^2 était de 0,51 pour les données d'entraînement et de 0,44 pour les données de test. L'erreur type de l'estimation du modèle a été tirée du progiciel *terra* en R, et variait de 0,00078 à 0,42 (figure 10).

2.4.3. Étape 3 : Appliquer le seuil régional de densité des EMV

Nous avons converti les prédictions de la densité des taxons indicateurs des EMV en prédictions binaires des zones de présence et d'absence d'EMV potentiels en utilisant le seuil régional de densité des indicateurs des EMV de 0,6 individu des taxons indicateurs par mètre carré décrit à la section 2.3. Nous avons appliqué le seuil moyen (0,6 individu des taxons indicateurs par mètre carré) et le seuil de l'intervalle de confiance à 95 % inférieur (0,5 individu des taxons indicateurs par mètre carré) et supérieur (0,7 individu des taxons indicateurs par mètre carré) pour obtenir les limites inférieure et supérieure des prévisions de la zone des EMV potentiels dans la région (figure 9).

Des EMV potentiels ont été recensés sur tous les monts sous-marins de la zone d'étude de l'analyse. La superficie totale des EMV potentiels déterminée, par mont sous-marin, variait de 2,11 km² à 27,55 km² (tableau 7). La plus grande superficie d'EMV potentiels se trouve sur le mont sous-marin Cobb (27,55 km²). Les plus petites superficies totales d'EMV potentiels ont été recensées sur les monts sous-marins Eickelberg, Hoh et Pipe, à environ 2 km² sur chacun.

Dans la tranche d'eau de 400 à 1 200 m, c'est sur le mont sous-marin Hoh, la dorsale Eickelberg et le mont sous-marin Brown Bear nord que nous avons relevé la plus grande proportion de superficie déterminée comme étant des EMV potentiels. La superficie totale des EMV potentiels déterminée sur toute la chaîne de monts sous-marins est de 99 km², soit environ 10 % de la superficie des monts sous-marins dans la tranche d'eau de 400 à 1 200 m (voir la figure 5).

3. DISCUSSION

3.1. ZONES QUI SONT DES EMV SUR LA CHAÎNE DE MONTs SOUS-MARINS COBB-EICKELBERG

Nous recensons cinq zones comme des EMV sur le mont sous-marin Cobb, d'une taille variant d'environ 50 m² à 200 m² pour une superficie totale combinée de 508 m², en appliquant une méthode fondée sur le critère de la complexité structurelle pour les EMV de la FAO, décrite dans Rowden *et al.* (2020) (voir la figure 7). Une très petite partie de la superficie totale des monts sous-marins dans l'est de la zone de la Convention de la CPPN a été évaluée pour détecter la présence d'EMV en raison de la quantité limitée des données visuelles actuellement disponibles, ce qui signifie que d'autres zones d'EMV n'ont probablement pas été détectées.

Nous sommes limités à un seul ensemble de données visuelles actuellement disponible dans notre zone d'étude et avons donc dû utiliser les mêmes valeurs de la densité des taxons indicateurs des EMV pour définir le seuil régional de densité des EMV (étape 1) et pour calculer la densité à partir des données visuelles auxquelles le seuil est appliqué (étape 2).

Bien que les directives de la FAO pour le recensement des EMV (FAO 2009) citent les monts sous-marins comme exemples d'entités géographiques qui pourraient soutenir des EMV (annexe de la FAO 2009), il n'y a pas de ligne directrice sur la mesure spatiale dans laquelle les EMV devraient être recensés. Certains pensent que la fourchette naturelle de la taille des parcelles d'EMV dépend des taxons dominants et de l'emplacement (Baco *et al.* 2023). La taille minimale d'un EMV dans notre étude a été limitée par les segments de transect de 50 m² sur lesquels nous avons calculé la densité de taxons des EMV. Dans certains cas, cependant, les segments de transects adjacents répondaient à notre critère d'un EMV et ont été regroupés en tailles de parcelles d'EMV maximales d'environ 200 m².

À partir du même ensemble de données du mont sous-marin Cobb, Du Preez et ses collaborateurs (2020) ont calculé la densité des taxons indicateurs des EMV et catégorisé la densité des EMV à l'aide des seuils suivants : pas d'indicateurs des EMV (0 m⁻²), indicateurs épars des EMV (>0 et <1 m⁻²) et indicateurs denses des EMV (>1 m⁻²). Avec cette définition, ils ont trouvé des indicateurs denses des EMV sur seulement 11,4 % du transect 4 du VSA. Cela correspond à nos résultats : en utilisant un seuil quantitativement dérivé, nous avons également déterminé que la zone contenant le plus d'EMV se trouvait sur le transect 4 du VSA. Ce transect plus profond abritait la plus grande abondance de coraux gorgones, de coraux noirs et d'éponges siliceuses individuelles. Étant donné que notre seuil de densité des EMV est légèrement inférieur à celui utilisé dans Du Preez *et al.* (2020) pour distinguer les zones où les indicateurs des EMV sont clairsemés et denses, nous avons également recensé un EVM sur le transect 2, que Du Preez et ses collaborateurs (2020) décrivent comme contenant soit des indicateurs clairsemés, soit aucun indicateur des EMV.

Du Preez et ses collaborateurs (2020) soulignent également que le mont sous-marin Cobb a été soumis à un demi-siècle de pêche avec des engins entrant en contact avec le fond. La pêche historique sur la chaîne de monts sous-marins a sans aucun doute eu des effets sur la répartition et l'abondance des taxons structurants indicateurs des EMV, qui ont une faible

résilience aux engins de chalutage par le fond (Rowden *et al.* 2010). Ainsi, les pêches ont pu influencer le calcul de notre seuil de densité des indicateurs des EMV, ainsi que les prédictions de l'emplacement des EMV potentiels.

Les répercussions liées à la pêche ont pu avoir une incidence sur notre calcul d'un seuil de densité des indicateurs des EMV, puisque les dommages causés à certains des indicateurs reconnus par la CPPN ou leur perte réduiraient le nombre de points de données à des densités plus élevées dans le graphique que nous avons utilisé pour calculer le seuil. Il y aurait alors moins de segments de transects du VSA recensés comme des EMV là où les répercussions liées à la pêche ont causé le plus de dommages. Et par conséquent, l'espace de niche environnementale utilisé pour prédire l'emplacement des EMV potentiels pourrait être plus petit. Si tel est le cas, la répartition des EMV potentiels pourrait très bien être plus vaste sur la chaîne de monts sous-marins que celle que nous avons prédite avec notre MAG.

3.2. MÉTHODOLOGIE UTILISÉE POUR RECENSER LES ZONES QUI SONT DES EMV POTENTIELS

La méthode que nous avons utilisée pour recenser les zones qui sont des EMV potentiels repose sur la complexité structurelle (voir Rowden *et al.* 2020), qui est l'un des cinq critères des EMV de la FAO (FAO 2009). Dans la région de l'Organisation régionale de gestion des pêches du Pacifique Sud, les coraux sont les taxons structurants dominants. Cependant, bien que nous ayons été en mesure de modéliser la relation entre la richesse en espèces et la densité des taxons indicateurs des EMV pour notre région, nos résultats montrent que d'autres facteurs influencent probablement la richesse en espèces. En effet, une combinaison de la densité des indicateurs des EMV, de la profondeur et du transect n'expliquait que 48,6 % de la déviance du modèle (tableau 4). Par exemple, le type de substrat peut également contribuer à la structure et à l'habitat des espèces, ainsi que d'autres taxons non reconnus en janvier 2024 par la CPPN comme taxons indicateurs des EMV (p. ex. pennatulés et Stylasteridae). De plus, le bruit autour de notre modèle ajusté, y compris une plus grande richesse en espèces à des densités plus faibles de taxons indicateurs des EMV, peut être un artefact de notre petit ensemble de données.

Nous soulignons également que cette approche suppose que les répartitions des coraux et des éponges structurants sont similaires entre les différents monts sous-marins, mais une incertitude entoure l'hypothèse selon laquelle les monts sont similaires sur la chaîne de monts sous-marins Cobb-Eickelberg. Le mont sous-marin Cobb, où les EMV ont été recensés et utilisés pour prédire l'emplacement des EMV potentiels sur toute la chaîne, est un mont sous-marin inhabituel. Plus précisément, il se distingue parmi environ 100 monts sous-marins du nord-est de l'océan Pacifique comme une caractéristique inhabituelle et d'importance biologique, car il s'étend de la plaine abyssale à près de 3 000 m de profondeur jusqu'à largement dans la zone photique et soutient des communautés d'organismes productives, diversifiées et peu communes (Birkeland 1971; Dower *et al.* 1992; Parker et Tunnicliffe 1994). Cependant, Lundsén et ses collaborateurs (2009a) n'ont trouvé aucune preuve d'endémisme chez les espèces de trois monts sous-marins plus au sud dans le nord-est de l'océan Pacifique et ils ont constaté dans (2009b) que les taxons étaient similaires à des profondeurs similaires. Néanmoins, cette incertitude souligne l'importance pour les gestionnaires d'adopter une approche de précaution pour prévenir les effets négatifs importants causés aux EMV et aux EMV potentiels.

Relativement peu d'études ont tenté de calculer un seuil de qualité ou d'abondance de l'habitat qui qualifie un site en tant qu'EMV, ce qui rend particulièrement difficile la gestion spatiale efficace des EMV à partir des résultats de la modélisation. Comme nous l'avons mentionné précédemment, nos données étaient trop limitées pour calculer des seuils propres aux taxons.

Cependant, nous pensons que les seuils propres aux taxons dans notre région seraient plus bas, et plus similaires au seuil déterminé dans Rowden *et al.* (2020), que le seuil de 0,6 individu m⁻² calculé avec les données des six taxons des EMV reconnus par la CPPN regroupés, parce que les taxons indicateurs des EMV dans nos données visuelles ont tendance à se trouver au même endroit et à partager un habitat.

L'utilisation de modèles de densité dans nos méthodes de recensement des EMV potentiels suit les lignes directrices actuelles pour rendre les modèles de distribution pertinents et utiles pour la gestion des EMV. Beaucoup d'efforts ont été déployés pour recenser les EMV en élaborant une modélisation de la répartition des espèces de taxons indicateurs des EMV (p. ex. Baco *et al.* 2020; Burgos *et al.* 2020; Chu *et al.* 2019; Georgian *et al.* 2019). Les modèles de répartition des espèces jouent un rôle important dans l'orientation d'autres relevés scientifiques, mais on peut relever une tendance à utiliser des modèles fondés sur l'abondance ou la densité dans la documentation, en particulier en raison de leur utilité pour étayer les décisions de gestion (Howard *et al.* 2014; Dallas et Hastings 2018; Gonzalez-Mirelis *et al.* 2021; Gros *et al.* 2022). Par exemple, Gonzalez-Mirelis et ses collaborateurs (2021) comparent un modèle fondé sur la densité à un modèle fondé sur la présence ou l'absence d'éponges des eaux profondes formant des habitats. Ils constatent que la modélisation fondée sur la densité est meilleure pour détecter et localiser des emplacements précis d'intérêt pour la conservation, ainsi que pour déterminer la taille et les limites des zones qui intéressent les gestionnaires.

Nous avons choisi de nous concentrer sur la complexité structurelle, car c'est l'un des critères qui peuvent être évalués quantitativement; cependant, il convient également de souligner que cette méthode ne saisit pas tous les EMV potentiels qui peuvent être recensés en fonction des quatre autres critères des EMV de la FAO. Baco et ses collaborateurs (2023) présentent un organigramme pour évaluer si les images recueillies durant les relevés visuels représentent un EMV. Leur organigramme conduit à une évaluation plus complète des zones en tant qu'EMV en utilisant un ou plusieurs des cinq critères des EMV de la FAO. La méthode décrite dans Baco *et al.* (2023) n'est ni quantitative, ni facilement reproductible, ce qui est important pour la transparence et la transférabilité (Morato *et al.* 2018; Gros *et al.* 2022). Les directives de la FAO (FAO 2009) précisent que « la simple détection de la présence d'un élément lui-même n'est pas suffisante pour recenser un EMV » (traduction; voir l'annexe de FAO 2009); c'est pourquoi nous nous sommes attachés à adapter l'approche quantitative présentée dans Rowden *et al.* (2020) pour localiser à la fois les EMV et les EMV potentiels dans l'est de la zone de la Convention de la CPPN.

Nous faisons remarquer que, même si nous ne disposons pas de données suffisantes sur les prises accessoires dans le nord-est de l'océan Pacifique pour entreprendre l'approche d'estimation de la densité par noyau (EDN) pour recenser les EMV comme dans Kenchington *et al.* (2014), nous pouvons tracer le pourcentage de variation de la superficie d'EMV observée, car nous faisons varier la valeur du seuil pour repérer les ruptures naturelles comme autre moyen de définir les seuils. Sur la figure 8, nous pouvons voir que nous obtenons le plus grand pourcentage de variation de la superficie d'EMV recensée lorsque nous augmentons le seuil de densité des indicateurs des EMV de 0,5 à 0,6 indicateur par mètre carré. Cette différence de superficie des EMV observés peut être interprétée comme une densité de seuil des taxons indicateurs des EMV qui sépare les zones de concentration élevée et les densités normales. Bien que les deux méthodes définissent par coïncidence 0,6 indicateur des EMV m⁻² comme seuil, le diagramme de l'estimation de la densité par noyau de la figure 11 est une application beaucoup plus simple de l'analyse solide de l'estimation de la densité par noyau effectuée par l'OPANO (voir Kenchington *et al.* 2014).

