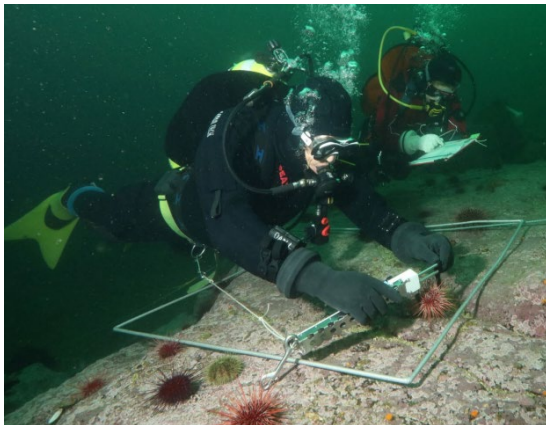




## RECOMMANDATIONS SUR LA CONCEPTION D'UN PROGRAMME DE RELEVÉ EN PLONGÉE DE MULTIPLES ESPÈCES D'INVERTÉBRÉS MARINS BENTHIQUES POUR LE SUIVI DES STOCKS



Plongeurs effectuant un relevé multispécifique.  
Photo : D. Bureau (MPO)

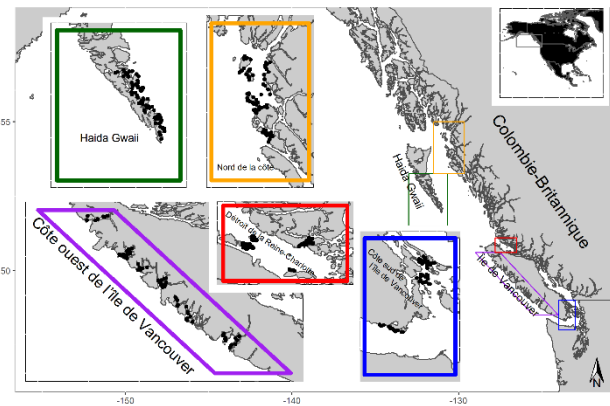


Figure 1. Régions et emplacements des transects des relevés pilotes menés de 2016 à 2021.

### Contexte :

Les relevés en plongée pour l'évaluation des stocks d'invertébrés marins benthiques (orveau nordique, oursin vert, oursin rouge géant, holothurie de Californie et panope du Pacifique) en Colombie-Britannique ont toujours été menés comme des relevés monospécifiques visant à estimer la densité ou la biomasse dans différentes parties de la côte de la province au cours de différentes années. Les données recueillies dans le cadre de ces relevés ont été utilisées pour estimer la biomasse ou fournir des avis sur les options de récolte pour les pêches commerciales respectives, mais elles ne sont généralement pas adaptées à la surveillance de l'état des stocks à l'échelle de la côte.

Depuis 2016, le Secteur des sciences de Pêches et Océans Canada (MPO) travaille à l'élaboration d'un programme de surveillance multispécifique visant à déterminer l'état des stocks d'invertébrés marins benthiques afin de s'assurer que les pêches en plongée sont conformes à la politique de l'approche de précaution du Ministère (MPO 2009), y compris aux exigences de la Loi sur les pêches modifiée (LRC 1985, ch. F-14), et plus particulièrement aux règlements relatifs aux dispositions sur les stocks de poissons. Ce nouveau programme de surveillance multispécifique a pour but d'assurer, indépendamment des pêches, un suivi quantitatif des stocks d'invertébrés benthiques sur la côte de la Colombie-Britannique au fil du temps.

Le Secteur des sciences du MPO a demandé à la Direction des sciences de se pencher sur la conception optimale du relevé de multiples espèces d'invertébrés benthiques pour recueillir les données nécessaires à l'atteinte des objectifs du programme de surveillance, et de fournir des recommandations à ce sujet.

Le présent avis scientifique découle de la réunion d'examen régional par les pairs, tenue les 13 et 14 juillet 2022, au sujet des recommandations sur la conception d'un programme de relevé en plongée des invertébrés marins benthiques multi-espèces pour le suivi des stocks. Toute autre publication

découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le [calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada](#).

## SOMMAIRE

- Le Secteur des sciences du MPO a conçu un protocole de relevé multispécifique en plongée pour assurer une surveillance impartiale, à l'échelle de la côte, des stocks d'invertébrés benthiques (conformément aux exigences de la *Loi sur les pêches* modifiée) ainsi que de l'information connexe sur l'habitat d'un ensemble d'espèces d'invertébrés marins benthiques, c'est-à-dire l'oursin vert (*Strongylocentrotus droebachiensis*), l'oursin violet (*S. purpuratus*), l'oursin rouge géant (*Mesocentrotus franciscanus*), la panope du Pacifique (*Panopea generosa*), l'holothurie de Californie (*Apostichopus californicus*), l'ormeau nordique (*Haliotis kamtschatkana*) et le solaster géant (*Pycnopodia helianthoides*). D'après les renseignements disponibles à l'heure actuelle, la conception de relevé proposée peut fournir des estimations de l'état des stocks d'oursin rouge géant et d'holothurie de Californie à l'échelle de la côte, ainsi que des indices d'abondance relative pour la panope du Pacifique, l'oursin vert, l'oursin violet, l'ormeau nordique et le solaster géant.
- Le nouveau protocole a été mis à l'essai au moyen d'une série de relevés pilotes effectués dans un sous-ensemble de zones de la côte de la Colombie-Britannique chaque mois de septembre de 2016 à 2021. La conception des relevés pilotes était fondée sur les données et l'expérience tirées des relevés en plongée précédents et elle a permis de démontrer la faisabilité du protocole du point de vue pratique, tout en permettant de recueillir de l'information préliminaire qui a orienté les recommandations ci-dessous sur le cadre statistique du relevé.
  - Utiliser le protocole de relevé en plongée décrit à l'annexe 12.1 du document de recherche, y compris le schéma d'échantillonnage par saut de quadrat selon la longueur du transect, une plage de profondeur cible de -2 à 12,2 mètres par rapport au zéro des cartes et une longueur maximale de transect de 125 mètres.
  - Exclure les sections de littoral dont les valeurs de fetch sont inférieures à 20 000 mètres ou supérieures à 2,52 millions de mètres lors de la mise en place aléatoire des transects afin de s'assurer que l'effort d'échantillonnage se concentre sur les habitats convenables tout en évitant les zones potentiellement dangereuses pour les plongeurs.
  - Veiller à ce que le relevé ait toujours lieu à la même période de l'année pour éviter d'introduire des variations saisonnières dans les données.
  - Dans les calculs pour déterminer le nombre cible initial de transects à échantillonner, utiliser le rapport commun (toutes espèces confondues) entre l'écart-type et la moyenne de la densité (animaux/m<sup>2</sup>) à l'échelle de la côte (égal à 1,27 ou  $\sigma/\mu = 1,27$ ), qui a été dérivé des relevés pilotes. Le nombre de transects à échantillonner peut changer si le rapport entre l'écart-type *in situ* et la moyenne de la densité diffère considérablement de cette estimation pour toute la côte.
  - Effectuer au moins 240 transects sur l'ensemble de la côte pour estimer l'état des stocks afin de gérer adéquatement les risques de détermination incorrecte de l'état des stocks. Ce nombre cible de transects est fondé sur une analyse d'échantillonnage d'acceptation et utilise les points de référence actuels pour l'oursin rouge géant (Lochhead *et al.* 2019) et l'holothurie de Californie (Hajas *et al.* Sous presse), les tolérances au risque prédéterminées et les estimations de la variabilité dérivées des relevés pilotes menés sur le terrain. Le nombre cible de transects pourrait changer, à mesure que de nouvelles données deviendront disponibles ou si les points de référence, la variabilité observée dans les données ou les tolérances au risque changent.

