



ZONES DE GESTION ADAPTATIVE DES RÉCIFS D'ÉPONGES SILICEUSES POUR LA ZONE DE PROTECTION MARINE DU DÉTROIT D'HÉCATE ET DU BASSIN DE LA REINE-CHARLOTTE EN COLOMBIE-BRITANNIQUE

Contexte

Les zones de protection marines (ZPM) jouent un rôle important dans la conservation des écosystèmes marins à l'échelle mondiale. En vertu de la *Loi sur les océans* du Canada, Pêches et Océans Canada (MPO) a établi neuf refuges marins de récifs d'éponges siliceuses dans le détroit de Georgie et huit dans la baie Howe, en Colombie-Britannique. En outre, le MPO a mis en place la [zone de protection marine des récifs d'éponges siliceuses du détroit d'Hécate et du bassin de la Reine-Charlotte](#) (ZPM DH-BRC) afin de protéger les éponges siliceuses de trois complexes de récifs distincts sur le plan spatial : le récif nord, les récifs centraux et le récif sud (Gouvernement du Canada 2017). Chaque complexe est formé de trois types de zones de gestion, soit la zone de protection centrale, la zone de gestion adaptative et la zone verticale de gestion adaptative. Les activités humaines nuisibles sont interdites dans les zones de protection centrales, mais les règlements sur les ZPM autorisent la tenue de certaines activités de pêche limitées dans les zones de gestion adaptative et les zones verticales de gestion adaptative, notamment les pêches récréatives et les pêches autochtones à des fins alimentaires, sociales et rituelles. À l'heure actuelle, toutes les activités de pêche entrant en contact avec le fond et de pêche au chalut pélagique sont interdites dans les zones de protection marine par des ordonnances modificatives prises en vertu de la *Loi sur les pêches*. Bien que la ZPM DH-BRC soit conçue pour protéger les écosystèmes marins uniques formés par les récifs d'éponges siliceuses, son efficacité dépend de la façon dont les limites de la zone de gestion adaptative fonctionnent comme mesure de protection. Les limites actuelles de la zone de gestion adaptative à l'intérieur de la ZPM du détroit d'Hécate et du bassin de la Reine-Charlotte varient de 0,6 à 4,5 km des limites de la zone de protection centrale. Les récifs d'éponges siliceuses au large de la Colombie-Britannique sont l'habitat de nombreux poissons importants sur le plan commercial et sont soumis à la pression de la pêche, comme la pêche au chalut entrant en contact avec le fond. La pêche au chalut entrant en contact avec le fond peut causer des dommages physiques directs à l'habitat, ainsi que des impacts négatifs sur les récifs d'éponges siliceuses, indirectement, en mettant en suspension une grande quantité de sédiments qui peuvent ensuite être transportés dans la zone de protection centrale.

Les éponges siliceuses sont des organismes de filtration très efficaces qui sont constamment en train de filtrer l'eau et de pomper des particules organiques et inorganiques. Cependant, elles peuvent arrêter rapidement leurs activités de pompage lorsqu'elles sont exposées aux sédiments. De multiples arrêts peuvent réduire l'absorption d'énergie des éponges siliceuses, ce qui pourrait avoir des répercussions négatives sur leur santé, mais les effets à long terme de l'exposition répétée aux sédiments et des arrêts sur leur santé et la population demeurent une lacune dans les connaissances (Grant *et al.* 2019). Grant et ses collaborateurs (2018) ont constaté que dans le détroit de Georgie, les éponges siliceuses cessent de pomper (arrêt) à des concentrations de sédiments en suspension bien inférieures à celles qui peuvent être déclenchées par le chalutage entrant en contact avec le fond. Par ailleurs, ils ont aussi

remarqué (2019) que les différentes espèces d'éponges siliceuses présentes dans la ZPM DH-BRC réagissent différemment à l'exposition aux sédiments en suspension. Ils ont montré que la distance requise entre les zones de gestion adaptative et les zones de protection centrales dépend des conditions environnementales océaniques et ont suggéré que les zones de gestion adaptative existantes dans la ZPM DH-BRC ne sont peut-être pas adéquates pour offrir une conservation efficace.

La Direction de la gestion des océans du MPO a demandé à la Direction des sciences du MPO : 1) d'évaluer si les limites actuelles de la zone de gestion adaptative sont suffisantes pour protéger les récifs d'éponges siliceuses contre les effets des sédiments remis en suspension par les engins de pêche mobiles et ceux qui entrent en contact avec le fond; et 2) d'estimer de nouvelles limites de la zone de gestion adaptative si les limites actuelles ne fournissent pas une protection suffisante pour les récifs d'éponges.

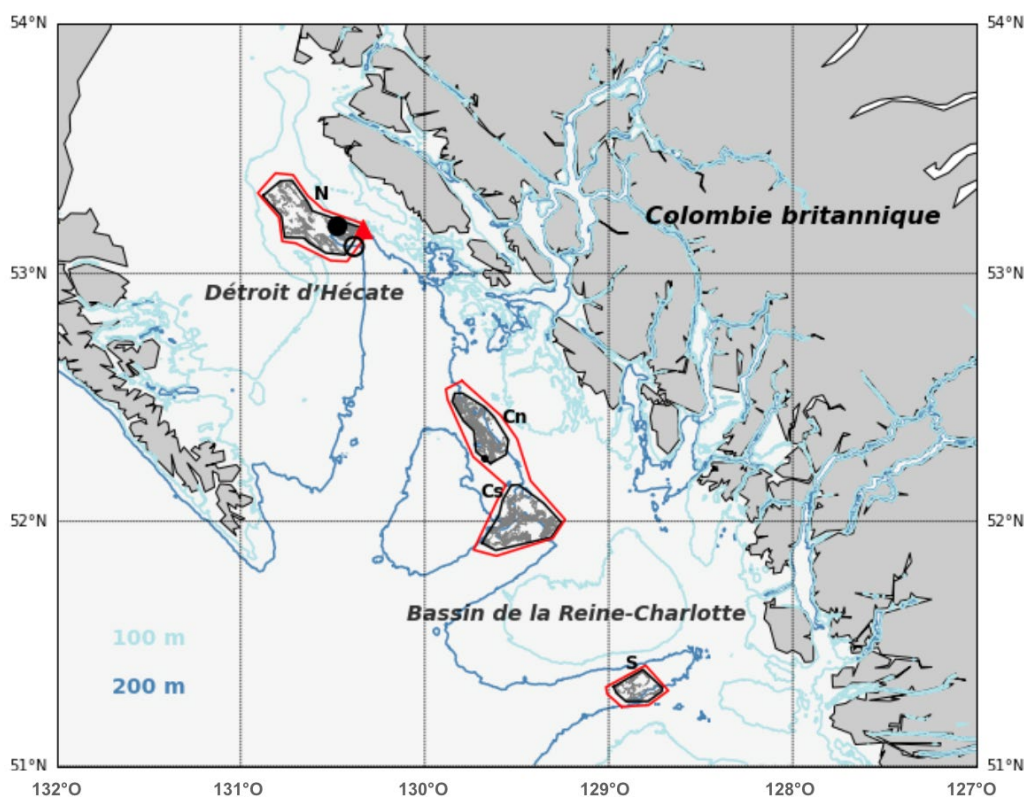


Figure 1. La ZPM du déroit d'Hécate et du bassin de la Reine-Charlotte, située en Colombie-Britannique, au Canada, se compose de quatre récifs d'éponges siliceuses (lignes grises) entourés de zones de protection centrales (polygones noirs) et de zones de gestion adaptative (polygones rouges). N, Cn, Cs et S représentent les récifs nord, centre-nord, centre-sud et sud, respectivement. Le triangle rouge indique un sommet de la zone de protection centrale du récif nord, où le courant du modèle est comparé aux courants observés aux deux sites voisins (cercle noir ouvert et cercle noir plein). Les courants observés proviennent de Grant et al. 2019 (cercle noir plein) et de l'Institut des sciences de la mer (cercle noir ouvert).

La présente réponse des Sciences découle du processus de réponse des Sciences régional au 20 novembre 2020 sur les Zones de gestion adaptative liées aux zones de protection marine des récifs d'éponges siliceuses du déroit d'Hécate et du bassin de la Reine-Charlotte.