3.3. AVIS SUR L'EMPLACEMENT DES EMV POTENTIELS SUR LA CHAÎNE DE MONTES SOUS-MARINS COBB-EICKELBERG

Fondés sur notre modèle prédictif de densité des taxons indicateurs des EMV, nos résultats permettent de penser que des zones abritant une forte densité de taxons indicateurs des EMV pourraient être présentes sur tous les monts de la chaîne Cobb-Eickelberg. Des EMV potentiels ont été prédits sur tous les monts sous-marins de la zone d'étude après l'application de notre seuil de densité des taxons indicateurs des EMV de 0,6 individu de ces taxons par mètre carré à nos densités prévues (figure 9). La superficie totale des EMV potentiels déterminée, par mont sous-marin, variait de 2,11 km² à 27,55 km² (tableau 7). C'est sur le mont sous-marin Cobb que se trouvait la plus grande superficie totale déterminée comme étant des EMV potentiels, ainsi que le pourcentage le plus élevé de couverture de la superficie totale du mont. Les plus petites superficies totales d'EMV potentiels ont été recensées sur les monts sous-marins Eickelberg, Hoh et Pipe, à environ 2 km² sur chacun. C'est aussi sur ces monts sous-marins que sont situées les plus petites zones sur lesquelles nous avons prédit la densité des indicateurs des EMV.

Les répartitions éparées des EMV potentiels sur tous les monts sous-marins de notre zone d'étude sont comparables à d'autres études dans le nord-est de l'océan Pacifique et ailleurs. Dans des travaux similaires sur la chaîne de monts sous-marins Louisville dans le Pacifique Sud, Rowden et ses collaborateurs (2017, 2020) ont également prédit des habitats d'EMV sur les sept monts de la chaîne. Ils ont constaté que la densité des coraux était également généralement faible avec une répartition éparse. Dans l'est de la zone de la Convention de la CPPN, Chu et ses collaborateurs (2019) ont utilisé des données différentes de celles de nos analyses (c.-à-d. les enregistrements de coraux et d'éponges sur le plateau continental), de même qu'un algorithme de modèle différent (MaxEnt), un sous-ensemble de couches de données environnementales, un résultat de réponse modélisé (c.-à-d. un indice de la qualité de l'habitat allant de 0 à 1) et une approche différente pour combiner les groupes de coraux et d'éponges afin de recenser les EMV potentiels. Pourtant, Chu et ses collaborateurs (2019) ont également conclu à la présence d'EMV potentiels sur les mêmes monts sous-marins que nous. Ici, la principale différence (et amélioration) est que notre étude affine la zone d'occurrence des EMV potentiels à des zones sur les monts sous-marins (par rapport à Chu *et al.* 2019, qui se sont concentrés principalement sur les différences entre les monts sous-marins entiers). De plus, les données utilisées dans Chu et ses collaborateurs (2019) provenaient principalement des écosystèmes côtiers et du plateau continental, et l'extrapolation aux zones en haute mer a créé des incertitudes. Un MAG axé sur l'abondance est une amélioration par rapport aux modèles de présence seulement utilisés dans Chu *et al.* (2019), qui ont tendance à surestimer les zones d'habitat convenable (Vierod *et al.* 2014).

3.4. INCERTITUDES DANS LES DONNÉES ET LES MÉTHODES DE RECENSEMENT DES EMV POTENTIELS

Les principales incertitudes liées aux méthodes de recensement des EMV potentiels sont associées à la modélisation prédictive, aux limites actuelles des données et aux incertitudes issues du calcul du seuil régional de densité des indicateurs des EMV. Il faut également ajouter que le mont sous-marin Cobb n'est peut-être pas représentatif des autres monts sous-marins de la chaîne. Il y a également une pénurie de données visuelles annotées actuellement disponibles sur la chaîne de monts sous-marins Cobb-Eickelberg et les répercussions potentielles de la pêche entrant en contact avec le fond sur la répartition et l'abondance de l'épifaune. Nous reconnaissons qu'il existe des incertitudes dans cette étude, mais nous soulignons que bon nombre d'entre elles sont omniprésentes dans les études en eaux

profondes et représentent des difficultés que la communauté scientifique dans son ensemble n'a pas encore surmontées.

Comme nous l'avons indiqué précédemment, le mont sous-marin Cobb est inhabituel dans le nord-est de l'océan Pacifique, y compris sur la chaîne de monts sous-marins Cobb-Eickelberg, parce qu'il a le sommet le moins profond (24 m de profondeur, Parker et Tunnicliffe 1994) et qu'il est l'objet d'une pêche canadienne très intense de la morue charbonnière qui a pu avoir eu une incidence sur la répartition et l'abondance des taxons structurants indicateurs des EMV (Du Preez *et al.* 2020). Peu d'études ont été publiées sur la circulation océanique, la connectivité, la structure et les topographies de la chaîne de monts sous-marins Cobb-Eickelberg, mais on peut consulter les études de la circulation océanique sur le mont sous-marin Cobb ou à proximité (p. ex. Dower *et al.* 1992 et Dower et Mackas 1996). Il est ainsi difficile d'évaluer si la forte influence de la nordicité dans le MAG utilisé pour prédire la répartition des EMV potentiels est réelle ou un artefact des limites des données. Les EMV potentiels pourraient être répartis dans la partie sud des monts de la chaîne de monts sous-marins Cobb-Eickelberg.

Même si un seul ensemble de données visuelles était disponible pour adapter l'approche de Rowden et collaborateurs (2020) pour recenser les EMV et les EMV potentiels sur la chaîne Cobb-Eickelberg (voir les données du VSA dans Curtis *et al.* 2015), il existe d'autres données de relevés visuels, recueillies par la NOAA sur le mont sous-marin Warwick dans notre zone d'étude et sur les monts sous-marins Murray et Pratt plus au nord, dans le golfe de l'Alaska, qui peuvent fournir des données qualitatives informatives.

Dans la mesure du possible, nous avons suivi les normes acceptées pour la modélisation prédictive de l'habitat élaborées par l'atelier du CIEM sur l'utilisation des modèles prédictifs de l'habitat (CIEM 2021) afin d'améliorer l'application de notre modèle, de déclarer l'incertitude et d'accroître la transparence.

Même si nous avons suivi ces normes acceptées, notre estimation du seuil de densité des taxons indicateurs des EMV et nos prévisions des EMV potentiels sur la chaîne de monts sous-marins Cobb-Eickelberg ont pu être influencées par les répercussions de la pêche historique entrant en contact avec le fond sur la répartition et l'abondance de l'épifaune observées par le VSA sur le mont sous-marin Cobb en 2012 (voir Curtis *et al.* 2015). Le mont sous-marin Cobb est perturbé par l'utilisation d'engins de pêche entrant en contact avec le fond depuis les années 1970 (voir les références citées dans Curtis *et al.* 2015) et la répartition et l'intensité de cette pêche sont une source d'incertitude dans le calcul du seuil de densité des taxons indicateurs des EMV ainsi que dans la prévision de la répartition des EMV potentiels.

Même si aucune donnée ne permet d'évaluer les répercussions causées par l'utilisation de ces engins au cours des quatre décennies qui ont précédé le relevé effectué par le VSA en 2012 (Curtis *et al.* 2015), la pêche entrant en contact avec le fond a très bien pu influencer l'abondance et la répartition des indicateurs des EMV reconnus par la CPPN utilisés pour recenser les EMV sur le mont sous-marin Cobb et prédire l'emplacement des EMV potentiels sur la chaîne Cobb-Eickelberg.

Dans leur relevé de 2012, Curtis et ses collaborateurs (2015) ont observé des preuves de répercussions liées à la pêche. Sur le plateau peu profond du mont sous-marin Cobb (moins de 200 m environ), la plupart des cas d'engins empêtrés concernaient des *Stylaster* spp. et les engins en cause étaient des chaluts, des filets maillants et des palangres. Dans les eaux plus profondes du relevé effectué avec le VSA, seuls des casiers ou des lignes-mères de palangres ont été observés empêtrés dans des coraux. Dans certains cas, les lignes-mères semblaient avoir renversé ou tué des colonies entières et dans d'autres, des lignes-mères empêtrées étaient associées à des dommages partiels causés aux colonies de coraux.

La plupart des palangres et des casiers utilisés par le Canada pour capturer la morue charbonnière sur le mont sous-marin Cobb de 1996 à 2017 ont été posés à des profondeurs comprises entre 625 et 875 m (correspondant aux 1^{er} et 3^e quantiles, respectivement), avec une profondeur moyenne de $736 \pm 1,39$ m (Du Preez *et al.* 2020).

Compte tenu de la répartition de l'effort de pêche de la morue charbonnière et de la possibilité que ces engins endommagent ou tuent des indicateurs des EMV reconnus par la CPPN, la répartition de l'effort de pêche a pu influencer le recensement des EMV sur le mont sous-marin Cobb qui ont été déterminés à l'aide du seuil de densité des taxons indicateurs des EMV de la CPPN. En effet, les deux plus grands EMV localisés par Warawa et ses collaborateurs (2023a) étaient à des profondeurs plus grandes (tableau 6) que celles où on pêche généralement la morue charbonnière sur le mont sous-marin Cobb.

Si la répartition des EMV sur le mont sous-marin Cobb a été touchée par des répercussions de la pêche, ce mont n'est peut-être pas représentatif des autres monts de la chaîne Cobb-Eickelberg, ce qui pourrait à son tour avoir eu une incidence sur les emplacements prédits des EMV potentiels sur la chaîne. Ce point est particulièrement préoccupant parce que notre MAG utilise la profondeur pour prédire la répartition des EMV potentiels.

Toutes les sources d'incertitude ont des conséquences sur l'application d'une approche de précaution à la protection des EMV potentiels contre les effets négatifs importants dans la zone de la Convention de la CPPN. À l'heure actuelle, la CPPN ne définit pas d'approche de précaution pour la gestion des pêches, mais lorsqu'une telle approche sera précisée, elle pourrait s'appuyer sur des mesures de l'incertitude associée aux modèles utilisés pour déterminer la répartition des EMV potentiels dans la zone de la Convention de la CPPN, ainsi que sur des cartes du risque relatif d'effets négatifs importants dans l'est de la zone de sa Convention.

3.4.1. Incertitudes dans le modèle statistique (MAG) estimant la densité des EMV sur la chaîne de monts sous-marins Cobb-Eickelberg

Les couches de données environnementales utilisées comme données indépendantes dans le MAG de densité des EMV potentiels étaient des couches modélisées qui ont pu influencer la capacité de résoudre les EMV potentiels. Les couches de données environnementales de la modélisation originale ont été créées à l'échelle du bassin océanique et ne saisissent probablement pas les caractéristiques à petite échelle et les microhabitats de chaque mont sous-marin. Les couches de données elles-mêmes ont été créées à l'origine en tant qu'extraits de modèles avec différents niveaux d'interpolation spatiale (Davies et Guinotte 2011). Compte tenu de la granulométrie de nos couches de données environnementales modélisées ($10\,000\text{ m}^2$), le recensement des zones d'EMV potentiels plus petites que la taille que nos modèles actuels peuvent résoudre est limité. Il n'existe pas pour le moment de données à petite échelle pour la plupart des principaux paramètres de niche qui influencent l'espace de niche des coraux et des éponges sur toute la zone d'étude d'intérêt. Les variables sélectionnées pour notre modèle final de densité des EMV n'incluaient aucune couche de données environnementales modélisée, de sorte que l'incertitude associée aux données environnementales modélisées et interpolées n'a finalement pas été directement intégrée dans les prévisions de la densité.

La couverture des données bathymétriques à plus haute résolution sur certains monts sous-marins était incomplète, ce qui fait que certaines prévisions de densité sont associées à une plus grande incertitude. L'assemblage d'ensembles de données bathymétriques pour obtenir une couverture complète a produit des artefacts pour certains monts sous-marins, principalement pour les monts Corn et Eickelberg. Ces artefacts sont dus aux résolutions

variables de couches multifaisceau assemblées en une seule couche et sont associés à une incertitude plus importante.

Il est possible que notre suite de couches de données indépendantes ait été incomplète et n'ait pas entièrement représenté tous les facteurs importants pour prédire la densité des indicateurs des EMV. Par exemple, le substrat n'était pas disponible et nous n'avons donc pas pu l'inclure dans notre modèle, mais il s'agit d'un important prédicteur de l'habitat pour les coraux et les éponges (Guinotte et Davies 2014; Masuda et Stone 2015). Il se peut également que d'autres organismes structurants ne figurent pas parmi les taxons indicateurs des EMV reconnus par la CPPN et aient donc été exclus dans notre analyse du seuil. Par exemple, des espèces de l'ordre des *Pennatulacea* (pennatules), qui peuvent être de grands organismes structurants, étaient présentes sur les transects parcourus par le VSA. Cependant, elles n'ont pas été incluses dans les calculs de la densité des organismes structurants parce que la CPPN ne les avait pas reconnues comme indicateurs des EMV en janvier 2024, même si elle a approuvé leur inclusion sur la liste des taxons indicateurs des EMV en avril 2024 (NPFC-COM 2024).