- Mettre en œuvre un plan d'échantillonnage aléatoire à deux étapes qui réduit au minimum le temps nécessaire pour couvrir toute la côte de la Colombie-Britannique et qui optimise l'utilisation efficiente des ressources disponibles. Idéalement, la totalité de la côte serait couverte en une seule année (environ 42 jours de temps-navire nécessaires). Une solution de rechange réaliste consisterait à diviser la côte en deux ou trois sections et à effectuer une rotation entre ces sections sur deux ou trois années (ce qui nécessiterait environ 23 jours ou 18 jours de temps-navire par année, respectivement). Si les ressources disponibles (telles que le temps-navire) imposent une période de rotation supérieure à deux années, il est recommandé d'envisager la conception de panel.
- Continuer à explorer les variables préalables et postérieures à la stratification pour améliorer la précision du relevé, à mesure que des données deviennent disponibles. Bien que les analyses actuelles ne permettent pas de conclure que la stratification en fonction du fetch, de l'occupation de l'habitat par la loutre de mer, du type de substrat ou de la profondeur améliore la précision du relevé pour le moment, l'écosystème dynamique occupé par les espèces ciblées implique que ces variables ou d'autres pourraient devenir pertinentes pour la conception du relevé à l'avenir.
- Les domaines dans lesquels des travaux doivent être effectués sont les suivants : intégration de l'information pertinente provenant de modèles sur la répartition des espèces ou le caractère convenable de l'habitat, à mesure qu'ils deviennent disponibles; prise en compte plus explicite des répercussions des changements climatiques; faisabilité de la collecte de données environnementales (notamment sur le climat océanique) lors de futurs relevés en plongée; meilleure compréhension de la dispersion des larves (dynamique source/puits); expansion de l'aire de répartition de la loutre de mer; inclusion d'estimations de la densité des invertébrés dans les zones inaccessibles par plongée (c'est-à-dire celles dont la profondeur est supérieure à environ 18 mètres).

## RENSEIGNEMENTS DE BASE

Les relevés en plongée pour l'évaluation des stocks d'invertébrés marins benthiques faisant l'objet d'une pêche commerciale (orveau nordique<sup>1</sup>, oursin vert, oursin rouge géant, holothurie de Californie et panope du Pacifique) en Colombie-Britannique ont toujours été menés comme des relevés monospécifiques visant à estimer la densité ou la biomasse dans différentes parties de la côte de la province au cours de différentes années. Les données recueillies dans le cadre de ces relevés ont été utilisées pour estimer la biomasse ou les options de récolte pour les pêches commerciales respectives, mais elles ne sont généralement pas adaptées à la surveillance de l'état des stocks à l'échelle de la côte. La Direction de la gestion des pêches utilise les estimations de la biomasse ou les options de récolte pour établir les quotas.

Depuis 2016, le Secteur des sciences de Pêches et Océans Canada (MPO) travaille à l'élaboration d'un programme de surveillance multispécifique visant à déterminer l'état des stocks d'invertébrés marins benthiques afin de s'assurer que les pêches en plongée sont conformes au cadre de l'approche de précaution du Ministère (MPO 2009), y compris aux exigences de la *Loi sur les pêches* modifiée (LRC 1985, ch. F-14), et plus particulièrement aux règlements relatifs aux dispositions sur les stocks de poissons. Ce nouveau programme de surveillance multispécifique vise à assurer, indépendamment des pêches, un suivi quantitatif

---

<sup>1</sup> Toutes les pêches de l'orveau nordique en Colombie-Britannique ont été fermées en 1990 pour des raisons de conservation. L'orveau nordique est actuellement désigné comme espèce en voie de disparition par le COSEPAC et inscrit selon ce statut à la LEP (Obradovich *et al.* 2021). Il est surveillé à l'aide de relevés monospécifiques en plongée qui ont lieu depuis la fin des années 1970.

des stocks d'invertébrés benthiques (selon la densité ou la taille) au fil du temps dans les zones côtières de la Colombie-Britannique qui sont ciblées ou non par les pêches. En plus de satisfaire aux exigences des dispositions sur les stocks de poissons, le programme de surveillance multispécifique contribuera à l'adoption d'une approche écosystémique pour l'évaluation des stocks et la gestion des pêches, qui est une priorité du Ministère (MPO 2007). En outre, puisque les protocoles de relevé monospécifique en plongée sont semblables d'une espèce à l'autre, l'utilisation d'une approche de relevé multispécifique permettra une utilisation plus efficiente des ressources disponibles pour le travail de terrain.