Renseignements de base

Pour déterminer les zones de gestion adaptative existantes dans la ZPM DH-BRC, nous avons tenu compte de l'exposition potentielle aux sédiments en suspension transportés par les courants près du fond jusqu'aux récifs d'éponges siliceuses, mais pas des concentrations seuils d'arrêt (Boutillier *et al.* 2013). Grant et ses collaborateurs (2018, 2019), dans leurs travaux conceptuels, ont intégré des concentrations seuils d'arrêt mesurées, mais pas la direction des courants près du fond. Dans la présente réponse des Sciences, nous utilisons un modèle de transport des sédiments avec forçage par des courants horizontaux variables près du fond (Masson et Fine 2012) et des seuils d'arrêt dans les récifs d'éponges (Grant *et al.* 2019) pour réévaluer la taille et la forme des zones de gestion adaptative de la ZPM DH-BRC. D'après Reed et ses collaborateurs (2019), *Rhabdocalyptus dawsoni* et *Heterochone calyx* s'arrêtent à des concentrations de sédiments de 2,8 à 6,4 mg/l et de 5 à 10 mg/l, respectivement, dans la ZPM DH-BRC, et les taux de filtration de *Farrea occa* étaient trop faibles pour être enregistrés. La moyenne des concentrations de fond des sédiments en suspension était de 2,7 mg/l, avec un écart-type de 0,1 mg/l.

Modélisation des sédiments

Cette étude utilise un modèle simple de transport des sédiments pour estimer la distribution de la concentration des sédiments résultant des engins de pêche mobiles entrant en contact avec le fond. Dans notre modélisation, nous présumons que toutes les particules sont des sphères sans floculation des particules; nous ne prenons pas en compte la remise en suspension des particules, la turbulence de l'eau ou la stratification. Les données sur la composition et la taille observées des sédiments sont tirées de Grant *et al.* (2019) et reproduites dans le tableau 1.

Tableau 1. Taille et composition représentatives des grains pour le détroit d'Hécate. L'information provient de Grant et al. (2019). À noter qu'il y a de légères différences entre nos valeurs en pourcentage de composition et les leurs. Ces différences sont dues au fait que nous utilisons la somme des poids des composantes plutôt que le poids total indiqué dans Grant et al. (2019).

Classification	Taille des grains (um)	Composition selon le poids (%)
> Sable fin	> 212	69,19
Sable fin	212-106	15,74
Sable très fin	106-63	5,35
Limon grossier	63-45	2,93
Limon moyen	45-20	6,08
Limon fin	< 20	0,72

Déplacement vertical

À la verticale, la vitesse de sédimentation des particules est régie par l'équation de sédimentation de Stokes. Le temps total de dépôt d'une particule en suspension à une hauteur donnée au-dessus du fond marin est calculé pour chaque taille de grain (tableau 2).

Tableau 2. Vitesse de sédimentation des particules et temps de suspension pour chaque taille de grain dans Grant et al. (2019).

Classification	Vitesse de sédimentation (cm/s)	Temps de suspension (h) pour la hauteur initiale de 5 m
> Sable fin	2,607	0,05
Sable fin	1,470	0,09
Sable très fin	0,425	0,33
Limon grossier	0,184	0,75
Limon moyen	0,067	2,08
Limon fin	0,025	5,50

La vitesse de sédimentation dépend de la taille du grain (tableau 2). Elle varie de 2,607 cm/s pour les grains plus gros que le sable fin à 0,025 cm/s pour le limon fin. Le temps de suspension dépend à la fois de la taille du grain et de la hauteur initiale de la suspension au-dessus du fond marin. Nous considérons ici un nuage de sédiments dont la hauteur de suspension initiale est de 5 m au-dessus du fond. L'utilisation de 5 m comme hauteur de suspension initiale est expliquée dans la section Analyse et réponse. Le temps de suspension, qui varie linéairement avec la hauteur de suspension initiale, est indiqué pour les sédiments dont la hauteur initiale est de 5 m au-dessus du fond marin (tableau 2). Pour cette hauteur initiale, le temps de suspension varie de 0,05 h pour les grains plus gros que le sable fin à 5,5 h pour le limon fin. Pour une taille de grain donnée, tous les sédiments à moins de 5 m se déposent avant les sédiments à 5 m.

Déplacement horizontal

À l'horizontale, le mouvement des sédiments est forcé par les courants de marée et les courants indépendants de la marée. La dispersion des particules n'est pas prise en compte. La distance de déplacement horizontal et la direction de la particule avant son dépôt sur le fond marin sont calculées en multipliant les vitesses moyennes sur 4 h par le temps de sédimentation, puisque le temps de sédimentation pour les sédiments qui pourrait causer l'arrêt de *R. dawsoni* (seuil de 2,8 à 6,4 mg/l) est d'environ 4 h pour la zone d'étude (voir plus de détails dans la section Analyse et réponse).

Les courants océaniques horizontaux qui sont utilisés pour le forçage du transport des sédiments sont dérivés d'un modèle tridimensionnel de circulation océanique pour les eaux côtières et du plateau continental de la Colombie-Britannique (Masson et Fine 2012), fondé sur le système de modélisation océanique régionale (ROMS). Ce modèle a une résolution horizontale de 3 km et 30 niveaux verticaux. Il comprend huit grands constituants des marées et la circulation résultant du forçage atmosphérique, du ruissellement des rivières et du forçage océanique à grande échelle. Nous utilisons les courants horaires du niveau du fond pour chaque heure de la première moitié de 2007, fournis par M. Isaac Fain. L'épaisseur du niveau du fond varie horizontalement, mais nous n'avons pas de données détaillées pour les examiner ici.

Les courants au fond horaires modélisés sont indiqués pour l'emplacement d'un sommet de la zone de protection centrale (triangle, figure 1) dans le récif nord (figure 2 et figure 3). Les variations temporelles des courants modélisés sont dominées par les courants de marée semi-diurnes, avec les fluctuations des marées de mortes-eaux et de vives-eaux (figure 2). Les courants modélisés montrent une direction dominante nord-ouest-sud-est de l'écoulement

(figure 3). Les courants forts, y compris le courant maximal, se produisent à peu près dans la direction de l'écoulement principal.

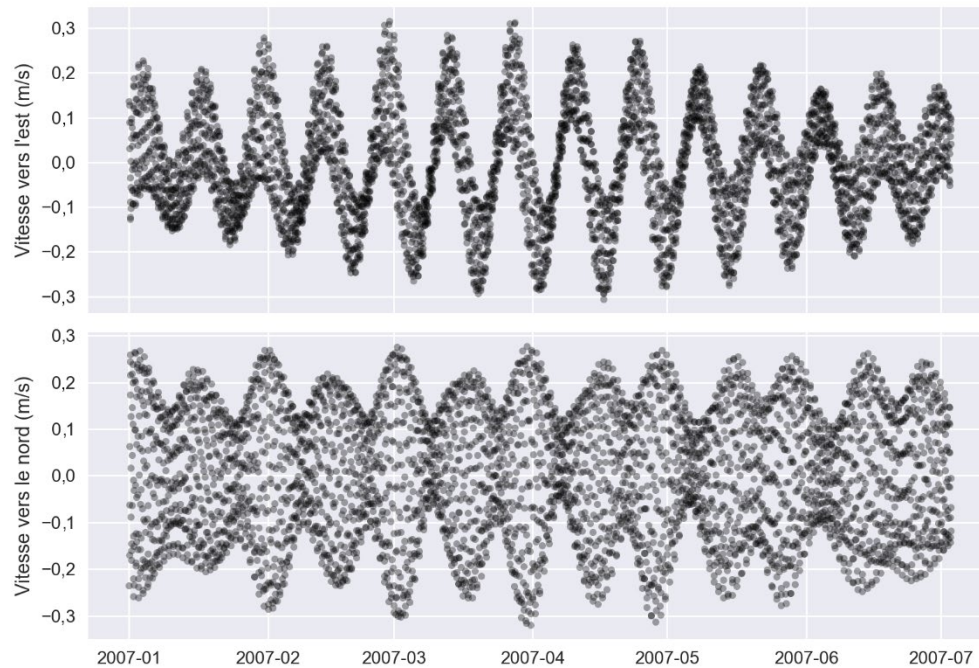


Figure 2. Série chronologique des courants au fond horaires vers l'est et le nord à un sommet de la zone de protection centrale (triangle, figure 1) du récif nord. Les courants sont tirés de Masson et Fain (2012).