Le modèle de densité des indicateurs des EMV a extrapolé légèrement les données dans les zones non couvertes par les relevés. Les données dépendantes sur la densité des EMV provenaient de l'un des sept monts sous-marins modélisés. Afin de limiter la quantité d'extrapolation en dehors de la plage de variables environnementales échantillonnée, nous avons restreint la sortie du modèle à la même plage de profondeurs que les observations dépendantes de la densité des EMV.

Nous avons tenté d'évaluer les incertitudes dans le MAG de densité des EMV en validant les modèles par validation croisée.

3.4.2. Incertitude dans la méthode du seuil de densité qui estime la présence d'EMV

Les observations de la densité des taxons indicateurs des EMV à partir de données visuelles utilisées comme données dépendantes dans la modélisation de la densité sont limitées. Compte tenu de la petite taille de l'échantillon, de 4 transects visuels, à partir duquel les valeurs de la densité des EMV ont été calculées et du plan d'échantillonnage aléatoire et non aléatoire associé à ces quatre transects du VSA (Curtis *et al.* 2015), un biais spatial est possible.

Tous les groupes d'indicateurs des EMV utilisés par d'autres ORGP n'étaient pas représentés dans l'analyse du seuil. En utilisant uniquement les taxons indicateurs des EMV reconnus par la CPPN, nous n'avons pas inclus certains coraux qui contribuent à la complexité structurelle, notamment des espèces de l'ordre des *Pennatulacean* et des hydrocoraux.

Des espèces de l'ordre des *Pennatulacea* (pennatules), qui peuvent être de grands organismes structurants, étaient présentes sur les transects parcourus par le VSA. Cependant, elles n'ont pas été incluses dans les calculs de la densité des taxons indicateurs des EMV parce que la CPPN ne les avait pas reconnues comme indicateurs des EMV au moment de la rédaction de ce document de recherche. La Commission de la CPPN a approuvé la recommandation d'inclure ces coraux parmi les taxons indicateurs des EMV en avril 2024 (CPPN-COM 2024). Prévoyant que ces taxons seraient reconnus comme des taxons indicateurs des EMV par la CPPN après cet examen régional par les pairs de janvier 2024, nous avons recalculé notre seuil régional de densité des indicateurs des EMV en incluant les espèces de l'ordre des *Pennatulacean* comme organismes structurants indicateurs des EMV. Les pennatules représentent 0,5 % des organismes identifiés sur les quatre transects du VSA ($n = 40$) et lorsqu'elles sont incluses comme indicateurs des EMV dans notre calcul du seuil, le seuil moyen est de 0,41 taxon indicateur des EMV par mètre carré avec un intervalle de confiance à 95 % de 0,37 à 0,45 (voir le tableau 8). Cette valeur se situe en dehors de l'intervalle de

confiance à 95 % calculé lorsque les pennatules étaient exclues en tant qu'indicateurs des EMV. Un examen périodique des méthodes et des données est une étape clé du cadre de la CPPN pour recenser les EMV et les EMV potentiels (Warawa *et al.* 2022), et les futures itérations des analyses pour calculer le seuil peuvent inclure ces taxons structurants et d'autres taxons indicateurs des EMV qui seront répertoriés par la CPPN à l'avenir.

En retirant les taxons non structurants de notre ensemble de données des taxons indicateurs des EMV, nous avons également exclu un scléactiniaire (*Desmophyllum dianthus*) et deux coraux mous (historiquement *Alcyonacea*; *Heteropolypus ritteri* et *Gersemia* spp), bien qu'ils figurent sur la liste de la CPPN. Ce faisant, nous avons cependant réduit une partie de l'incertitude en vérifiant que tous les taxons indicateurs des EMV reconnus par la CPPN utilisés pour calculer notre seuil régional de densité des indicateurs EMV fournissent en fait une complexité structurelle. Ainsi, nos analyses étaient plus étroitement alignées sur le critère de la complexité structurelle de la FAO.

Pour montrer l'incertitude dans la répartition des EMV potentiels, nous présentons également des cartes de leur emplacement prévu lorsque nous utilisons les valeurs des intervalles de confiance inférieur et supérieur à 95 % du seuil régional de densité des indicateurs des EMV (figure 9).

3.5. TRAVAUX À VENIR

Une conséquence importante de ces sources d'incertitude est que les EMV et les EMV potentiels recensés devraient être un sous-ensemble de l'étendue totale des EMV sur cette chaîne de monts sous-marins aux profondeurs prises en compte, tandis que les EMV et les EMV potentiels à l'extérieur de cette plage de profondeurs n'ont pas encore été évalués. D'autres analyses avec plus de données permettront probablement de recenser davantage d'EMV observés et d'EMV potentiels, en particulier si les critères de la FAO relatifs aux EMV, autres que la complexité structurelle, sont utilisés dans les évaluations. Un examen périodique des méthodes et des données est une étape clé du cadre de la CPPN pour le recensement des EMV et des EMV potentiels (Warawa *et al.* 2022). Avec un examen périodique, les analystes peuvent :

1. Utiliser les nouvelles données visuelles sur les monts sous-marins à proximité dans l'est de la zone de la Convention de la CPPN pour évaluer la variabilité du seuil régional de densité des indicateurs des EMV entre les monts sous-marins et les profondeurs.
2. Utiliser la modélisation de l'inférence causale pour calculer un seuil régional de densité des indicateurs des EMV.
3. Répéter notre analyse pour calculer un seuil régional de densité des indicateurs des EMV qui inclut les pennatules et tous les autres taxons indicateurs des EMV reconnus par la CPPN.
4. Répéter notre analyse lorsque de nouvelles données visuelles de relevés deviennent disponibles pour recenser d'autres EMV.
5. Améliorer nos prévisions de l'emplacement des EMV potentiels lorsque de nouvelles données visuelles deviennent accessibles.
6. Utiliser l'emplacement des EMV potentiels pour choisir les zones des futurs relevés visuels afin de valider nos prévisions modélisées.
7. Utiliser l'ANOVA de Welch pour tester les différences entre les communautés des EMV et autres, comme dans Rowden *et al.* (2020).

-
8. Modéliser la diversité des espèces plutôt que la richesse en espèces pour calculer un seuil régional de densité des indicateurs des EMV.
 9. Envisager d'utiliser une distribution d'erreur binomiale négative ou de Poisson qui conviendrait aux données de dénombrement pour calculer un seuil régional de densité des indicateurs des EMV.

4. TABLEAUX

Tableau 1. Taxons indicateurs des EMV reconnus par la CPPN, représentés dans les données annotées provenant du VSA tirées du relevé du mont sous-marin Cobb en 2012 (Curtis et al. 2015). Les taxons structurellement complexes sont indiqués par un astérisque (*), et le nombre total provient des quatre transects du VSA.

Groupe d'EMV	Nom scientifique	Nombre total
Corail noir	<i>Bathypathes</i> *	373
	<i>Lillipathes</i> *	281
	<i>Stichopathes</i> *	61
Éponge siliceuse	<i>Euretidae</i> *	27
	<i>Farrea omniclavata</i> *	39
	<i>Rossellidae</i> *	128
	<i>Staurocalyptus</i> *	8
Gorgone	<i>Callistephanus simplex</i> *	29
	<i>Keratoisididae</i> *	570
	<i>Primnoidae</i> *	188
Corail mou	<i>Gersemia</i>	40
	<i>Heteropolypus ritteri</i>	245
Corail dur	<i>Desmophyllum dianthus</i>	8

Tableau 2. Taxons sédentaires associés aux taxons indicateurs des EMV reconnus par la CPPN et recensés par la NOAA sur les quatre transects du véhicule sous-marin autonome (VSA) étudiés en 2012 sur le mont sous-marin Cobb (voir Curtis et al. 2015).

Groupe taxonomique	Nom du morphotype	Nom scientifique	Rang	Phylum
Anémones	Anémone non identifiée	Anthozoa	Sous- embranchement	Cnidaires
Anémones	Liponema brevicorne	Liponema brevicorne	Espèce	Cnidaires
Anémones	Actinostola faeculenta	Actinostola faeculenta	Espèce	Cnidaires
Anémones	Anémone non identifiée	Anthozoa	Sous- embranchement	Cnidaires
Anémones	Hormathiidae	Hormathiidae	Famille	Cnidaires
Hydrocoraux	Stylaster sp	Stylaster	Genre	Cnidaires
Pennatulacea	Anthoptilum sp	Anthoptilum	Genre	Cnidaires
Pennatulacea	Umbellula lindahli	Umbellula lindahli	Espèce	Cnidaires
Pennatulacea	Pennatuloidea	Pennatuloidea	Ordre	Cnidaires
Pennatulacea	Balticina willemoesi	Balticina willemoesi	Espèce	Cnidaires
Corail mou	Gersemia spp.	Gersemia spp.	Genre	Cnidaires
Corail mou	Heteropolypus ritteri	Heteropolypus ritteri	Espèce	Cnidaires
Corail dur	Desmophyllum dianthus	Desmophyllum dianthus	Espèce	Cnidaires
Éponges	Éponge non identifiée	Porifères	Phylum	Porifères

Tableau 3. Taxons mobiles associés aux taxons indicateurs des EMV reconnus par la CPPN et recensés par la NOAA sur les quatre transects du véhicule sous-marin autonome (VSA) étudiés en 2012 sur le mont sous-marin Cobb (voir Curtis et al. 2015).

Groupe taxonomique	Nom du morphotype	Nom scientifique	Rang	Phylum
Crinoïde	<i>Florometra serratissima</i>	<i>Florometra serratissima</i>	Espèce	Échinodermes
Nudibranche	<i>Tritoniidae</i>	<i>Tritoniidae</i>	Famille	Mollusques
Étoile de mer	<i>Ampheraster marianus</i>	<i>Ampheraster marianus</i>	Espèce	Échinodermes
Étoile de mer	<i>Brisingidae</i>	<i>Brisingidae</i>	Famille	Échinodermes
Étoile de mer	<i>Hippasteria phrygiana</i>	<i>Hippasteria phrygiana</i>	Espèce	Échinodermes
Étoile de mer	<i>Pseudarchaster sp</i>	<i>Pseudarchaster</i>	Genre	Échinodermes
Étoile de mer	<i>Pteraster sp</i>	<i>Pteraster</i>	Genre	Échinodermes
Étoile de mer	<i>Rathbunaster californicus</i>	<i>Rathbunaster californicus</i>	Espèce	Échinodermes
Étoile de mer	<i>Thrissacanthias sp</i>	<i>Thrissacanthias</i>	Genre	Échinodermes
Étoile de mer	Étoile de mer non identifiée	Asteroidea	Classe	Échinodermes
Holothurie	<i>Molpadia intermedia</i>	<i>Molpadia intermedia</i>	Espèce	Échinodermes
Holothurie	<i>Pannychia moseleyi</i>	<i>Pannychia moseleyi</i>	Espèce	Échinodermes
Holothurie	<i>Psolus squamatus</i>	<i>Psolus squamatus</i>	Espèce	Échinodermes
Holothurie	Holothurie non identifiée	Holothuroidea	Classe	Échinodermes
Crabe	<i>Chionoecetes tanneri</i>	<i>Chionoecetes tanneri</i>	Espèce	Arthropodes
Crabe	<i>Chorilia longipes</i>	<i>Chorilia longipes</i>	Espèce	Arthropodes
Crabe	<i>Lithodes couesi</i>	<i>Lithodes couesi</i>	Espèce	Arthropodes
Crabe	Crabe non identifié	Decapoda	Ordre	Arthropodes

Groupe taxonomique	Nom du morphotype	Nom scientifique	Rang	Phylum
<i>Galathée</i>	<i>Chirostylidae</i>	<i>Chirostylidae</i>	<i>Famille</i>	<i>Arthropodes</i>
<i>Poissons</i>	<i>Anoplopoma fimbria</i>	<i>Anoplopoma fimbria</i>	<i>Espèce</i>	<i>Cordés</i>
<i>Poissons</i>	<i>Antimora microlepis</i>	<i>Antimora microlepis</i>	<i>Espèce</i>	<i>Cordés</i>
<i>Poissons</i>	<i>Coryphaenoides acrolepis</i>	<i>Coryphaenoides acrolepis</i>	<i>Espèce</i>	<i>Cordés</i>
<i>Poissons</i>	<i>Glyptocephalus zachirus</i>	<i>Glyptocephalus zachirus</i>	<i>Espèce</i>	<i>Cordés</i>
<i>Poissons</i>	<i>Microstomus bathybius</i>	<i>Microstomus bathybius</i>	<i>Espèce</i>	<i>Cordés</i>
<i>Poissons</i>	<i>Microstomus pacificus</i>	<i>Microstomus pacificus</i>	<i>Espèce</i>	<i>Cordés</i>
<i>Poissons</i>	<i>Sebastes sp</i>	<i>Sébastes</i>	<i>Genre</i>	<i>Cordés</i>
<i>Poissons</i>	<i>Sebastolobus alascanus</i>	<i>Sebastolobus alascanus</i>	<i>Espèce</i>	<i>Cordés</i>
<i>Poissons</i>	<i>Sebastolobus sp</i>	<i>Sébastolobe</i>	<i>Genre</i>	<i>Cordés</i>
<i>Poissons</i>	<i>Poisson non identifié</i>	<i>Cordés</i>	<i>Phylum</i>	<i>Cordés</i>
<i>Requin</i>	<i>Scyliorhinidae</i>	<i>Scyliorhinidae</i>	<i>Famille</i>	<i>Cordés</i>
<i>Pieuvre</i>	<i>Octopus sp</i>	<i>Pieuvre</i>	<i>Genre</i>	<i>Mollusques</i>

Tableau 4. Résultats du MAG utilisés pour déterminer le seuil régional de densité des indicateurs des EMV avec les données annotées du relevé par véhicule sous-marin autonome (VSA) du mont sous-marin Cobb (voir plus de détails sur le relevé dans Curtis et al. 2015). Les degrés de liberté estimés (edf), la valeur statistique de F et la valeur de p sont indiqués pour chaque terme du modèle.