Les espèces d'intérêt pour le relevé à l'heure actuelle sont l'oursin vert, l'oursin rouge géant, l'holothurie de Californie, la panope du Pacifique (les quatre espèces ciblées par des pêches commerciales en plongée de la Colombie-Britannique), l'oursin violet (dont l'abondance et la répartition ont connu des changements drastiques en Californie ces dernières années; Rogers-Bennett et Catton 2019), l'ormeau nordique, une espèce en voie de disparition (qui était également l'objet de pêches importantes dans le passé) et le solaster géant (un mésoprédateur important dont la population sur la côte de la Colombie-Britannique s'est presque effondrée entre 2014 et 2015 en raison de la maladie de dépérissement des étoiles de mer; Burt *et al.* 2018; Hewson *et al.* 2014) [tableau 1]. Le relevé recueille également des données sur les types de substrat et les algues observées dans les transects.

Les résultats de ce programme de surveillance ont pour but d'aider les gestionnaires des pêches à intégrer l'approche de précaution et des considérations écosystémiques dans leur prise de décision. Les données peuvent également servir à la cartographie des habitats, à la modélisation de la répartition des espèces et aux interventions d'urgence, ainsi qu'à la planification des aires marines protégées le long de la côte de la Colombie-Britannique et aux programmes de surveillance connexes.

## ANALYSE

### Relevés pilotes

Des relevés pilotes ont été utilisés pour démontrer que le protocole de terrain proposé était réalisable d'un point de vue logistique et pour obtenir des données permettant d'estimer la variabilité de la densité des espèces d'intérêt à l'échelle des transects. Cette information a ensuite été utilisée pour éclairer la conception statistique recommandée du relevé multispécifique proposé pour toute la côte.

#### Stratégie globale pour la conception du relevé

Le protocole de relevé en plongée a été conçu en utilisant l'expérience et les données tirées de relevés en plongée antérieurs, y compris les données des relevés monospécifiques ciblant l'holothurie de Californie, la panope du Pacifique et l'oursin rouge géant et les relevés de cartographie de l'habitat. Les relevés pilotes reposaient sur un plan à deux étapes avec des emplacements de transects sélectionnés aléatoirement et des quadrats systématiquement espacés le long des transects. Dans les quadrats d'échantillonnage, on a recensé les espèces d'intérêt (dénombrements pour l'holothurie de Californie et la panope du Pacifique; mesures pour les oursins, l'ormeau nordique et le solaster géant), la profondeur, le type de substrat et les algues (identification des espèces et pourcentage de couverture). On a calculé la densité de chaque espèce au niveau du transect, ce dernier étant ainsi l'unité d'échantillonnage du relevé.

Les relevés pilotes ont été effectués chaque mois de septembre entre 2016 et 2021, période qui correspondait à une fenêtre de temps-navire disponible, offrait de bonnes conditions pour la plongée (visibilité et température) et n'entraînait pas en conflit avec d'autres relevés en plongée

(pour assurer la disponibilité des plongeurs). Bien que cette période de l'année ne soit pas idéale pour observer la panope du Pacifique, il serait tout de même possible d'établir un indice d'abondance relative pour ces espèces à partir des données recueillies. À l'avenir, s'il était souhaitable de combiner plusieurs séries chronologiques de relevés, il faudrait envisager d'établir la comparabilité entre elles. Par exemple, un facteur de correction pourrait être appliqué pour tenir compte du moment sous-optimal du relevé et des facteurs de correction pourraient être nécessaires pour d'autres espèces également (par exemple, la détectabilité des holothuries juvéniles est probablement plus élevée dans un relevé multispécifique que dans les relevés monospécifiques parce que les quadrats de relevé multispécifique sont plus petits et font l'objet d'une fouille plus minutieuse).

Chaque année, les relevés pilotes ont ciblé une région différente de la côte de la Colombie-Britannique afin de fournir des données sur un éventail d'habitats et de régions, à savoir le nord-est de l'île de Vancouver, le sud-est de l'île de Vancouver, la côte nord continentale, le sud-est de Haida Gwaii et la côte ouest de l'île de Vancouver. Les relevés ont été effectués dans des zones ouvertes et fermées à la pêche commerciale pour les espèces ciblées par une pêche commerciale. Dans le sud-est de Haida Gwaii, par exemple, des zones à usages multiples (ouvertes à la pêche commerciale) et des zones strictement protégées (fermées à la pêche commerciale) ont été étudiées dans la [réserve de parc national, réserve d'aire marine nationale de conservation et site du patrimoine haïda Gwaii Haanas](#). Le futur relevé multispécifique pourra servir à suivre les changements de densité des invertébrés au fil du temps dans les zones à usages multiples (c'est-à-dire pour évaluer l'incidence de la pêche sur les densités de population par comparaison avec les zones strictement protégées).

#### **Longueur et profondeur maximales des transects**

Les profondeurs cibles des transects ont été déterminées par rapport au zéro des cartes de façon à couvrir des plages de profondeur comparables sur tous les transects, quelle que soit la hauteur de la marée. La profondeur inférieure cible de -2 mètres a été choisie pour s'assurer que les quadrats de transect incluent l'habitat de l'ormeau nordique. La profondeur supérieure cible de 12,2 mètres a été choisie pour s'assurer que toute la longueur du transect se situe dans les limites et les restrictions de sécurité de la plongée sous-marine. La longueur des transects dépend de la pente du fond marin, mais elle a été plafonnée à 125 mètres sur la base de l'expérience acquise lors d'autres relevés en plongée et de la logistique associée à la plongée (un transect de cette longueur peut généralement être étudié en une seule plongée).

#### **Variabilité de la densité des espèces**

Les relevés pilotes ont montré une gamme de densités moyennes régionales pour chaque espèce. Dans l'ensemble, la variabilité observée était proportionnelle à la moyenne pour toutes les espèces et était similaire entre les espèces, ce qui a permis d'utiliser un rapport commun entre l'écart-type et la moyenne de la densité (rapport ET-moyenne) égal à 1,27 pour l'ensemble de la côte (figure 2). L'utilisation d'un seul rapport ET-moyenne simplifie les calculs ultérieurs de la taille d'échantillon requise (voir la section sur l'échantillonnage d'acceptation).