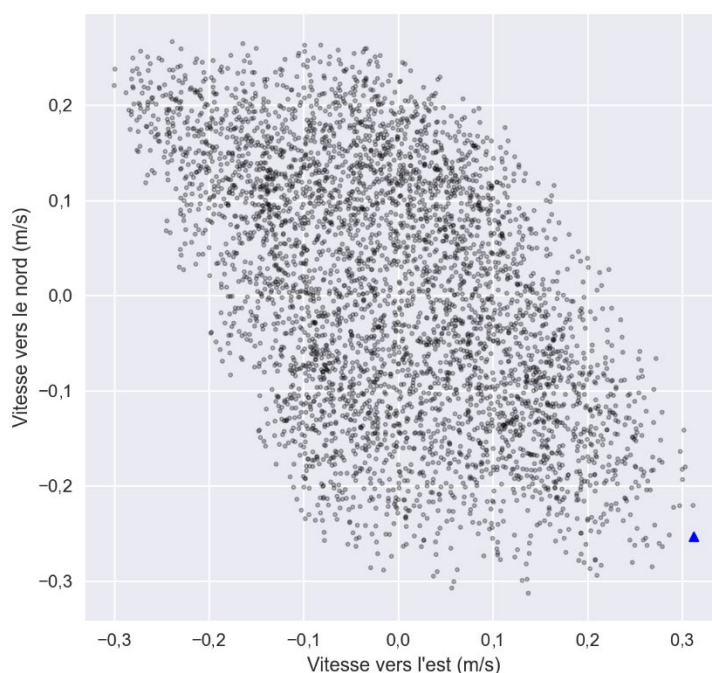


Figure 3. Diagramme de dispersion des courants au fond horaires modélisés à un sommet de la zone de protection centrale (triangle, figure 1) du récif nord pendant six mois. Le courant horaire maximal est représenté par le triangle bleu.

Ensuite, nous comparons les courants au fond modélisés aux courants observés. Grant et ses collaborateurs (2019) ont recueilli des données sur les courants près du fond à un site (cercle plein, figure 1) près de l'emplacement du sommet ci-dessus pendant moins d'un mois. La moyenne sur 4 heures des courants observés pendant les cycles de marée était de 0,274 et 0,120 m/s à 5 et 1 m au-dessus du fond marin, respectivement. La moyenne sur 4 heures du courant au fond maximal au sommet proche de la zone de protection centrale (triangle, figure 1) est de 0,368 m/s pendant le premier semestre de 2007. On s'attend à ce que le courant de 4 h maximal modélisé soit supérieur au courant de 4 h observé, puisque ce dernier est fondé sur un enregistrement de données sur moins d'un mois (Grant *et al.* 2019) et ne reflète pas un cycle complet de marées de mortes-eaux et de vives-eaux ou autant de tempêtes en six mois. Il est donc raisonnable de supposer que les courants au fond modélisés peuvent représenter approximativement les courants rencontrés par les sédiments en suspension à environ 5 m au-dessus du fond marin.

Il existe également des données de courantomètres amarrés à environ 7 m au-dessus du fond marin à un site proche (cercle ouvert, figure 1) dans le récif nord, de juillet 2017 à juin 2018. Les données de la série chronologique pour 2018 révèlent des variations des marées semi-diurnes, avec des fluctuations des marées de mortes-eaux et de vives-eaux (figure 4). Le diagramme de dispersion montre une direction dominante est-ouest de l'écoulement, mais le courant maximal est presque perpendiculaire à la direction dominante (figure 5). Des courants forts peuvent se produire dans n'importe quelle direction. Les données du deuxième semestre de 2017 (non illustrées) présentent des profils d'écoulement globalement cohérents avec ceux du premier semestre de 2018, ce qui justifie l'utilisation ici de six mois de courants modélisés. Le courant de 4 h maximal observé est de 0,367 m/s pour le premier semestre de 2018, avec la direction dominante est-ouest de l'écoulement. L'amplitude maximale du courant de 4 h modélisé, au

Région du Pacifique

sommet proche de la zone de protection centrale (triangle, figure 1) est de 0,368 m/s pour le premier semestre de 2007, la direction dominante étant nord-ouest-sud-est. De plus, il existe un degré élevé de variabilité temporelle des courants observés qui ne se retrouve pas dans les courants modélisés. Il est important de garder à l'esprit la bonne concordance modèle-observation de l'ampleur du courant maximal et le grand écart modèle-observation de la direction des courants forts, y compris le courant maximal.

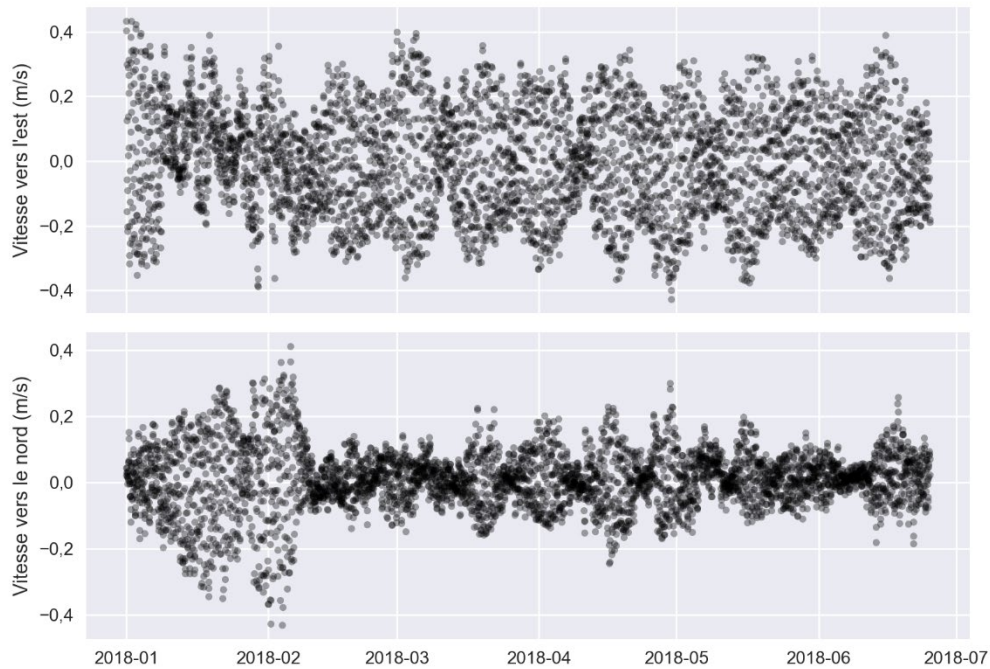


Figure 4. Série chronologique des courants horaires observés vers l'est et le nord près du fond à un site (130°23'O, 53°6,5'N, cercle ouvert, figure 1) dans le récif nord.

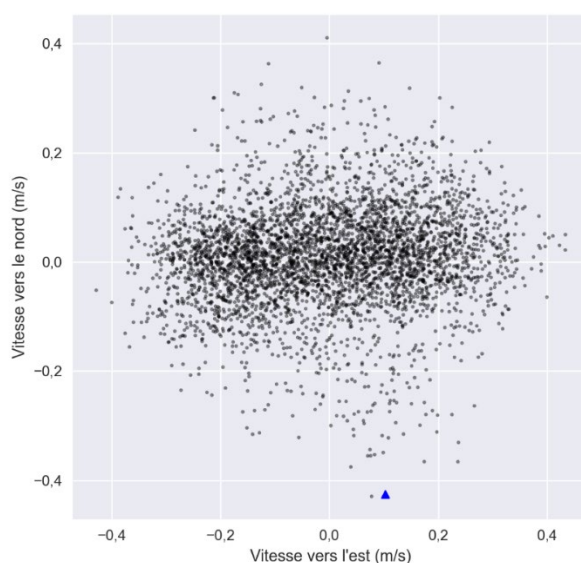


Figure 5. Diagramme de dispersion des courants horaires près du fond observés à un site dans le récif nord (cercle ouvert, figure 1) pendant une demi-année. Le courant horaire maximal est représenté par le triangle bleu.

Analyse et réponse

Distance d'impact

Nous comparons la répartition modélisée de la concentration des sédiments aux concentrations seuils d'impact connues des récifs d'éponges siliceuses pour estimer la distance d'impact potentielle du panache de sédiments provoqué par la pêche entrant en contact avec le fond toutes les heures pendant une demi-année. Nous utilisons une concentration seuil de 2,8 mg/l pour *R. dawsoni* et de 5 mg/l pour *H. calyx*, respectivement, dans la ZPM DH-BRC (Grant *et al.* 2019). Ces concentrations seuils sont les limites inférieures des plages de concentrations pour l'arrêt, soit de 2,8 à 6,4 mg/l et de 5 à 10 mg/l pour *R. dawsoni* et *H. calyx*, respectivement. La concentration de fond des sédiments de 2,7 mg/l est proche des limites inférieures des concentrations seuils observées et est donc prise en compte afin de protéger les récifs contre l'arrêt. Lorsqu'on tient compte de la concentration de fond de 2,7 mg/l, la concentration seuil efficace pour les sédiments induits par la pêche est de 0,1 mg/l pour *R. dawsoni* et de 2,3 mg/l pour *H. calyx*, respectivement, dans la ZPM DH-BRC.