Terme	edf	F	Valeur de p
Densité des EMV	1,41	1,61	0,14
Profondeur	5,19	12,72	< 0,001
Transect	2,78	3,00	< 0,001
Valeur ajustée de R ²	0,46	-	-
Déviance expliquée	48,6 %	-	-
CIA	919,58	-	-

Tableau 5. Calculs des seuils de densité des indicateurs des EMV pour le seuil régional Cobb-Eickelberg selon les quatre méthodes utilisées dans Rowden et al. (2020) pour estimer un seuil de densité des indicateurs des EMV dans la zone de la Convention de l'Organisation régionale de gestion des pêches du Pacifique Sud (en nombre de taxons indicateurs des EMV par mètre carré). La moyenne et l'écart-type sont également calculés.

Méthode de détermination du seuil	Valeur du seuil
1) le point d'intersection des régressions linéaires en utilisant les premiers 5 % et les derniers 5 % des données	0,53
2) le point d'intersection entre une régression linéaire en utilisant les premiers 5 % des données et la valeur cumulative maximale de la richesse en espèces	0,74
3) le point de la courbe le plus proche de l'angle supérieur droit (0,1)	0,61
4) le point de la courbe qui maximise la distance entre la courbe et la ligne entre les points extrêmes (indice de Youden)	0,52
Moyenne	0,60 (ET = 0,1)

Tableau 6. Récapitulatif des cinq zones recensées comme des EMV sur le mont sous-marin Cobb.

ID de l'EMV	Latitude	Longitude	Superficie (m²)	Largeur approx. (m)	Longueur approx. (m)	Profondeur (m)	Densité des taxons indicateurs des EMV (individus des EMV/m²)	Abondance des coraux noirs	Abondance des gorgones	Abondance des éponges siliceuses
COBB_VME-A	46.80567	-130.845	201	2,3	87,5	1 138	0,9	10	165	4
COBB_VME-B	46.80434	-130.844	152	2,3	66	1 112	0,71	8	93	5
COBB_VME-C	46.79705	-130.842	51	2,3	22,4	802	0,66	27	2	4
COBB_VME-D	46.79162	-130.841	52	2,3	22,8	508	0,6	0	30	0
COBB_VME-E	46.75812	-130.724	52	2,3	22,7	689	0,64	30	1	1

Tableau 7. Caractéristiques des zones recensées comme des EMV potentiels, par mont sous-marin, sur la chaîne de monts sous-marins Cobb-Eickelberg. La profondeur maximale du mont sous-marin est tirée de Harris et al. (2014).

Mont sous-marin	Profondeur du sommet (m)	Superficie totale des EMV potentiels (km²)	Superficie du mont sous-marin dans la tranche de 400 à 1 200 m de profondeur (km²)	Pourcentage de la superficie du mont sous-marin dans la tranche de 400 à 1 200 m de profondeur recensée comme EMV potentiel
<i>Brown Bear Nord</i>	655	20,4	102,60	19,88 %
<i>Brown Bear Sud</i>	575	13,74	312,27	4,40 %
<i>Cobb</i>	2	27,55	179,01	15,39 %
<i>Corn</i>	380	6,91	121,17	5,70 %
<i>Eickelberg</i>	786	2,12	30,64	6,92 %
<i>Dorsale Eickelberg</i>	739	10,95	48,21	22,71 %
<i>Hoh</i>	1 199	2,11	7,16	29,47 %
<i>Pipe</i>	ND	2,13	16,33	13,04 %
<i>Warwick</i>	510	13,3	134,84	9,86 %
<i>Total</i>		99,21	952,95	10,42 %

Tableau 8. Résultats du MAG utilisés pour recalculer le seuil régional de densité des indicateurs des EMV lorsque les pennatules sont incluses en tant que taxons indicateurs des EMV. Les degrés de liberté estimés (edf), la valeur statistique de F et la valeur de p sont indiqués pour chaque terme du modèle.

Terme	edf	F	Valeur de p
<i>Densité des EMV</i>	1,87	2,49	0,0735
<i>Profondeur</i>	4,86	9,81	< 0,001
<i>Transect</i>	2,68	7,56	< 0,001
<i>Valeur ajustée de R²</i>	0,41	-	-
<i>Déviance expliquée</i>	43,20 %	-	-
<i>CIA</i>	864,26	-	-

5. FIGURES

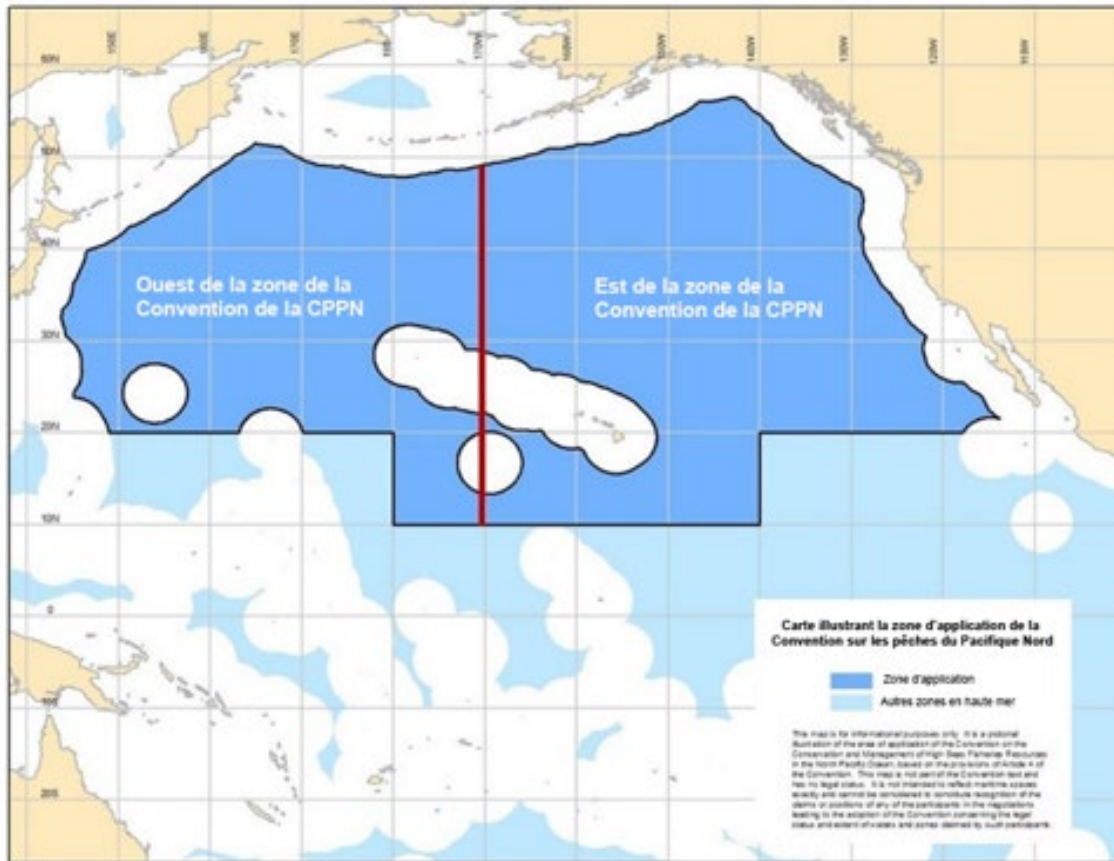


Figure 1. La zone de la Convention de la Commission des pêches du Pacifique Nord (CPPN), qui s'étend sur les eaux internationales de l'océan Pacifique Nord. Toutes les mesures de conservation et de gestion de la CPPN s'appliquent à l'ouest, à l'est ou aux deux parties de la zone de sa Convention.

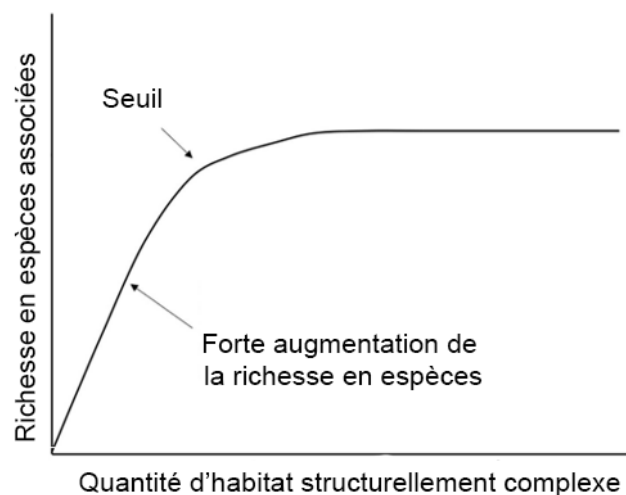


Figure 2. Courbe théorique qui décrit la relation entre la quantité d'habitat structurellement complexe et la richesse en espèces associées (d'après la figure 4 dans Rowden et al. 2020).

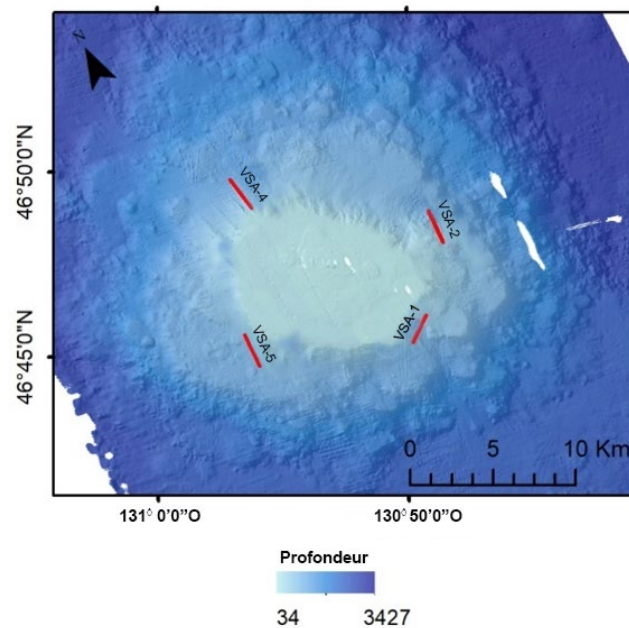


Figure 3. Carte bathymétrique du mont sous-marin Cobb montrant l'emplacement des quatre transects parcourus par le véhicule sous-marin autonome (VSA; en rouge) lors du relevé du mont sous-marin Cobb mené en 2012 (voir les détails dans Curtis et al. 2015).

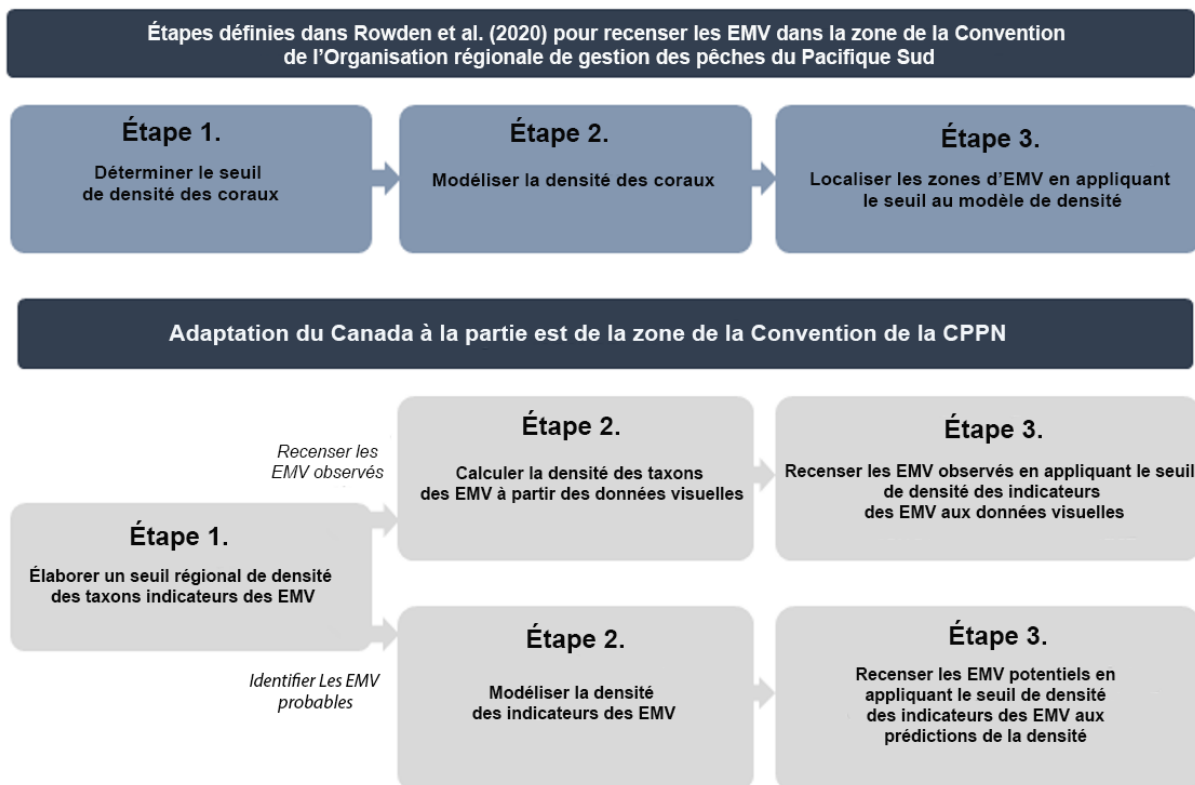


Figure 4. Adaptation par le Canada des méthodes utilisées dans Rowden et al. (2017; 2020) dans l'est de la zone de la Convention de la CPPN.