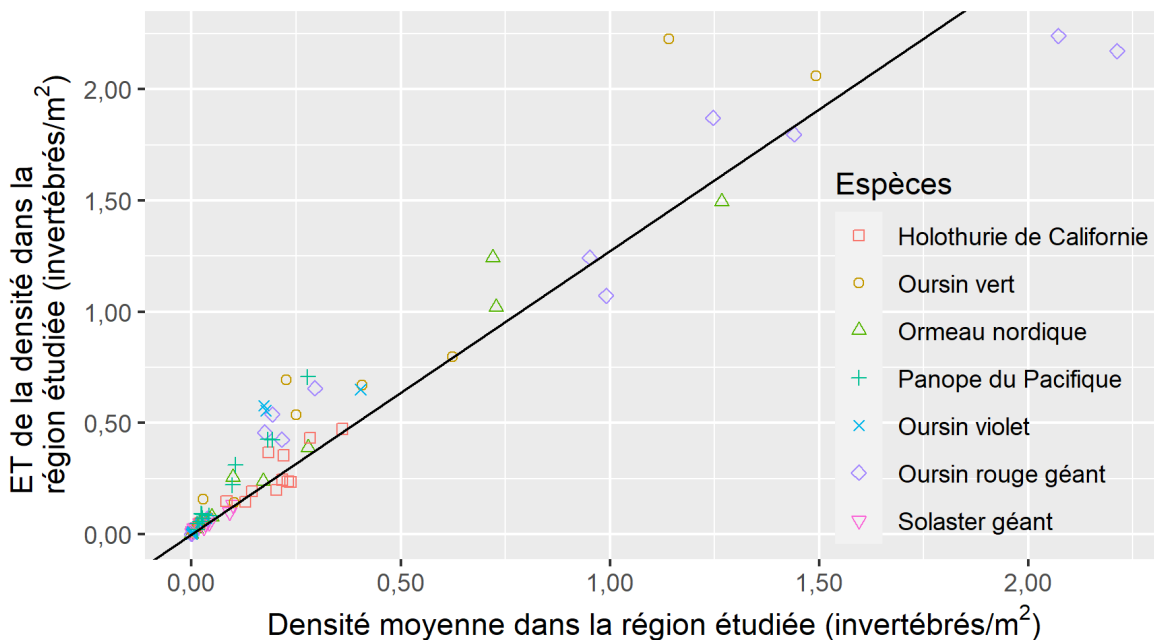


Figure 2. Relation entre l'écart-type de la densité et la densité moyenne dans la région étudiée pour toutes les espèces. La ligne noire indique le rapport commun entre l'écart-type et la moyenne de la densité de 1,27 ( $\sigma = 1,27 \mu$ ).

### Transects indicateurs par rapport à transects randomisés de nouveau

Un sous-ensemble de transects des relevés pilotes a servi à évaluer la précision. Il est difficile d'évaluer l'incidence de la répétition des transects pour estimer les tendances à long terme, car il est raisonnable de s'attendre à ce que le degré d'incidence puisse changer avec le temps (c'est-à-dire que la corrélation de la densité entre les transects répétés diminuerait à mesure que la période entre les visites augmenterait). Par exemple, il peut y avoir une corrélation très élevée dans la densité lorsque les transects sont échantillonnés à un mois d'intervalle, qui pourrait diminuer à une corrélation modérée lorsque les mêmes transects sont échantillonnés à deux ans d'intervalle, qui pourrait ensuite diminuer à zéro lorsque les mêmes transects sont échantillonnés à cinq ans d'intervalle.

Sur la base de cet ensemble de données, seules des corrélations positives modérées entre les mesures de densité répétées ont été observées et il n'y a pas eu de gains substantiels sur le plan de la précision par rapport à la sélection aléatoire de nouvelles positions de transects pour chaque relevé. En outre, il est souvent difficile de revenir à l'emplacement exact d'un transect lors de visites répétées. D'autre part, une nouvelle randomisation de la sélection des emplacements des transects avant chaque relevé pourrait :

- permettre la collecte de données sur un plus grand nombre de sites au fil du temps, ce qui pourrait contribuer à améliorer la stratification;
- permettre l'utilisation de différents modèles pour estimer la densité (par exemple, des modèles spatio-temporels);
- permettre une meilleure connaissance de la variabilité spatiale et temporelle des populations à l'échelle de la côte;

- intégrer facilement des données supplémentaires sur l'environnement ou l'écosystème au fil du temps.

## Conception de relevé recommandée

### Stratégie globale pour la conception du relevé

Il est recommandé que le relevé multispécifique en plongée repose sur le protocole élaboré pour les relevés pilotes (c'est-à-dire un plan à deux étapes avec des transects placés aléatoirement et un échantillonnage de quadrats espacés systématiquement le long de chaque transect).

Les transects doivent être plafonnés à 125 mètres de longueur ou à 12,2 mètres de profondeur par rapport au zéro des cartes, selon la première éventualité. Dans les transects longs, on sous-échantillonnera des quadrats (maximum de 25 quadrats échantillonnés par transect).

La taille d'un mètre carré est recommandée pour les quadrats du relevé en plongée multispécifique afin d'assurer la cohérence avec les relevés précédents des oursins et de l'ormeau nordique, et aussi comme la plus petite unité commune d'évaluation des espèces ciblées par le relevé.

Les quadrats doivent être échantillonnés selon le protocole normalisé décrit à l'annexe 12.1 du document de recherche.

À l'heure actuelle, le protocole ne tient pas compte de l'échantillonnage des individus camouflés parce qu'il n'est peut-être pas réalisable compte tenu des contraintes de temps liées au relevé (c'est-à-dire compléter chaque transect en une seule plongée) et qu'il ne peut être effectué que sur certains types de substrat (il est possible que les transects placés aléatoirement ne permettent pas un échantillonnage non biaisé des individus camouflés). Cependant, si l'expansion continue de l'aire de répartition de la loutre de mer a une incidence sur la capacité du relevé à détecter certaines espèces d'invertébrés marins benthiques en raison de l'augmentation des comportements d'évitement des prédateurs tels que le camouflage, les options d'adoption de l'échantillonnage des individus camouflés devront peut-être être revues.