La concentration initiale, la taille des grains et la hauteur de suspension des sédiments, ainsi que les courants océaniques, déterminent la distance de déplacement des sédiments et la répartition de la concentration. La répartition de la concentration peut servir à déterminer si une espèce peut être touchée par un panache de sédiments, de même que la distance d'impact.

La figure 6 montre la variation de la hauteur des sédiments au-dessus du fond marin avec la distance parcourue pour chaque grosseur de grain pour une hauteur initiale de 5 m au-dessus du fond marin et une vitesse type du courant de 0,35 m/s. On peut voir que c'est le limon fin qui est transporté le plus loin (6,9 km) avant de se déposer.

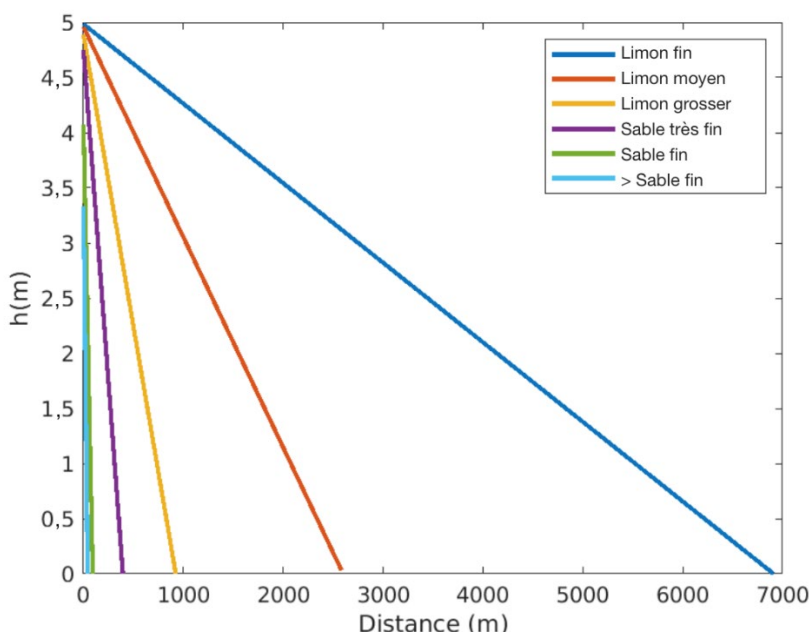


Figure 6. Distance parcourue par chaque taille de grain trouvée dans la ZPM DH-BRC pour une hauteur initiale de 5 m au-dessus du fond avec un courant représentatif maximal de 4 h de 0,35 m/s.

Les chaluts à panneaux, les chaluts à crevettes, les palangres et les casiers à crevettes sont couramment utilisés dans les eaux entourant la ZPM DH-BRC, les chaluts à panneaux et les chaluts à crevettes causant des perturbations beaucoup plus importantes sur les sédiments du fond que les deux autres engins (Boutillier *et al.* 2013). Les chaluts à panneaux peuvent produire des concentrations de sédiments en suspension pouvant atteindre 200 mg/l à moins de 2 m au-dessus du fond marin (Mengual *et al.* 2016). En appliquant certaines mesures (p. ex. panneaux Jumper), on peut ramener les concentrations de sédiments en suspension jusqu'à 20-100 mg/l; même si les sédiments peuvent parfois atteindre 6 m au-dessus du fond marin, en tout temps leurs concentrations à 4, 5 et 6 m sont inférieures à 50 %, 30 % et 10 % de la concentration maximale d'environ 200 mg/l, respectivement (Mengual *et al.* 2016). Les chaluts à crevettes pouvaient produire des concentrations de sédiments en suspension jusqu'à 550 mg/l à 1 ou 2 m au-dessus du fond marin, les valeurs diminuant à 430 mg/l (environ 80 % du maximum) à environ 3 m au-dessus du fond marin (Schubel *et al.* 1978). Par mesure de précaution, nous utilisons le chalut à crevettes comme indicateur pour les activités de pêche entrant en contact avec le fond dans cette étude. Nous appliquons donc des concentrations initiales de sédiments verticalement variables de 550, 550 et 430 mg/l à 1, 2 et 3 m au-dessus du fond marin, respectivement. Néanmoins, il n'existe pas de données pour les chaluts à crevettes au-dessus de 3 m. Par conséquent, nous utilisons les valeurs de pourcentage ci-dessus pour la concentration maximale tirées des chaluts à panneaux. Les concentrations initiales dans les sédiments utilisées à 4 et 5 m au-dessus du fond marin sont de 110 mg/l (20 % de 550) et de 14 mg/l (2,5 % de 550), respectivement, sans sédiment au-dessus de 5 m.

Nous calculons ensuite les variations de la concentration des sédiments avec la distance parcourue comme suit, à l'aide du courant au fond modélisé (en supposant implicitement que la variation du courant avec la hauteur peut être négligée).

- Préciser la concentration initiale, qui est répartie entre les classes de taille des particules selon les types de sédiments du tableau 1.

Région du Pacifique

- Chaque fraction se dépose ensuite au taux déterminé par sa vitesse de sédimentation.
- Une fraction de taille donnée est retirée du calcul une fois qu'elle se dépose sur le fond (voir le temps pendant lequel chaque fraction de taille avec une hauteur initiale de 5 m se trouve dans la colonne d'eau, dans le tableau 2).
- Une fois qu'une classe de taille se dépose sur le fond, elle n'est pas remise en suspension.

Les variations de la concentration de sédiments avec la distance parcourue sont illustrées sur la figure 7, pour les concentrations initiales de 550, 550, 430, 110 et 14 mg/l à 1, 2, 3, 4 et 5 m au-dessus du fond marin, respectivement. Le point d'intersection entre la courbe de concentration des sédiments et la ligne du seuil indique la distance d'impact. La figure 7 montre que les sédiments à 4 m au-dessus du fond marin ont la plus grande distance d'impact, de 5,1 km, pour *R. dawsoni*, tandis que les sédiments à 3 m au-dessus du fond marin ont la plus grande distance d'impact, de 2,3 km, pour *H. calyx*. C'est pourquoi nous examinerons l'impact des sédiments à 4 m seulement, en utilisant le seuil effectif pour *R. dawsoni*.

Il convient de noter que les figures 6 et 7 sont semblables à la figure 7c dans Grant *et al.* (2019). On ne sait pas pourquoi leur courbe de concentration de sédimentation devient zéro sans atteindre la distance de sédimentation du limon fin.

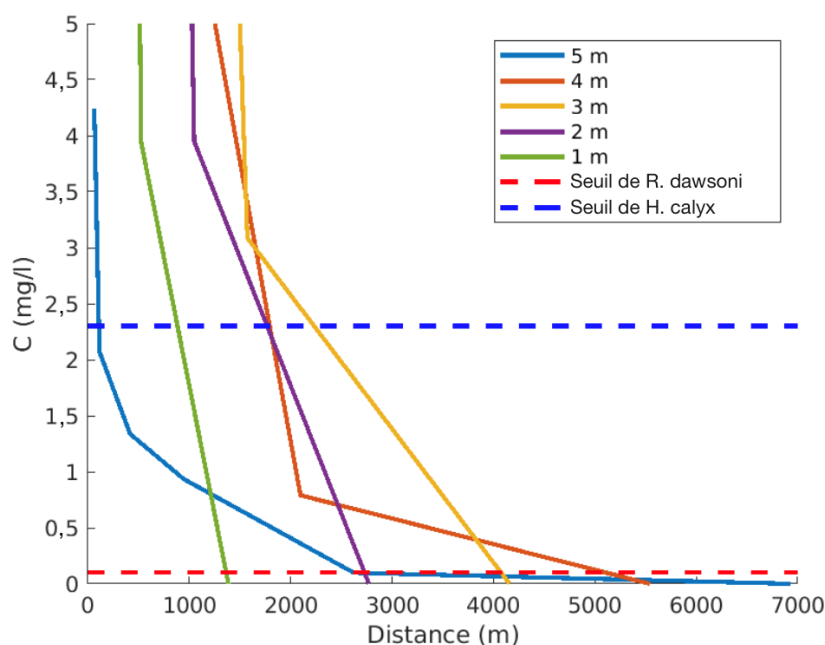


Figure 7. Changement de concentration (C) des sédiments avec la distance pour un courant maximal représentatif de 0,35 m/s pendant 4 h. Les valeurs sont fondées sur les concentrations initiales de sédiments de 550, 550, 430, 110 et 14 mg/l à 1, 2, 3, 4 et 5 m au-dessus du fond marin, respectivement. Les concentrations seuils efficaces d'arrêt de *R. dawsoni* et de *H. calyx* pour les sédiments induits par la pêche sont également indiquées (ligne pointillée).