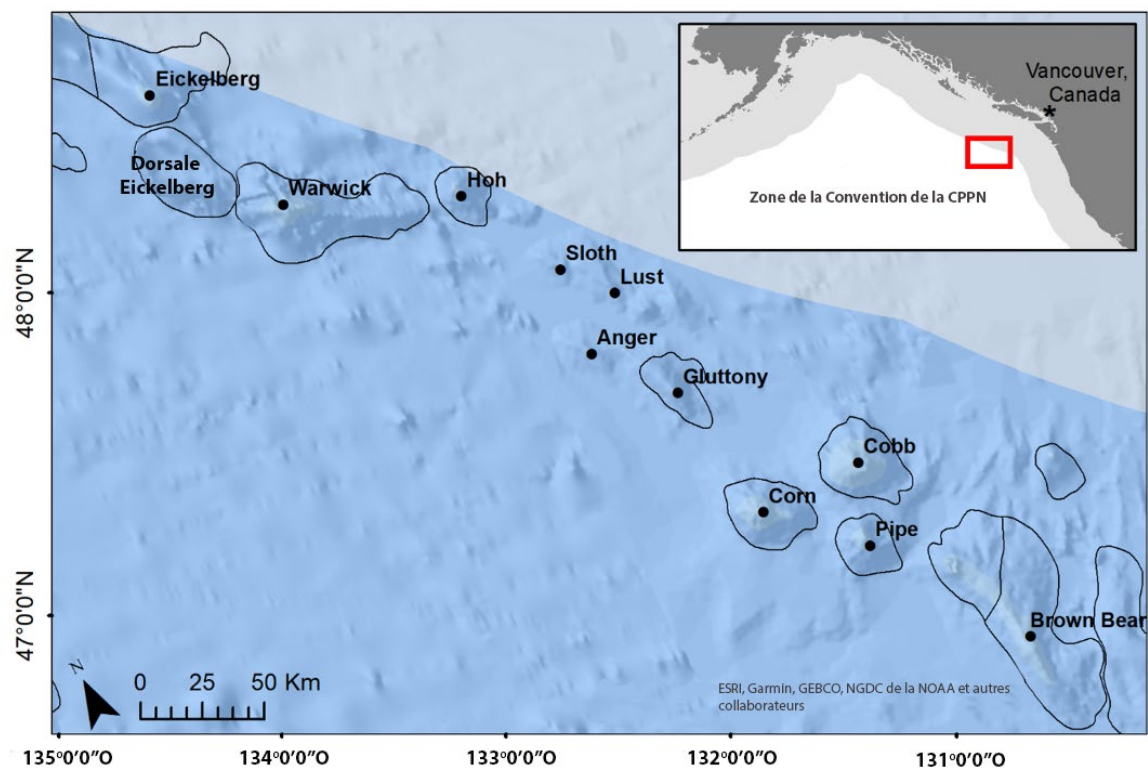


Figure 5. La chaîne de monts sous-marins Cobb-Eickelberg dans l'est de la Zone de la Convention de la CPPN, adjacente à la ZEE canadienne (en gris pâle). Les points noirs représentent les monts sous-marins nommés, et les contours noirs représentent les monts sous-marins identifiés à partir de caractéristiques géomorphiques dans Harris et al. (2014).

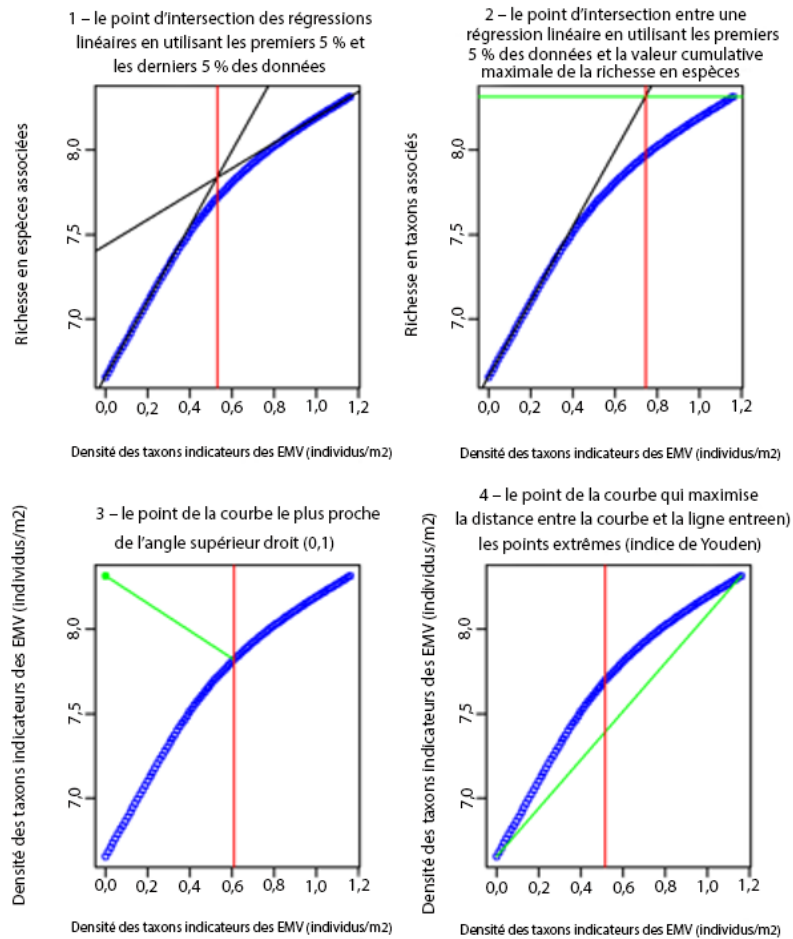


Figure 6. Les quatre méthodes décrites dans Rowden et al. (2020) que nous avons utilisées pour calculer notre seuil régional de densité des indicateurs des EMV.

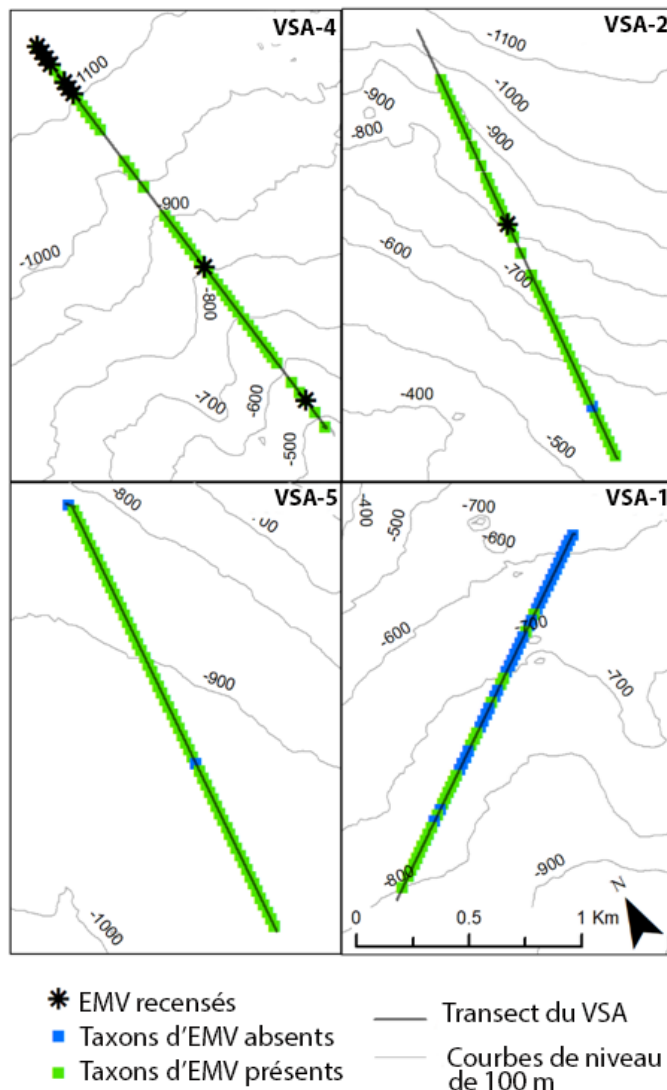


Figure 7. Les segments des transects du VSA où des EMV ont été recensés sur le mont sous-marin Cobb sont indiqués par des étoiles noires sur les segments des transects 4 et 2 du VSA. Les segments des transects où les densités observées de taxons indicateurs des EMV sont inférieures au seuil régional de densité des indicateurs des EMV de 0,6 m⁻² sont indiqués en vert. Les transects où aucun taxon indicateur des EMV n'a été observé sont marqués en bleu. Les lignes grises sont les courbes de niveau de 100 m de profondeur (voir Curtis et al. 2015).

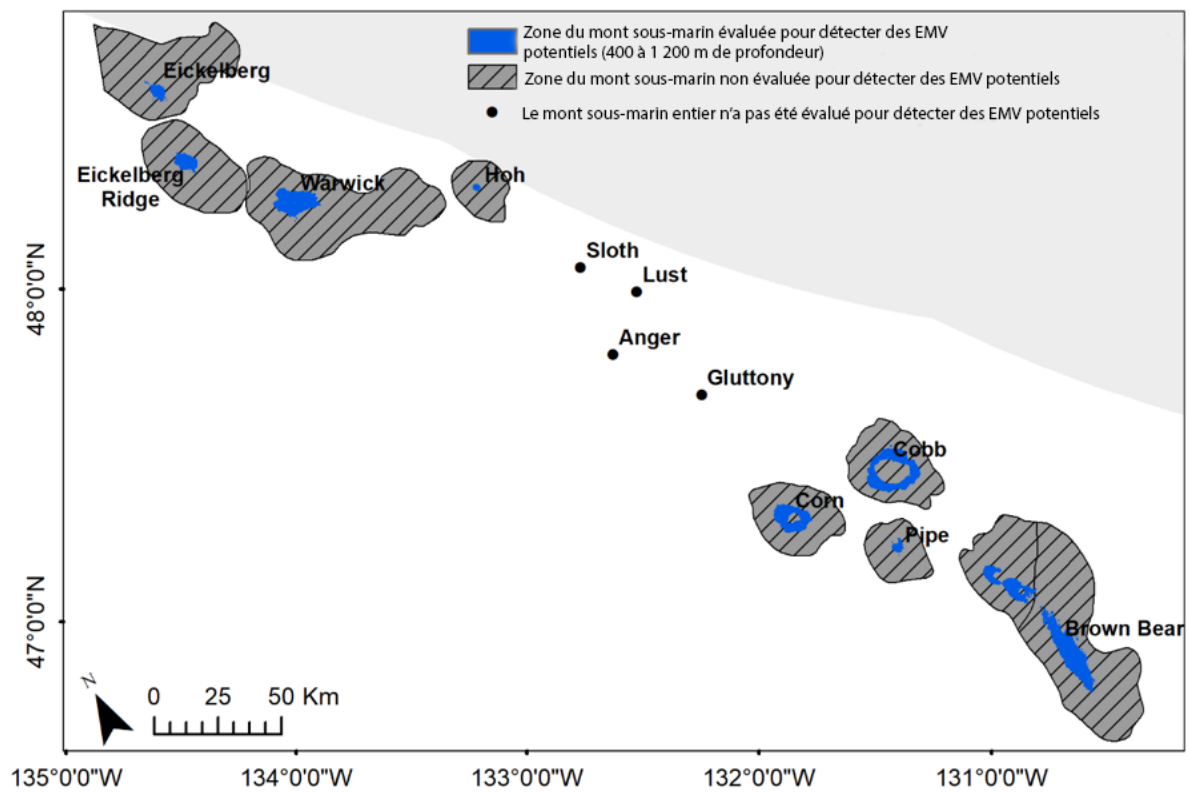


Figure 8. Parties de la chaîne de monts sous-marins Cobb-Eickelberg où on a évalué la présence d'EMV potentiels (zones bleues) et où on n'a pas évalué la présence d'EMV ou d'EMV potentiels (zones grises hachurées à moins de 400 m et à plus de 1 200 m de profondeur).