### Échantillonnage d'acceptation

L'échantillonnage d'acceptation est une méthode statistique courante utilisée dans les contextes de fabrication pour évaluer si un processus fonctionne dans des limites de tolérance préétablies (Lawson 2021). Jusqu'à présent, cette méthode n'a pas été largement utilisée dans le contexte de la pêche. Les travaux actuels démontrent que cette méthode est pertinente lorsqu'il s'agit d'évaluer des stocks par rapport à des critères de référence (c'est-à-dire des points de référence limite [PRL] et des points de référence supérieurs [PRS]) dans le domaine des sciences halieutiques, car elle utilise des techniques statistiques pour permettre une détection précoce et donner la possibilité d'éviter des problèmes, comme le contrôle de la probabilité de ne pas détecter le déclin de l'abondance d'un stock. Bien qu'il s'agisse d'une application relativement nouvelle dans le domaine des sciences halieutiques, l'échantillonnage d'acceptation fournit les mêmes résultats que ceux qui seraient obtenus par l'approche plus traditionnelle consistant à effectuer un test d'hypothèse avec une analyse de puissance. L'un des principaux avantages de l'échantillonnage d'acceptation est qu'il n'est pas nécessaire de définir les erreurs statistiques de type 1 et de type 2 (c'est-à-dire les risques de résultats faussement positifs et faussement négatifs, respectivement), ce qui peut sembler arbitraire selon la perspective de chacun dans un contexte de pêche.

L'échantillonnage d'acceptation exige de l'utilisateur qu'il précise les niveaux de risque acceptables pour le consommateur et le producteur (définis ci-dessous), les PRL et les PRS propres aux espèces, ainsi qu'une estimation de la variabilité de la densité des espèces (c'est-à-dire l'estimation actuelle du rapport ET-moyenne égal à 1,27) afin de générer une valeur de décision de densité seuil pour l'ensemble de la côte,  $k$ , et une taille d'échantillon (nombre de transects à échantillonner),  $n$ , pour chaque espèce.

Le risque pour le consommateur, dans ce contexte, est défini comme le risque de ne pas détecter quand la densité d'un stock tombe sous le PRL. Les gestionnaires des pêches ont été consultés pour déterminer un niveau acceptable de risque pour le consommateur dans ce contexte. Un programme de surveillance ayant une grande capacité à détecter si un stock tombe en dessous du PRL est hautement souhaitable, le risque pour le consommateur a donc été fixé à 5 %.

Le risque pour le producteur est le risque de déterminer à tort que la densité est inférieure au PRS alors qu'elle est en réalité supérieure au PRS. Les gestionnaires des pêches ont également fixé le risque pour le producteur à 5 %, compte tenu des conséquences socio-économiques potentielles d'une limitation erronée et inutile des possibilités de pêche. À titre d'exemple, l'échelle de probabilité utilisée pour définir la tolérance au risque du MPO désigne les probabilités inférieures à 5 % comme étant « très faibles » et celles de 5 à 25 % comme étant « faibles » (MPO 2022, 2009).

Des PRL à l'échelle de la côte et des PRS proposés ont été élaborés pour l'holothurie de Californie et l'oursin rouge géant (tableau 1). Les points de référence pour l'oursin vert ont été établis à partir de données de relevés indépendants de la pêche dans deux sites indicateurs de haute densité, l'un au large du nord-est de l'île de Vancouver et l'autre au large du sud-est de l'île de Vancouver (tableau 1), et peuvent donc ne pas être applicables à l'ensemble de la côte. L'oursin vert a toutefois été inclus dans les analyses d'échantillonnage d'acceptation, au cas où des évaluations à l'échelle de la côte deviendraient souhaitables à l'avenir. Ainsi, d'après les renseignements disponibles à l'heure actuelle, la conception de relevé proposée peut fournir des estimations de l'état des stocks d'oursin rouge géant et d'holothurie de Californie à l'échelle de la côte, ainsi que des indices d'abondance relative pour la panope du Pacifique, l'oursin vert, l'oursin violet, l'ormeau nordique et le solaster géant.

Tableau 1. Espèces actuellement surveillées au moyen du protocole de relevé en plongée multispécifique.

Espèce	Mesure (unité)	PRL	PRS	Habitat convenable – plage de profondeur	Habitat convenable – type de substrat
Holothurie de Californie	Poids éviscéré (g) à compter de 2020	0,029 holothurie/m <sup>2</sup> dans l'habitat de l'espèce <sup>2</sup>	0,038 holothurie/m <sup>2</sup> dans l'habitat de l'espèce	De 0 à 250 m	La plupart des substrats, à l'exception de la boue. La plupart des habitats faiblement ou modérément exposés, à l'exception des entrées d'inlet.

<sup>2</sup> L'habitat de l'holothurie de Californie est défini dans Duprey *et al.* (2011, 2016).



**Conception du relevé en plongée de multiples  
espèces d'invertébrés**

**Région du Pacifique**

Espèce	Mesure (unité)	PRL	PRS	Habitat convenable – plage de profondeur	Habitat convenable – type de substrat
Oursin vert	Diamètre du test (DT; mm)	0,45 oursin vert de taille réglementaire (DT ≥ 55 mm)/m <sup>2</sup>	0,9 oursin vert de taille réglementaire (DT ≥ 55 mm)/m <sup>2</sup>	De 0 à 140 m et plus	Substrats durs (du fond rocheux au gravier), à l'exclusion de la boue.
Oursin rouge géant	Diamètre du test (DT; mm)	0,3 oursin rouge géant mature (DT ≥ 50 mm)/m <sup>2</sup> dans l'habitat de l'espèce <sup>3</sup>	0,6 oursin rouge géant mature (DT ≥ 50 mm)/m <sup>2</sup> dans l'habitat de l'espèce	De 0 à 284 m	Substrat de gravier ou de cailloux plus gros, où la boue n'est pas le substrat prédominant (Lochead 2019).
Oursin violet	Diamètre du test (mm)	S.O.	S.O.	De 0 à 160 m	Substrats durs (du fond rocheux au gravier), à l'exclusion de la boue.
Ormeau nordique	Longueur de coquille (mm)	S.O.	S.O.	De -2 à 10 m et plus	Substrats durs
Solaster géant	Portée maximale du bras (mm)	S.O.	S.O.	De 0 à 456 m	Une variété de substrats, y compris la boue, le sable, le gravier, les galets, les rochers et le fond rocheux.
Panope du Pacifique	Longueur de coquille (mm)	40 % de la biomasse non pêchée à l'échelle de la côte	50 % de la biomasse non pêchée à l'échelle de la côte	De -1 à 110 m et plus	Substrats mous

Un plan d'échantillonnage unique a été élaboré pour l'holothurie de Californie, l'oursin rouge géant et l'oursin vert, qui permet de contrôler les risques pour le producteur et le consommateur en résolvant pour  $n$  et  $k$  de telle sorte que :

$$P(\widehat{\text{Densité}} < k | \text{Densité} \leq \text{PRL}) = 1 - \text{risque pour le consommateur} \quad (1)$$

$$P(\widehat{\text{Densité}} < k | \text{Densité} \geq \text{PRS}) = \text{risque pour le producteur} \quad (2)$$

Comme le montrent les documents complémentaires du document de recherche, la taille de l'échantillon  $n$  est « cachée » dans les équations ci-dessus, car elle affecte l'erreur type de la densité estimée qui affecte les deux probabilités.