Approches pour déterminer les zones de gestion adaptative

En appliquant une approche de précaution, nous calculons les limites de la zone de gestion adaptative de sorte que la concentration de sédiments dans la zone de protection centrale ne dépasse pas le seuil d'arrêt de *R. dawsoni* (2,8 mg/l) lorsque la concentration de fond des sédiments en suspension est prise en compte. Nous avons choisi *R. dawsoni* parce que c'est

l'espèce qui a le seuil d'arrêt observé le plus bas parmi les trois espèces d'éponges siliceuses des ZPM du détroit d'Hécate et du bassin de la Reine-Charlotte.

Approche de référence

Dans l'approche de référence, nous estimons la limite de la zone de gestion adaptative en appliquant les courants de 4 h maximaux modélisés pendant la moitié d'une année dans toutes les directions, conformément à l'approche conceptuelle décrite dans Grant *et al.* (2018, 2019). Cette approche de référence est solide dans la présente application, car 1) l'amplitude du courant de 4 h maximal modélisé correspond bien à l'amplitude du courant maximal observé et 2) les courants forts observés, y compris le courant maximal, pourraient aller dans n'importe quelle direction.

Nous calculons les sommets de la zone de gestion adaptative de sorte que la distance entre la limite de la zone de gestion adaptative et la limite de la zone de protection centrale ne soit pas inférieure à la distance d'impact maximale pendant la moitié d'une année. Une zone de protection centrale type comporte des sommets concaves et convexes (figure 8). Pour chaque sommet concave de la zone de protection centrale, nous traçons la bissectrice de l'angle en dehors de la zone de protection centrale. Le centre d'un cercle, dont le rayon est égal à une distance d'impact maximale et qui est tangentiel aux deux segments qui se croisent au sommet de la zone de protection centrale, est le sommet correspondant de la zone de gestion adaptative. Pour chaque sommet convexe de la zone de protection centrale, nous prolongeons les deux segments qui se croisent au sommet. Le centre d'un cercle, dont le rayon est égal à une distance d'impact maximale et qui est tangentiel aux deux segments prolongés, est le sommet correspondant de la zone de gestion adaptative.

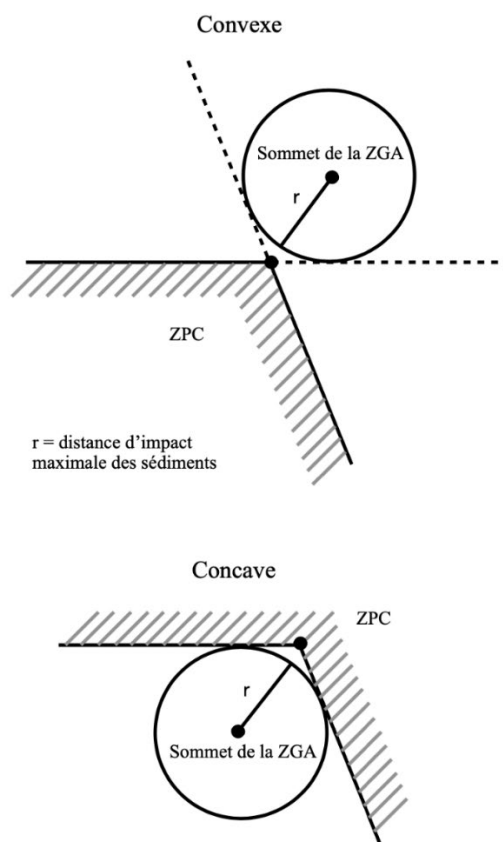


Figure 8. Schéma montrant comment déterminer le sommet de la zone de gestion adaptative pour les sommets convexe et concave de la zone de protection centrale, respectivement. L'angle intérieur est inférieur à 180° à un sommet convexe et supérieur à 180° à un sommet concave.

Autre approche

Comme solution de rechange, nous estimons la limite de la zone de gestion adaptative en utilisant à la fois l'amplitude et la direction des courants de 4 h modélisés. Comme le courant change dans le temps, la distance d'impact et la direction changent pour un emplacement donné, avec une zone d'impact locale généralement en forme d'ellipse. Dans l'autre approche, nous avons mis au point une méthode de recherche itérative pour déterminer la limite de la zone de gestion adaptative en tenant compte de l'ampleur et de la direction du courant. Nous choisissons les coordonnées zonales minimales et maximales à au moins une distance d'impact maximale des sommets les plus à l'ouest et à l'est de la zone de protection centrale, respectivement. Pour une coordonnée zonale donnée, nous choisissons d'abord un point de départ approprié; nous avançons vers le nord tous les 100 m jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de points d'ellipse à l'intérieur de la zone de protection centrale et nous consignons la dernière coordonnée zonale et méridienne; puis, à partir du point de départ, vers le sud tous les 100 m jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de points d'ellipse à l'intérieur de la zone de protection centrale et nous enregistrons les dernières coordonnées zonales et méridiennes. Ensuite, nous changeons la coordonnée zonale de 100 m et répétons la recherche ci-dessus vers le nord et vers le sud. Enfin, nous générons l'autre limite de la zone de gestion adaptative qui entoure étroitement la zone formée par les points avec les coordonnées zonales et méridiennes enregistrées et qui a le même nombre de sommets que la zone de protection centrale. Comme la limite de la zone

de gestion adaptative est d'un ordre de 1 000 m de la limite de la zone de protection centrale, la résolution spatiale de 100 m est considérée comme suffisante.

Résultats

Des cartes sont produites pour montrer les zones de gestion adaptative proposées (de référence et de rechange), ainsi que les récifs d'éponges siliceuses, les zones de protection centrales et les zones de gestion adaptative existantes (figure 9 à 11). Les valeurs des coordonnées des sommets de la zone de gestion adaptative selon l'approche de référence sont indiquées dans les tableaux 3 à 6. Il est à noter que les zones de gestion adaptative de référence initiales pour le récif centre-nord et pour le récif centre-sud se chevauchent dans une certaine mesure et sont donc fusionnées en une seule zone de gestion adaptative. Avec l'approche de référence et l'amplitude du courant maximal, la distance entre la limite de la zone de gestion adaptative de référence proposée et la limite de la zone de protection centrale varie dans l'espace de 3,5 à 10 km et davantage entre la limite de la zone de gestion adaptative existante et la limite de la zone de protection centrale (figures 9 à 11), ce qui fait que la zone de gestion adaptative de référence proposée se trouve agrandie de 556 (237 %), 801 (140 %) et 239 (239 %) kilomètres carrés pour les récifs nord, centraux et sud, respectivement. Les zones de gestion adaptative de rechange proposées en appliquant l'approche de rechange sont également plus grandes que les zones de gestion adaptative existantes, mais dans une moindre mesure (environ le tiers) que les zones de gestion adaptative de référence (tableau 6). Les zones de gestion adaptative existantes et les zones de gestion adaptative de rechange proposées sont déterminées en tenant compte à la fois de l'ampleur et de la direction des courants modélisés, mais elles sont limitées par l'écart entre les courants modélisés, comme nous l'avons vu dans la section Renseignements de base. L'utilisation de l'ampleur du courant maximal dans l'approche de référence représente environ les deux tiers de l'augmentation des superficies des zones de gestion adaptative de référence proposées par rapport aux zones de gestion adaptative existantes.