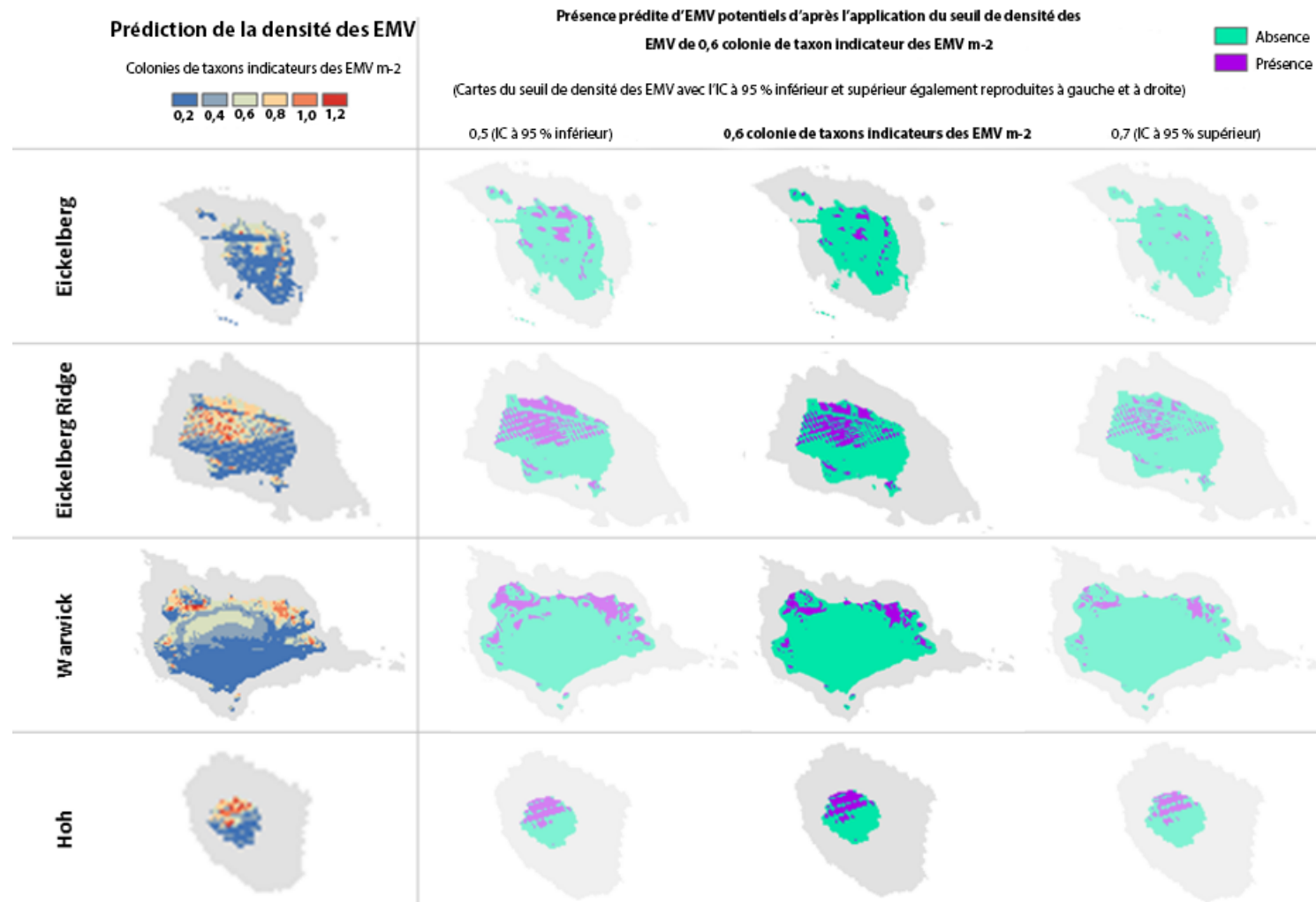


Figure 9. Cartes de prévision du modèle de densité des taxons indicateurs des EMV et de la présence d'EMV potentiels, par mont sous-marin (pas à l'échelle). La présence d'EMV potentiels (en violet) est déterminée en appliquant le seuil de densité des EMV (voir Warawa et al. 2023a) à l'extrant du modèle de prévision de la densité des EMV. Les cartes de la présence d'EMV potentiels utilisant les valeurs inférieure et supérieure de l'intervalle de confiance à 95 % du seuil de densité des EMV (0,5 et 0,7, respectivement) sont présentées à des fins de comparaison. Les zones grisées représentent les profondeurs à l'extérieur de la zone de prévision, qui était limitée à la tranche de 400 à 1 200 m de profondeur.

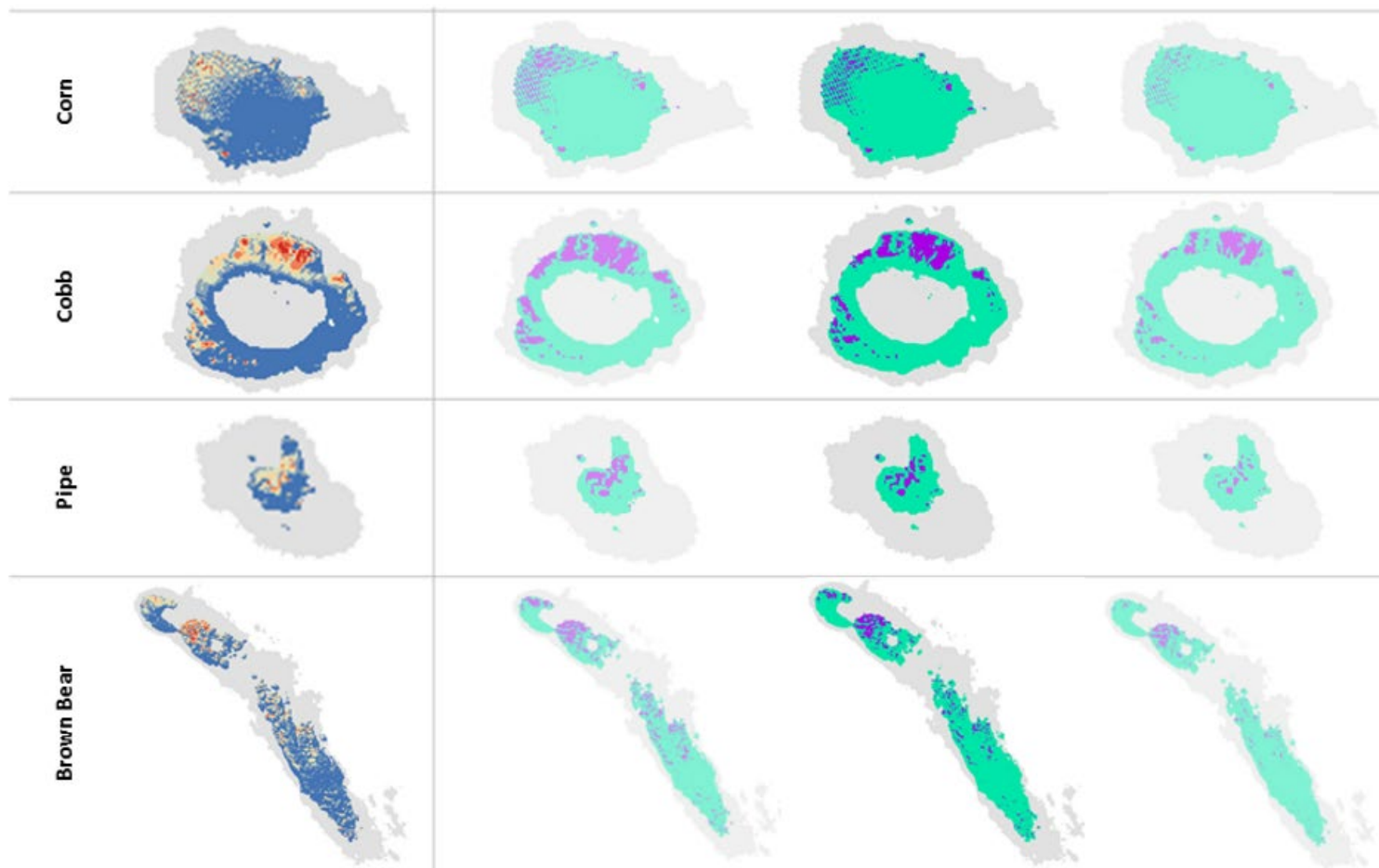


Figure 9. Suite.

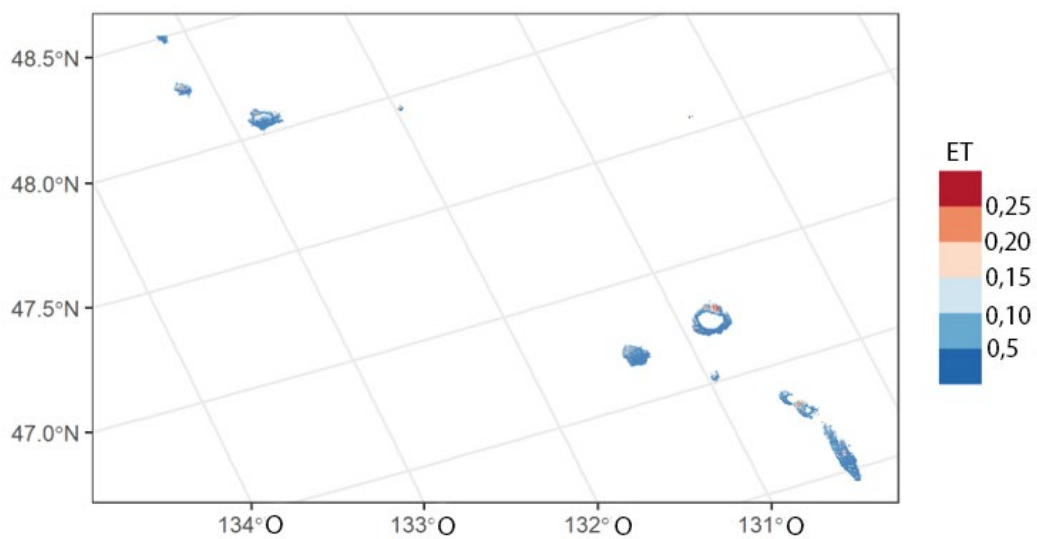


Figure 10. Erreur type de l'estimation modélisée de la densité des EMV par le MAG. Des valeurs plus faibles de l'erreur type indiquent un meilleur ajustement du modèle de régression aux données et sont associées à une plus petite incertitude dans la prévision.

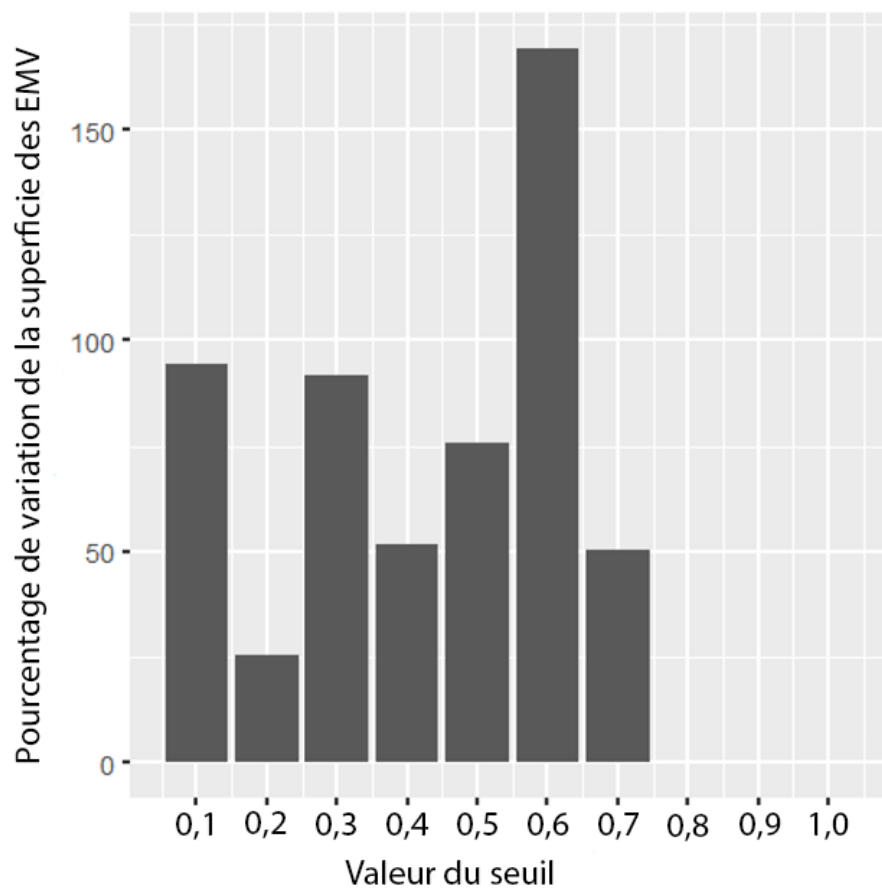


Figure 11. Version simplifiée de l'analyse de l'estimation de la densité par noyau (EDN) utilisée dans Kenchington et al. (2014) : un graphique du pourcentage de variation de la superficie des EMV observés, la valeur du seuil augmentant par tranches de 0,1 comme autre moyen d'utiliser des ruptures naturelles pour déterminer les seuils. Le plus grand pourcentage de variation de la superficie d'EMV recensée se produit lorsque nous augmentons le seuil de densité des indicateurs des EMV de 0,5 à 0,6 indicateur par mètre carré.