Dans le cadre de ce plan, la densité à l'échelle de la côte est estimée à partir d'un échantillon de  $n$  transects. Si la densité estimée est inférieure à  $k$ , on considère que la densité du stock risque d'être inférieure au PRL, ce qui correspond à la zone critique du cadre de l'approche de précaution (MPO 2009). Si la densité estimée est supérieure à  $k$ , alors la densité du stock est considérée comme « acceptable », c'est-à-dire potentiellement supérieure au PRS, ce qui correspond à la zone saine. La règle de décision est « binaire », mais plus la densité estimée se rapproche du PRL, plus une mesure de gestion sera « urgente ».

<sup>3</sup> L'habitat d'oursin rouge géant est défini dans Lochead *et al.* (2019)

Un rapport commun entre l'écart-type et la moyenne de la densité de 1,27 a été estimé à partir des données des relevés pilotes (figure 2). On a supposé que la taille des échantillons était suffisamment grande pour qu'une approximation normale de la distribution d'échantillonnage de *Densité* soit applicable, l'écart-type (ET ou «  $\sigma$  ») utilisé pour calculer la variabilité de la densité estimée étant une fonction de la moyenne ( $\mu$ ), c'est-à-dire  $\sigma = 1,27 \mu$ .

Une analyse de sensibilité a également été réalisée pour évaluer l'incidence de la modification du rapport ET-moyenne sur le nombre de transects requis (tableau 2). L'analyse de sensibilité a montré que la taille de l'échantillon augmente à mesure que le rapport ET-moyenne augmente.

*Tableau 2. Lorsque l'écart-type augmente (par rapport à la moyenne), la taille de l'échantillon requise augmente, mais la valeur de k reste inchangée.*

Espèce	Rapport ET-moyenne	Augmentation du rapport (%)	k	n
Oursin vert	1,27	-	0,6	39
	1,39	10	0,6	47
	1,58	25	0,6	61
	1,90	50	0,6	88
Oursin rouge géant	1,27	-	0,4	39
	1,39	10	0,4	47
	1,58	25	0,4	61
	1,90	50	0,4	88
Holothurie de Californie	1,27	-	0,033	240
	1,39	10	0,033	291
	1,58	25	0,033	375
	1,90	50	0,033	540

L'analyse de l'échantillonnage d'acceptation a permis d'estimer le nombre minimum de transects nécessaires pour prendre une décision sur l'état du stock par rapport aux points de référence avec les tolérances au risque précisées. L'analyse a révélé que 39 transects placés aléatoirement sur l'ensemble de la côte seraient nécessaires pour l'oursin vert et l'oursin rouge géant, et que ce nombre était de 240 pour l'holothurie de Californie. La même taille d'échantillon pour l'oursin vert et l'oursin rouge s'explique par le fait que le rapport entre le PRS et le PRL est le même; la plus grande taille d'échantillon pour l'holothurie de Californie s'explique par le fait que les deux points de référence sont relativement plus proches l'un de l'autre par rapport aux points de référence des oursins. Pour s'assurer que le placement aléatoire des transects produira des estimations non biaisées de la densité sur l'ensemble de la côte, des considérations supplémentaires telles que celles décrites ci-dessous sont nécessaires.

### Seuils de fetch

Pour aider à concentrer l'effort d'échantillonnage aléatoire sur les habitats associés aux espèces d'intérêt tout en respectant les limites de sécurité de la plongée, il est recommandé d'appliquer des seuils de fetch au littoral avant la mise en place aléatoire des transects. Un seuil de fetch inférieur de 20 000 mètres est recommandé pour exclure les zones qui sont généralement des habitats défavorables pour les invertébrés marins benthiques d'intérêt. Un seuil de fetch supérieur de 2 520 000 mètres est recommandé pour exclure les zones très exposées qui sont généralement dangereuses pour les plongeurs. Il a été démontré que l'application de ces seuils n'aurait pas exclu la grande majorité des plongées passées (figure 3)

et ne restreint pas indûment l'application du protocole de relevé en plongée sur la côte de la Colombie-Britannique (figure 4).

### Stratification

L'échantillonnage stratifié est une méthode couramment utilisée pour améliorer la précision des estimations d'un plan d'échantillonnage (c'est-à-dire pour cibler l'échantillonnage dans les zones à plus forte variabilité). Les relevés pilotes ont permis d'évaluer l'avantage potentiel de l'utilisation de variables de stratification pour améliorer la précision des relevés. Les variables de stratification candidates étaient le fetch (faible ou élevé), l'occupation de l'habitat par la loutre de mer (présence ou absence), le type de substrat (11 catégories) et la profondeur (par intervalles de deux mètres). À ce stade, les résultats d'analyse utilisant les variables de stratification candidates n'ont pas montré davantage à la stratification, cependant la stratification fondée sur ces variables et d'autres (de façon indépendante ou combinée) peut encore s'avérer utile à l'avenir. Par exemple, l'amélioration continue des modèles de répartition des espèces pourrait permettre une stratification fondée sur la probabilité de présence, tout en aidant à préciser le littoral ciblé par le relevé.