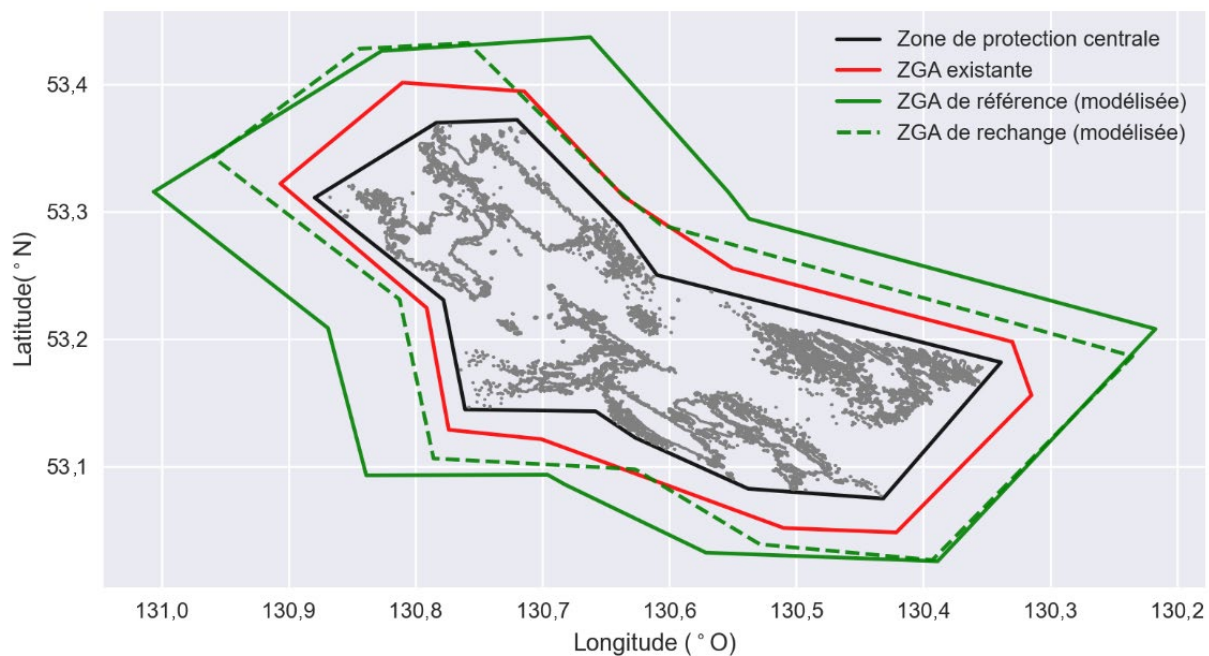


Figure 9. Carte du récif nord et de la zone de protection centrale, la zone de gestion adaptative existante, la nouvelle zone de gestion adaptative de référence et la nouvelle zone de gestion adaptative de rechange.

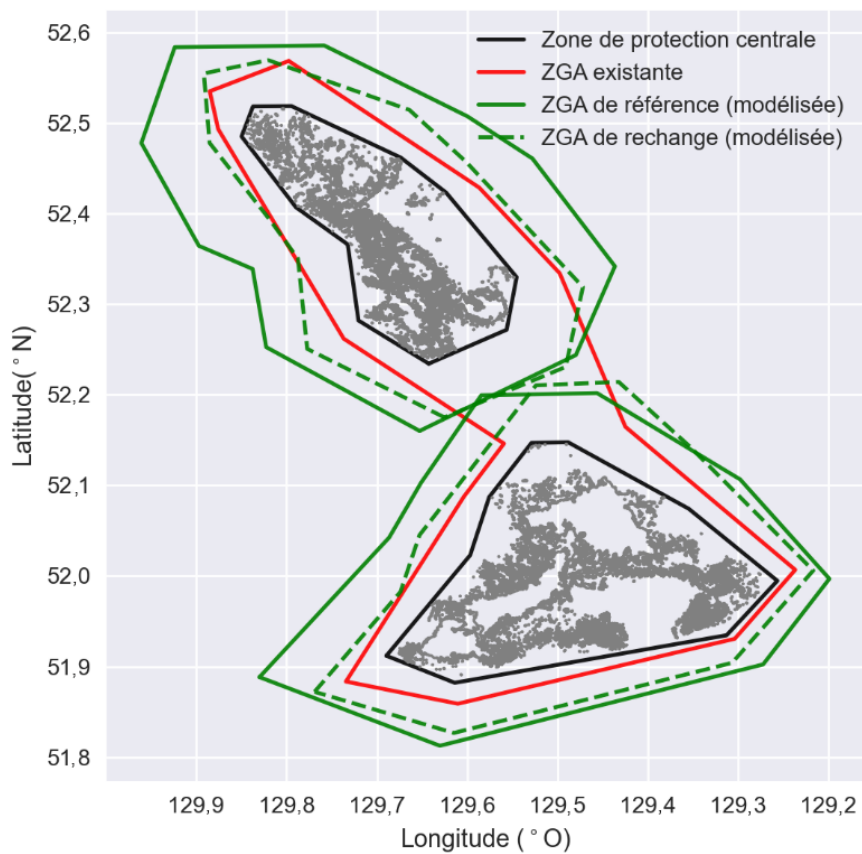


Figure 10. Carte des récifs centraux et de la zone de protection centrale, la zone de gestion adaptative existante, la nouvelle zone de gestion adaptative de référence et la nouvelle zone de gestion adaptative de rechange.

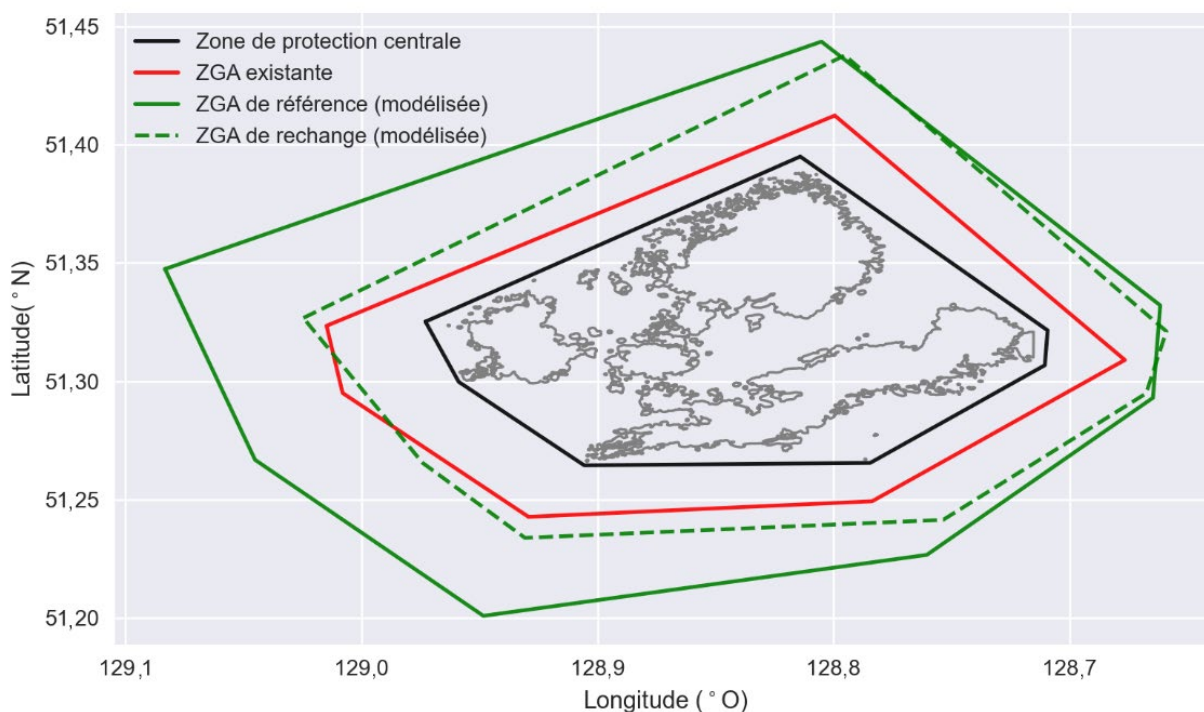


Figure 11. Carte du récif sud et de la zone de protection centrale, la zone de gestion adaptative existante, la nouvelle zone de gestion adaptative de référence et la nouvelle zone de gestion adaptative de recharge.

Tableau 3. Valeurs des coordonnées de la zone de gestion adaptative de référence pour le récif nord.

Longitude (°O)	Latitude (°N)
131,00644	53,31583
130,82691	53,42638
130,66238	53,43717
130,55363	53,31561
130,5372	53,29462
130,21692	53,20815
130,38859	53,02586
130,57133	53,0326
130,68258	53,08614
130,69607	53,09376
130,83902	53,09331
130,86914	53,20883

Région du Pacifique

Tableau 4. Valeurs des coordonnées de la zone de gestion adaptative de référence pour les récifs centraux.