6. REMERCIEMENTS

Nous remercions les membres du groupe de travail restreint sur les EMV de la CPPN, du comité scientifique restreint Small Scientific Committee on Bottom Fish and Marine Ecosystem (SSC BFME) et du Comité scientifique (SC) qui nous ont fait part de leurs commentaires, questions et suggestions réfléchis et perspicaces à mesure que nous progressions dans l'élaboration de nos méthodes, la communication des résultats préliminaires et la révision de nos méthodes et de nos analyses en fonction de leurs commentaires. Parmi ces participants figuraient des membres de neuf parties contractantes à la CPPN, ainsi que des observateurs de la Deep Sea Conservation Coalition, notamment Amy Baco-Taylor et Matthew Gianni. Nous apprécions les examens externes de notre travail réalisés par Ashley Rowden, Ellen Kenchington, Chris Yesson et un représentant de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Tony Thompson. Le Secrétariat de la CPPN a facilité notre travail sur le plan logistique, notamment en organisant des réunions du groupe de travail restreint sur les EMV, du SSC BFME et du SC, ainsi qu'en préparant de précieux résumés et rapports de réunions. L'élaboration de nos méthodes et analyses de données et la rédaction ont bénéficié du soutien financier du Fonds de recherche scientifique compétitif du MPO. Tom Hourigan et Mariano Koen-Alonso ont effectué des examens constructifs et perspicaces de notre document de recherche, et nous avons apprécié les commentaires, les questions et les suggestions des participants au processus régional d'évaluation par les pairs qui s'est tenu du 23 au 25 janvier 2024. Le Centre des avis scientifiques de la région du Pacifique a facilité l'examen de notre document de recherche.

7. RÉFÉRENCES CITÉES

- Baco, A.R., Morgan, N.B., and Roark, E.B. 2020. Observations of vulnerable marine ecosystems and significant adverse impacts on high seas seamounts of the northwestern Hawaiian Ridge and Emperor Seamount Chain. *Marine Policy*. 115:103834.
- Baco, A.R., et al. 2023. Towards a scientific community consensus on designating Vulnerable Marine Ecosystems from imagery. *PeerJ* 11: e16024.
- Birkeland, C. 1971. Biological Observations on Cobb Seamount. *Northwest Science*. 45: 193-199.
- Boyer, T.P., Garcia, H.E., Locarnini, R.A., Zweng, M.M., Mishonov, A.V., Reagan, J.R., Weathers, K.A., Baranova, O.K., Seidov, D., and Smolyar, I.V. 2018. [World Ocean Atlas 2018. NOAA National Centers for Environmental Information](#). Dataset. Accessed February 2023.
- Burgos, J.M., Buhl-Mortensen, L., Buhl-Mortensen, P., Ólafsdóttir, S.H., Steingrund, P., Ragnarsson, S.Á., and Skagseth, Ø. 2020. Predicting the Distribution of Indicator Taxa of Vulnerable Marine Ecosystems in the Arctic and Sub-arctic Waters of the Nordic Seas. *Frontiers in Marine Science*. 7: 131.
- Chu, J.W.F., Nephin, J., Georgian, S., Knudby, A., Rooper, C., and Gale, K.S.P. 2019. Modelling the environmental niche space and distributions of cold-water corals and sponges in the Canadian northeast Pacific Ocean. *Deep-Sea Research Part I*. 151:103063.
- Costello, M.J., and Chaudhary, C. 2017. Marine biodiversity, biogeography, deep-sea gradients, and conservation. *Current Biology*. 27:R511-R527.

-
- Curtis, J.M.R., Du Preez, C., Davies, S.C., Pegg, J., Clarke, M.E., Fruh, E.L., Morgan, K., Gauthier, S., Gatién, G., and Carolsfeld, W. 2015. 2012 Expedition to Cobb Seamount: Survey methods, data collections, and species observations. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3124: xii + 145 p.
- Dallas, T.A., and Hastings, A. 2018. Habitat suitability estimated by niche models is largely unrelated to species abundance. *Global Ecology Biogeography*. 27: 1448–1456.
- Davies, A.J., and Guinotte, J.M. 2011. Global habitat suitability for framework-forming cold-water corals. *PloS one*. 6:e18483.
- de Oliveira, I.R.C., and Ferreira, D.F. 2013. Computing the noncentral gamma distribution, its inverse and the noncentrality parameter. *Computational Statistics*. 28: 1663–1680.
- Dower, J., Freeland, H., and Juniper, K. 1992. A strong biological response to oceanic flow past Cobb seamount. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*. 39: 1139-1145.
- Dower, John F., and Mackas, David L. 1996. “Seamount effects” in the zooplankton community near Cobb Seamount. *Deep-sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*. 43: 837-858.
- Du Preez, C., Curtis, J.M.R., Davies, S.C., Clarke, M.E., and Fruh, E.L. 2015. Cobb Seamount Species Inventory. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2122: viii + 108 p.
- Du Preez, C., Swan, K.D., and Curtis, J.M.R. 2020. Cold water corals and other vulnerable biological structures on a North Pacific seamount after half a century of fishing. *Frontiers in Marine Science*. 7: 17.
- Elith, J., Ferrier, S., Huettmann, F., and Leathwick, J. 2005. The evaluation strip: A new and robust method for plotting predicted responses from species distribution models. *Ecological Modelling*. 186: 280–289.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2009. International Guidelines for the Management of Deep-sea Fisheries in the High Seas. Rome.
- Georgian, S.E., Shedd, W., and Cordes, E.E. 2014. High-resolution ecological niche modelling of the cold-water coral *Lophelia pertusa* in the Gulf of Mexico. *Marine Ecology Progress Series*. 506: 145-161.
- Georgian, S.E., Anderson, O.F., and Rowden, A.A. 2019. Ensemble habitat suitability modeling of vulnerable marine ecosystem indicator taxa to inform deep-sea fisheries management in the South Pacific Ocean. *Fisheries research*. 211: 256-274.
- Gonzalez-Mirelis, G., Ross, R.E., Albretsen, J., and Buhl-Mortensen, P. 2021. Modeling the distribution of habitat-forming, deep-sea sponges in the Barents Sea: the value of data. *Frontiers in Marine Science*. 7: 496688.
- Gros, C., Jansen, J., Dunstan, P.K., Welsford, D.C., and Hill, N.A. 2022. Vulnerable, but still poorly known, marine ecosystems: how to make distribution models more relevant and impactful for conservation and management of VMEs?. *Frontiers in Marine Science*. 9: 870145.
- Guinotte, J.M., and Davies, A.J. 2014. Predicted deep-sea coral habitat suitability for the US West Coast. *PloS one*. 9:e93918.
- Harris, P.T., Macmillan-Lawler, M., Rupp, J., and Baker, E.K. 2014. Geomorphology of the oceans. *Marine Geology*. 352: 4-24.
-

-
- Hijmans, R. 2022. terra: Spatial Data Analysis. R package version 1.6-7.
- Howard, C., Stephens, P.A., Pearce-Higgins, J.W., Gregory, R.D., and Willis, S.G. 2014. Improving species distribution models: the value of data on abundance. *Methods in Ecology and Evolution*. 5: 506-513.
- Howell, K.L., Holt, R., Endrino, I.P., and Stewart, H. 2011. When the species is also a habitat: comparing the predictively modelled distributions of *Lophelia pertusa* and the reef habitat it forms. *Biological Conservation*. 144: 2656–2665.
- ICES. 2021. Workshop on the Use of Predictive Habitat Models in ICES Advice (WKPHM). ICES Scientific Reports. 3: 67. 100 pp.
- Kenchington, E., Murillo, F.J., Lirette, C., Sacau, M., Koen-Alonso, M., Kenny, A., Ollerhead, N., Wareham, V., and Beazley, L. 2014. Kernel Density Surface Modelling as a Means to Identify Significant Concentrations of Vulnerable Marine Ecosystem Indicators. *PLoS ONE*. 9:e109365.
- Lundsten, L., Barry, J.P., Cailliet, G.M., Clague, D.A., DeVogelaere, A.P., and Geller, J.B. 2009a. Benthic Invertebrate Communities on Three Seamounts Off Southern and Central California, USA. *Marine Ecology Progress Series*. 389: 223-232.
- Lundsten, L., McClain, C.R., Barry, J.P., Cailliet, G.M., Clague, A., and DeVogelaere, A.P. 2009b. Ichthyofauna on Three Seamounts Off Southern and Central California, USA. *Marine Ecology Progress Series*. 374: 23-32.
- Masuda, M.M., and Stone, R.P. 2015. Bayesian logistic mixed-effects modelling of transect data: relating red tree coral presence to habitat characteristics. *ICES Journal of Marine Science*. 72: 2674–2683.
- Miyamoto, M., and Yonezaki, S. 2019. Updating assessment of the potential impacts of Japanese bottom fisheries on vulnerable marine ecosystems (VMEs) in the Emperor Seamounts region. NPFC-2019-SSC VME04-WP02. 17 pp.
- Morato, T., Pham, C.K., Pinto, C., Golding, N., Ardrón, J.A., Muñoz, P.D., and Neat, F. 2018. A multi-criteria assessment method for identifying vulnerable marine ecosystems in the North-East Atlantic. *Frontiers in Marine Science*. 5: 460.
- Naimi, B., Hamm, N.A., Groen, T.A., Skidmore, A.K., and Toxopeus, A.G. 2014. Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling. *Ecography*. 37: 191-203.
- North Pacific Fisheries Commission Scientific Committee (NPFC-SC). 2022a. 7th Meeting Report. NPFC-2022-SC07-Final Report. 250 pp.
- North Pacific Fisheries Commission Scientific Committee (NPFC-SC). 2022b. North Pacific Fisheries Commission Scientific Committee 2022-2026 Research Plan. NPFC-2022-SC07-WP01. 9 pp.
- North Pacific Fisheries Commission Scientific Committee (NPFC-SC). 2023. 8th Meeting Report. NPFC-2022-SC08-WP01.
- North Pacific Fisheries Commission Small Scientific Committee on Bottom Fish and Marine Ecosystems (NPFC-SSC BFME). 2021. 2nd Meeting Report. NPFC-2021-SSC BFME02-Final Report. 132 pp.
- North Pacific Fisheries Commission Small Scientific Committee on Bottom Fish and Marine Ecosystems (NPFC-SSC BFME). 2022. 3rd Meeting Report. NPFC-2022-SSC BFME03-Final Report. 123 pp.
-

-
- North Pacific Fisheries Commission Small Scientific Committee on Bottom Fish and Marine Ecosystems (NPFC-SSC BFME). 2023. 4th Meeting Report. NPFC-2022-SSC BFME04-Final Report.
- North Pacific Fisheries Commission (NPFC-COM). 2023. 7th Meeting Report. NPFC-2023-COM07-Final Report. 1132 pp.
- North Pacific Fisheries Commission (NPFC-COM). 2024. 8th Meeting Report. NPFC-2024-COM08-Final Report. 734 pp.
- North Pacific Fisheries Commission (NPFC).2023a. Conservation and Management Measure (CMM) 2023-05 for Bottom Fisheries and Protection of Vulnerable Marine Ecosystems in the Northwestern Pacific Ocean.
- North Pacific Fisheries Commission (NPFC). 2023b. Conservation and Management Measure (CMM) 2023-06 for Bottom Fisheries and Protection of Vulnerable Marine Ecosystems in the Northeastern Pacific Ocean.
- Parker T & Tunnicliffe V. 1994. Dispersal strategies of the biota on an oceanic seamount: implications for ecology and biogeography. *The Biological Bulletin*. 187: 336-345.
- Rooper, C.N., Goddard, P., Wright, C., Conrath, C., Rand, K., and Lowe, V. 2023. Joint Canada-USA International Seamount Survey update for 2023. NPFC-2023-SSC BFME04-MIP02.
- Rowden, A.A., Anderson, O.F., Georgian, S.E., Bowden, D.A., Clark, M.R., Pallentin, A., and Miller, A. 2017. High-Resolution Habitat Suitability Models for the Conservation and Management of Vulnerable Marine Ecosystems on the Louisville Seamount Chain, South Pacific Ocean. *Frontiers in Marine Science*. 4: 335.
- Rowden, A., Dower, J.F., Schlacher, T.A., Consalvey, M., and Clark, M.R. 2010. Paradigms in seamount ecology: fact, fiction and future. *Marine Ecology*. 31: 226–241.
- Rowden, A.A., Pearman, T.R.R., Bowden, D.A., Anderson, O.F., and Clark, M.R. 2020. Determining coral density thresholds for identifying structurally complex vulnerable marine ecosystems in the deep sea. *Frontiers in Marine Science*. 7: 95.
- United Nations General Assembly (UNGA). 2006. United Nations General Assembly Resolution 61/105 (UNGA 61/105). Sustainable fisheries, including through the 1995 Agreement for the Implementation of the Provisions of the United Nations Convention on the Law of the Sea of 10 December 1982 relating to the Conservation and Management of Straddling Fish Stocks and Highly Migratory Fish Stocks, And Related Instruments.
- Vierod, A.D., Guinotte, J.M., and Davies, A.J. 2014. Predicting the distribution of vulnerable marine ecosystems in the deep sea using presence-background models. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 99: 6-18.
- Warawa, D.R., Chu, J.W.F., Rooper, C.N., Georgian, S., Nephin, J., Dudas, S., Knudby, A., and Curtis, J.M.R. 2021. Using Predictive Habitat Models and Visual Surveys to Identify Vulnerable Marine Ecosystems on Seamounts in the North Pacific Fisheries Commission Convention Area NPFC-2021-SSC BFME02-WP05. (Accessed: 19 December 2023).
- Warawa, D.R., Chu, J.W.F., Gasbarro, R., Rooper, C.N., Georgian, S., Nephin, J., Dudas, S., Knudby, A., and Curtis, J.M.R. 2022. Vulnerable Marine Ecosystems (VMEs) in the Northeast Part of the North Pacific Fisheries Commission Convention Area NPFC-2022-SSC BFME03-WP03.