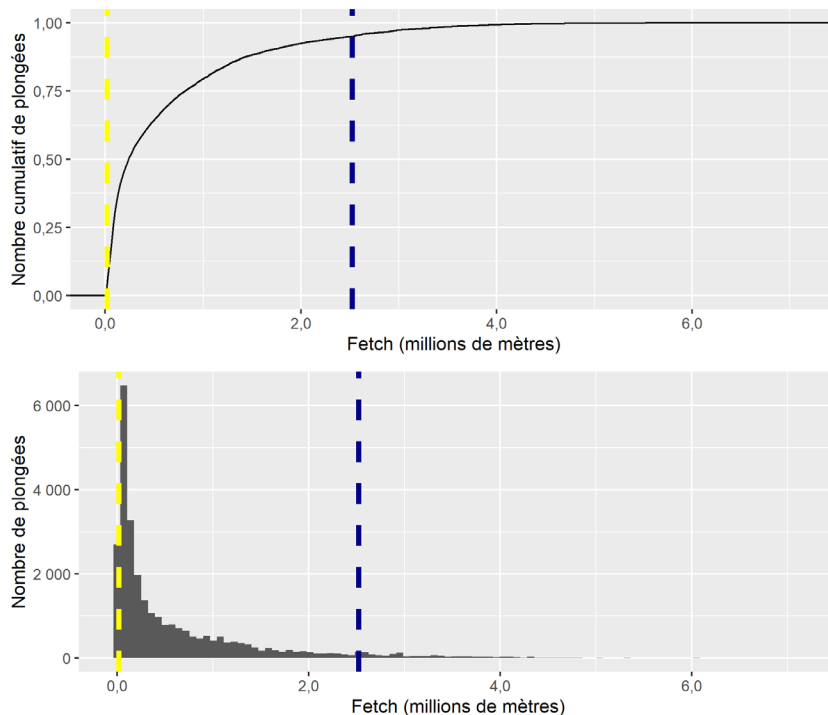


Figure 3. Distribution de la densité par fetch pour les plongées effectuées lors de tous les relevés d'espèces d'invertébrés sur tous les transects et toutes les années. La ligne bleue pleine est la moyenne lissée sur l'échelle logarithmique et les lignes verticales tiretées sont les seuils de fetch recommandés : seuil inférieur ( $\log_{10} 20\ 000 = 4,3$ ) et seuil supérieur ( $\log_{10} 2\ 250\ 000 = 6,4$ ).

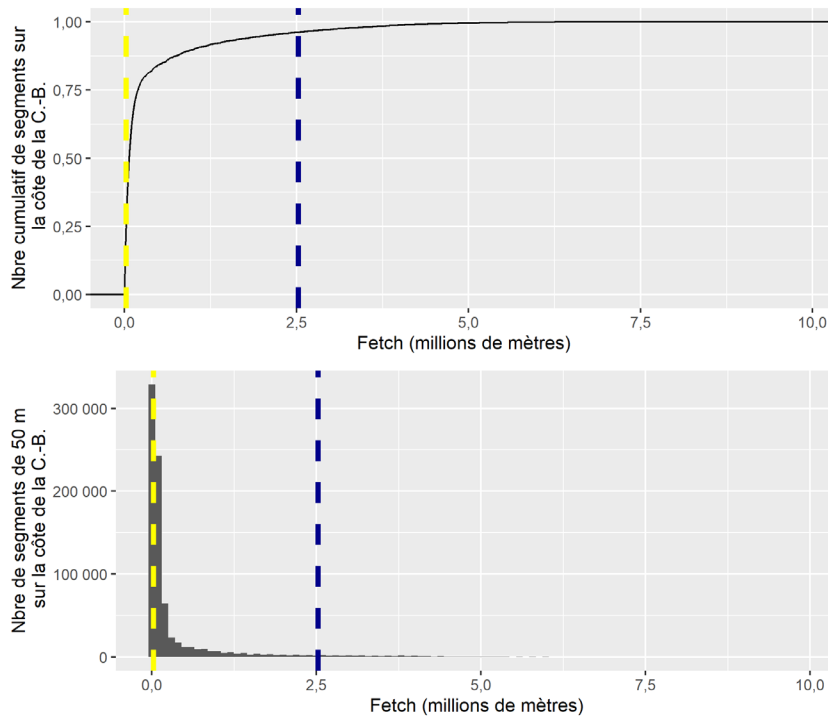


Figure 4. Nombre cumulatif de segments de littoral de 50 mètres le long de la côte de la Colombie-Britannique dans les catégories de fetch allant de 0 à 10 millions de mètres (panneau supérieur) et nombre total de segments de littoral de 50 mètres le long de la côte de la Colombie-Britannique dans les catégories de fetch allant de 0 à 10 millions de mètres (panneau inférieur). La ligne tiretée jaune indique une valeur de fetch de 20 000 mètres et la ligne tiretée bleue indique le 95<sup>e</sup> percentile des valeurs de fetch (2,52 millions de mètres) pour toutes les plongées.

### Emplacements des transects

L'objectif du relevé est de générer des estimations non biaisées de la densité des espèces sur l'ensemble de la côte à des intervalles significatifs (par exemple, tous les 10 ans ne serait pas une fréquence suffisante, tandis que des mises à jour annuelles pourraient ne pas être réalisables d'un point de vue logistique). Dans une large mesure, le plan d'échantillonnage du relevé sera limité par les ressources disponibles (principalement, le temps-navire et le nombre de plongeurs qualifiés). Il est recommandé que l'intervalle du relevé soit aussi court que possible tout en atteignant les 240 transects recommandés, placés de manière aléatoire sur toute la côte.

Trois scénarios de mise en œuvre non biaisée du relevé en plongée ont été explorés : l'échantillonnage aléatoire simple, l'échantillonnage en deux étapes et une conception de panel avec échantillonnage en deux étapes. L'échantillonnage aléatoire simple sur l'ensemble de la côte a été exclu, car la distance entre les transects individuels aurait été importante. D'un point de vue logistique, cela entraînerait une utilisation inefficace du temps-navire, car il ne serait pas possible, dans la plupart des cas, de réaliser plusieurs transects par jour en raison du temps de déplacement entre les transects. Une méthode plus efficace pour placer les transects serait d'utiliser un plan d'échantillonnage à deux étapes (Thompson 1992). Dans ce plan, la première étape de l'échantillonnage sélectionne de manière aléatoire un nombre fixe d'unités d'échantillonnage plus grandes, puis place de manière aléatoire plusieurs unités d'échantillonnage plus petites (secondaires) au sein de chaque unité primaire (voir les

exemples à la figure 5). L'avantage du plan d'échantillonnage à deux étapes est qu'il est pratique d'un point de vue logistique, car chacune des unités d'échantillonnage primaires sélectionnées au hasard contient plusieurs (dans ce cas, huit) transects qui sont suffisamment proches les uns des autres pour être réalisés en une seule journée (en réduisant au minimum le temps de déplacement entre les transects). La troisième option de conception, une conception de panel avec un échantillonnage en deux étapes, est semblable, mais implique également de choisir un échantillon aléatoire d'unités primaires parmi les unités primaires échantillonnées l'année précédente au cours de la deuxième année. L'avantage de ce plan d'échantillonnage est que les emplacements répétés de l'échantillon aident à déterminer quelle partie du changement de densité de la population au cours d'une année donnée est le résultat de processus temporels, comme les événements de recrutement ou de mortalité, et quelle partie est liée au processus spatial (échantillonnage dans une nouvelle zone chaque année). L'inconvénient de la conception de panel est qu'elle n'est pas aussi faisable d'un point de vue logistique en raison de la durée importante des déplacements vers les sites de l'année précédente.