Longitude (°O)	Latitude (°N)
129,65271	52,16006
129,82257	52,25254
129,8376	52,33876
129,89705	52,36426
129,96081	52,47772
129,92383	52,58343
129,75837	52,58537
129,59999	52,50728
129,5278	52,46061
129,4365	52,3417
129,47974	52,2438
129,57106	52,19959
129,45626	52,2018
129,29789	52,1066
129,19906	51,9969
129,27246	51,90239
129,63029	51,81265
129,83003	51,8884
129,68649	52,04236
129,65123	52,10272
129,59096	52,18996

Tableau 5. Valeurs des coordonnées de la zone de gestion adaptative de référence pour le récif sud.

Longitude (°O)	Latitude (°N)
129,08332	51,34744
128,80515	51,44351
128,66158	51,33209
128,66468	51,29304
128,76049	51,22669
128,94841	51,20092
129,04517	51,26684

Tableau 6. Comparaison des superficies de la zone de protection centrale et de la zone de gestion adaptative (kilomètres carrés) pour les récifs nord (N), centre-nord (Cn), centre-sud (Cs) et sud (S).

Région	Zone de protection centrale	Zone de gestion adaptative existante	Zone de gestion adaptative de référence	Zone de gestion adaptative de recharge
N	524	235	791	468
Cn	313	573	1 374	397
Cs	498			436
S	168	100	339	187

Discussion

Robustesse de l'approche de référence

Pour vérifier la robustesse, nous avons appliqué l'approche de référence et l'approche de recharge en utilisant les courants observés (voir les figures 4 et 5) pour déterminer les zones de gestion adaptative pour le récif nord seulement, en supposant que les courants près du fond dans le récif nord sont invariables horizontalement. Cette comparaison entre les approches de référence et de recharge vise à déterminer si l'utilisation de l'information sur la direction de l'écoulement produit une différence ou non. La figure 12 montre que les zones de gestion adaptative déterminées à l'aide des deux approches sont proches et à moins de 10 % l'une de l'autre (841 kilomètres carrés avec l'approche de référence et 762 kilomètres carrés avec l'approche de recharge). Ce résultat est prévisible, car les grands courants existent non seulement dans la direction de l'écoulement principal, mais également dans la direction de l'écoulement secondaire. La zone de gestion adaptative de référence (791 kilomètres carrés, tableau 6) correspond à moins de 10 % près aux zones de gestion adaptative ci-dessus d'après les courants observés, mais la zone de gestion adaptative de recharge (468 kilomètres carrés, tableau 6) est de 39 % plus petite (figure 12). Comme le montre le graphique, la sous-estimation se situe dans la partie sud-ouest-nord-est et est clairement attribuable à la sous-estimation par le modèle des courants océaniques dans cette direction (voir les figures 3 et 5). Ce résultat indique que l'approche de référence est solide en appliquant le courant maximal modélisé dans toutes les directions, ce qui atténue efficacement le défaut qui fait que le modèle ne reproduit pas les grands courants dans la direction sud-ouest-nord-est. Cela dit, il est admis que la vérification porte uniquement sur le récif nord.

Dans l'autre approche, on estime la limite de la zone de gestion adaptative en utilisant l'amplitude et la direction des courants de 4 h modélisés. Dans leur approche du déplacement de la marée, Boutillier et ses collaborateurs (2013) ont également utilisé l'ampleur et la direction des courants modélisés dans Masson et Fine (2012) pour estimer les zones de gestion adaptative existantes. Ainsi, l'approche de recharge peut aussi servir à démontrer et à expliquer pourquoi nous ne recommandons pas l'approche décrite dans Boutillier *et al.* (2013). Comme le courant varie dans le temps, la distance d'impact et la direction changent pour un emplacement donné. Au cours des six mois de nos simulations, la zone d'impact locale a généralement la forme d'une ellipse, largement déterminée par les courants de marée au fond. Par exemple, on peut estimer la taille et la forme approximatives de l'ellipse pour le récif nord en multipliant les vitesses modélisées à la figure 3 par le temps d'intégration de 2 heures. Toutefois, la zone d'impact réelle devrait ressembler à un cercle qui peut être estimé en multipliant les vitesses observées à la figure 5 par le temps d'intégration de 4 heures. Alors que l'axe principal (long) de l'ellipse d'impact d'après la vitesse modélisée est proche du diamètre du cercle d'impact fondé sur la vitesse observée, l'axe mineur (court) de l'ellipse d'impact est

beaucoup plus court que le diamètre du cercle d'impact. L'approche de recharge et l'approche décrite dans Boutillier *et al.* (2013) sous-estiment donc considérablement la zone d'impact locale. Par ailleurs, l'approche de référence qui utilise l'amplitude du courant maximal modélisé produit un cercle d'impact qui se rapproche bien de la zone d'impact selon la vitesse observée.

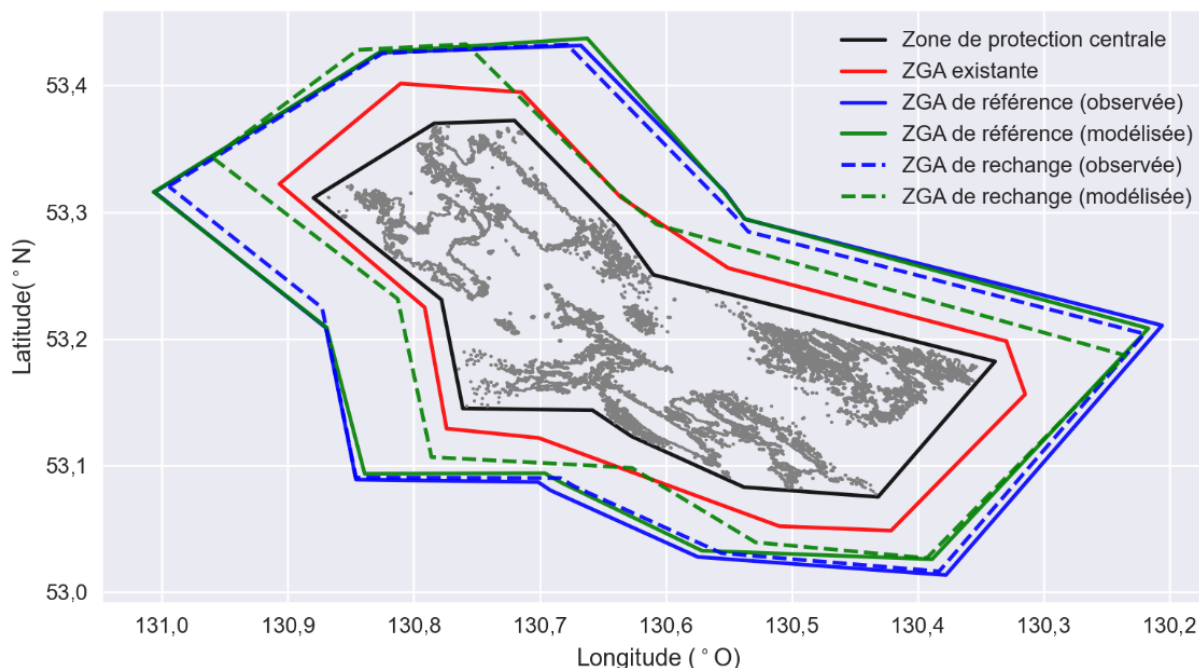


Figure 12. Carte du récif nord, de la zone de protection centrale, de la zone de gestion adaptative existante et des zones de gestion adaptative de référence produite à l'aide des courants observés et modélisés, ainsi que des zones de gestion adaptative de recharge avec les courants observés et modélisés.

Moyens de réduire les incertitudes et difficultés pour y parvenir

Un certain nombre d'hypothèses sont formulées sur les courants océaniques et les caractéristiques liées aux sédiments, et celles-ci peuvent introduire des incertitudes dans les résultats. Il y a des écarts entre les courants au fond observés et modélisés. D'autres travaux sont recommandés pour réduire ces incertitudes et ces écarts :

1. Améliorer les modèles de circulation pour produire une amplitude et une direction plus précises des courants océaniques, en particulier des courants forts qui peuvent influencer le plus le transport des sédiments. Les modèles de circulation devraient résoudre suffisamment la structure verticale des courants près du fond pour permettre d'utiliser différents courants horizontaux à différentes hauteurs à mesure que les sédiments se déposent, et les modèles pourraient inclure les effets des récifs sur les courants près du fond.
2. Recueillir plus de données sur les courants océaniques dans les zones des récifs, pour valider les modèles de circulation et pour forcer directement les modèles de transport des sédiments, le cas échéant.