-
- Warawa, D.R., Rooper, C.N., Nephin, J., Chu, J.W.F., Dudas, S., Knudby, A., Georgian, S., and Curtis, J.M.R. 2023a. Identifying VMEs on Cobb Seamount using visual data NPFC-2023-SSC BFME04-WP13.
- Warawa, D.R., Nephin, J., Rooper, C.N., Chu, J.W.F., Dudas, S., Knudby, A., Georgian, S., and Curtis, J.M.R. 2023b. Identifying likely VMEs on the Cobb-Eickelberg seamount chain based on predictive modelling. NPFC-2023-SSC BFME04-WP12.
- Wood, S.N. 2011. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society B*: 73(1): 3-36.
- Wood, S.N. 2017. [Generalized additive models: An Introduction with R, 2nd edition](#). Chapman and Hall/CRC, 496 p.

ANNEXE A – MODÈLE DE SEUIL DE DENSITÉ DES INDICATEURS DES EMV

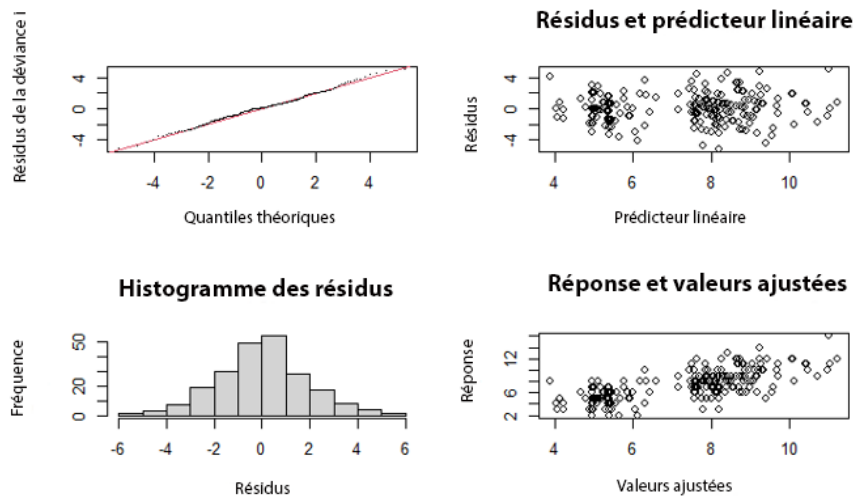


Figure A1. Diagrammes d'évaluation du modèle pour le MAG du seuil de densité des indicateurs des EMV à l'aide de `gam.check()` pour examiner les valeurs résiduelles.

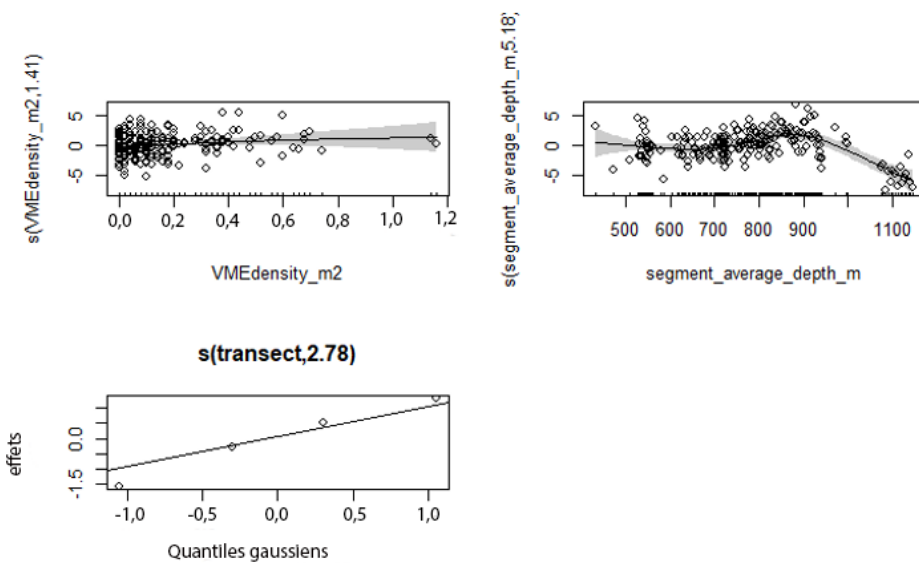


Figure A2. Diagrammes des effets marginaux pour le MAG du seuil de densité des indicateurs des EMV.

ANNEXE B – MODÈLE DE DENSITÉ DES INDICATEURS DES EMV

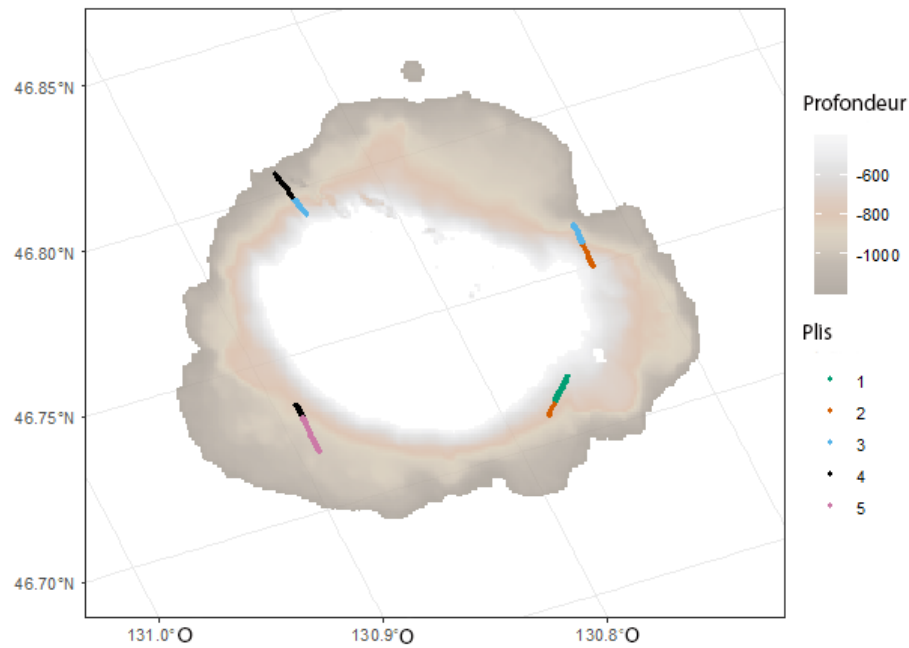


Figure B1. 5 plis utilisés pour tester les données.

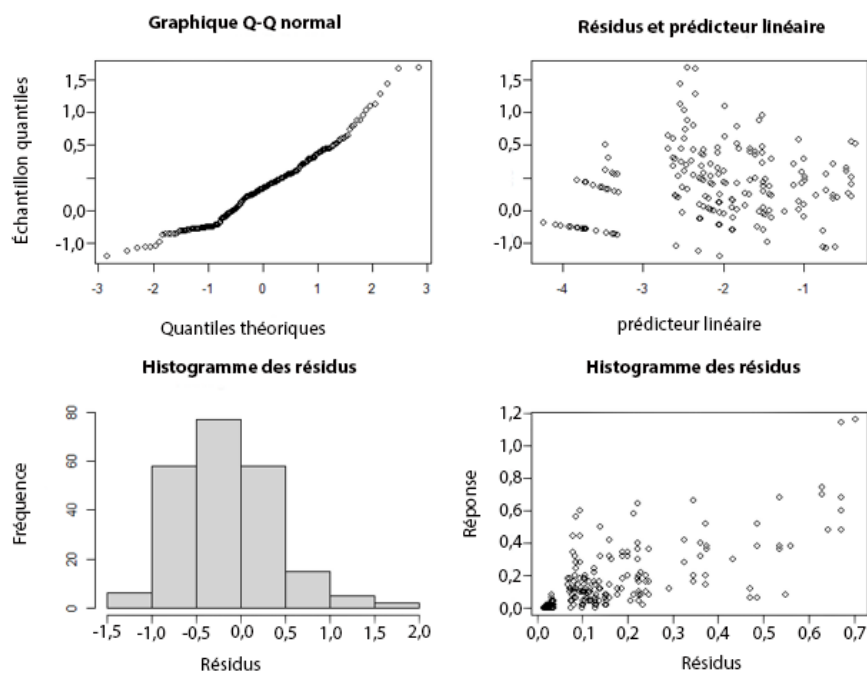


Figure B2. Diagrammes d'évaluation du modèle de densité des EMV à l'aide de `gam.check()` pour examiner les valeurs résiduelles.

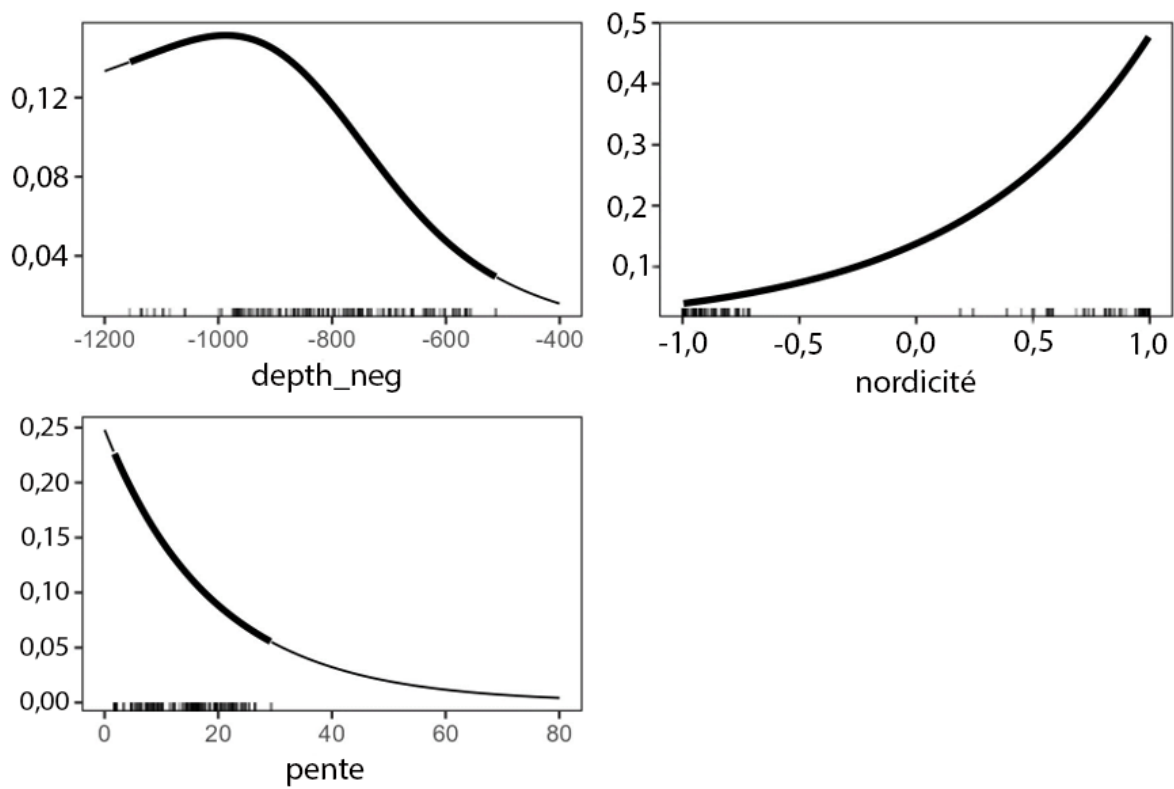


Figure B3. Diagrammes des effets marginaux pour le MAG de densité des EMV.