Région du Pacifique

3. Observer les activités de pêche entrant en contact avec le fond près des zones d'intérêt afin de mieux quantifier la gamme des hauteurs des perturbations et des concentrations pour différents types d'engins, ainsi que l'étendue horizontale. Mieux connaître la distribution des tailles des sédiments en suspension.
4. Utiliser un modèle de transport des sédiments plus complexe qui intègre davantage de processus physiques comme la dispersion des sédiments et les changements temporels de la concentration naturelle des sédiments en suspension résultant des changements dans les courants et les vagues.
5. Améliorer la connaissance des seuils d'arrêt et des variations saisonnières et spatiales des concentrations de fond des sédiments. Améliorer la compréhension des impacts des arrêts sur la santé et la population d'éponges siliceuses afin d'orienter le choix et l'application des seuils d'arrêt. On pourrait analyser à nouveau les données existantes sur la physiologie des éponges siliceuses dans les eaux de la Colombie-Britannique afin de revoir les seuils.

Il est reconnu que les éponges filtrent à de faibles vitesses d'exhalation, que les instruments pour enregistrer la filtration sont spécialisés et que les approches de positionnement des instruments sont complexes. La biologie des éponges siliceuses est particulière et les travaux de terrain sont extrêmement difficiles en raison de leur fragilité et de leur habitat en eaux profondes. Il est également difficile d'imaginer comment déterminer sur le terrain l'effet des arrêts provoqués par les sédiments sur les populations d'éponges siliceuses sans causer de dommages importants à une population de ces éponges.

Conclusions

Nous avons utilisé un modèle de transport des sédiments avec forçage par les courants au fond modélisés pour estimer les zones de gestion adaptative proposées pour la ZPM DH-BRC, afin de protéger les récifs d'éponges siliceuses des effets indirects des engins de pêche mobiles entrant en contact avec le fond. Les limites proposées de la zone de gestion adaptative ont été calculées de façon à ce que les récifs d'éponges siliceuses ne soient pas soumis à des concentrations de sédiments supérieures au seuil d'arrêt du pompage le plus bas observé de *R. dawsoni*. La présente étude intègre les seuils d'arrêt observés indiqués dans Grant *et al.* (2019), tient compte explicitement des concentrations de fond des sédiments et reconnaît le fait que de grands courants peuvent exister dans n'importe quelle direction. Elle est donc considérée comme plus avancée que les travaux de Boutillier et ses collaborateurs (2013) qui ont permis de déterminer les zones de gestion adaptative existantes.

Nous avons élaboré deux approches pour déterminer la limite de la zone de gestion adaptative. L'approche de référence applique l'ampleur du courant maximal modélisé dans toutes les directions, tandis que l'approche de recharge utilise à la fois l'ampleur et la direction des courants modélisés. L'approche de référence est considérée comme solide parce que l'amplitude maximale du courant modélisé correspond bien aux données observées, et les courants forts observés, y compris le courant maximal, peuvent aller dans n'importe quelle direction. Il a également été démontré que l'approche de recharge, ainsi que l'approche utilisée pour estimer les zones de gestion adaptative existantes, sous-estimeraient les zones d'impact parce que la direction des courants forts modélisés, y compris du courant maximal, présente d'importants écarts par rapport aux données observées.

Une comparaison des zones de gestion adaptative de référence proposées avec les zones de gestion adaptative existantes révèle une différence considérable, les zones de gestion adaptative de référence proposées étant plus grandes que les zones de gestion adaptative existantes. L'augmentation de la superficie des zones de gestion adaptative de référence

proposées par rapport aux zones de gestion adaptative existantes est attribuable aux nouveaux résultats qui tiennent compte de l'observation dans le récif nord indiquant que les plus grands courants ne vont pas toujours dans la direction des flux de marée dominants, de l'introduction du nouveau seuil d'arrêt et des sédiments de fond pour déterminer la limite de la zone de gestion adaptative. Nous avons adopté des options prudentes (de précaution) pour certains intrants clés du modèle (p. ex. le seuil d'arrêt observé le plus bas et les impacts les plus élevés de la pêche [profil des sédiments dans la pêche au chalut à crevettes]). Les effets cumulatifs de l'utilisation des options prudentes ont produit de grandes zones de gestion adaptative. Les gestionnaires des ressources peuvent décider du niveau de précaution nécessaire pour assurer une protection adéquate contre les effets de sédimentation potentiels des activités de la pêche à engins mobiles entrant en contact avec le fond. D'autres travaux peuvent être envisagés selon le niveau de précaution établi.

Collaborateurs

Collaborateur	Organisme d'appartenance
Guoqi Han	Direction des sciences du MPO, région du Pacifique
Jon Chamberlain	Direction des sciences du MPO, région du Pacifique
Peter Chandler	Direction des sciences du MPO, région du Pacifique
Di Wan	Direction des sciences du MPO, région du Pacifique
Colin Webber	Direction des sciences du MPO, région du Pacifique
Clayton Manning	Direction de la gestion des océans du MPO, région du Pacifique, client
Charles Hannah	Direction des sciences du MPO, région du Pacifique, examinateur
Sally Leys	Université de l'Alberta, examinatrice

Approuvé par

Andrew Thomson
Directeur régional
Direction des sciences, Région du Pacifique
Pêches et Océans Canada

14 décembre 2021

Sources de renseignements

Boutillier, J., Masson, D., Fain, I., Conway, K., Lintern, G, O, M., Davies, S., Mahaux, P., Olsen, N., Nguyen, H. and Rutherford, K. 2013. [The extent and nature of exposure to fishery induced remobilized sediment on the Hecate Strait and Queen Charlotte Sound glass sponge reef](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2013/075. viii + 76 p.

Gouvernement du Canada. 2017. [Règlement sur les zones de protection marine des récifs d'éponges siliceuses du détroit d'Hécate et du bassin de la Reine-Charlotte](#). DORS/2017-15.

Grant, N., Matveev, E., Kahn, A.S., and Leys, S.P. 2018. Suspended sediment causes feeding current arrests in situ in the glass sponge *Aphrocallistes vastus*. *Mar Environ Res* 137:111–120.

- Grant, N., Matveev, E., Kahn, A.S., Archer, S.K., Dunham, A., Bannister, R.J., Eerkes-Medrano, D., and Leys, S.P. 2019. Effect of suspended sediments on the pumping rates of three species of glass sponge *in situ*. Marine Ecology Progress Series, 615, 79-100.
- Masson, D., and Fine, I. 2012. Modeling seasonal to interannual ocean variability of coastal British Columbia. J. Geophysical Research - Oceans, 117, C10019, doi:10.1029/2012JC008151.
- Mengual, B., Cayocca, F., Le Hir, P., Draye, R., Laffargue, P., Vincent, B., Garlan, T. 2016. Influence of bottom trawling on sediment resuspension in the 'Grande-Vasière' area (Bay of Biscay, France). Ocean Dyn 66: 1181-1207.
- Schubel, J., Carter, H., Wilson, R., Wise, W., Heaton, M. 1978. Field investigations of the nature, degree, and extent of turbidity generated by open-water pipeline disposal operations. State University of New York at Stony Brook Marine Sciences Research Center. Dredged Material Research Program. Tech Rep D-78-30.

Le présent rapport est disponible auprès du :

Centre des avis scientifiques (CAS)
Région du Pacifique
Pêches et Océans Canada
3190, chemin Hammond Bay
Nanaimo (Colombie-Britannique) V9T 6N7

Courriel : csap@dfo-mpo.gc.ca

Adresse Internet : www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/

ISSN 1919-3815

ISBN 978-0-660-41859-9 N° cat. Fs70-7/2022-007F-PDF

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2022



La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2022. Zones de gestion adaptative des récifs d'éponges siliceuses pour la zone de protection marine du détroit d'Hécate et du bassin de la Reine-Charlotte en Colombie-Britannique. Secr. can. des avis sci. du MPO. Rép. des Sci. 2022/007.

Also available in English:

DFO. 2022. *Glass Sponge Reef Adaptive Management Zones for the Hecate Strait and Queen Charlotte Sound Marine Protected Area, British Columbia. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Resp. 2022/007.*