La rotation idéale dans le cadre du relevé impliquera des compromis entre la minimisation du temps nécessaire pour mener le relevé sur toute la côte et la faisabilité logistique compte tenu des ressources actuelles. La totalité de la côte ne pouvant être couverte en une seule année, une approche pluriannuelle sera nécessaire. La rotation sur plusieurs années pourrait entraîner une incapacité à observer les changements interannuels soudains dans la densité d'une population ou les conditions d'habitat, et des signaux décalés pour informer les mesures de gestion opportunes. À l'heure actuelle, une rotation sur deux années est envisageable, sur la base des ressources actuelles. Avec une telle rotation, le temps de latence est réduit au minimum de telle sorte qu'il n'y a pas de réels avantages à utiliser la conception de panel. Par conséquent, la conception comprenant une rotation sur deux années et deux étapes est celle qui est la plus efficace et la plus faisable sur le plan logistique à l'heure actuelle. Si les ressources disponibles imposent une période de rotation supérieure à deux années, il est recommandé de reconsidérer l'inclusion de la conception de panel.

Un exemple de la manière de réaliser 240 transects sur l'ensemble de la côte avec un plan d'échantillonnage à deux étapes et une rotation pluriannuelle est illustré à la figure 5. Pour une rotation sur deux années, le littoral de la Colombie-Britannique pourrait être divisé en deux parties (nord et sud, par exemple), et 120 transects pourraient être réalisés dans chacune des parties sur deux années (figure 5A). Dans la première étape de la conception à deux étapes, une grille de 50 km sur 50 km pourrait être superposée à la côte de la Colombie-Britannique dans le SIG; autrement, la côte de la Colombie-Britannique pourrait être divisée en sections fondées sur la longueur du littoral. Pour une rotation sur trois années, le littoral de la Colombie-Britannique pourrait être divisé en trois parties, avec 80 transects complétés dans chacune des parties sur trois années (par exemple, une partie par année, 10 unités d'échantillonnage primaires par partie, huit unités d'échantillonnage secondaires par unité d'échantillonnage primaire, un transect par unité d'échantillonnage secondaire) [figure 5B]. La deuxième étape du plan à deux étapes consisterait à sélectionner de manière aléatoire huit transects le long du littoral (les unités d'échantillonnage secondaires) dans des cellules de grille plus larges de 50 km sur 50 km (unités d'échantillonnage primaires) [figure 6]. Pour la rotation sur deux années, 15 unités d'échantillonnage primaires sont choisies au hasard et ensuite huit unités d'échantillonnage secondaires sont choisies au hasard dans chacune des unités primaires choisies au hasard pour un total de 120 transects par année dans la partie nord de la côte et 120 transects par année dans la partie sud.

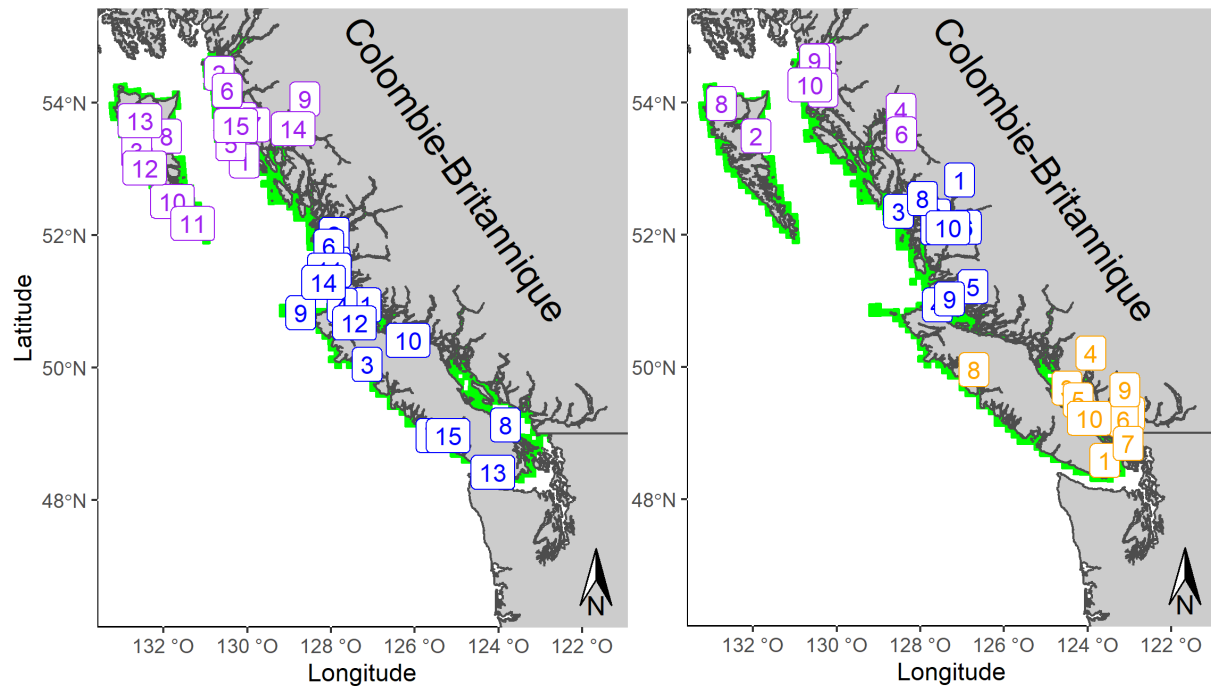


Figure 5. Exemples d'échantillonnage en deux étapes où l'étape primaire sélectionne de manière aléatoire un nombre fixe de grilles de 50 km sur 50 km, puis sélectionne de manière aléatoire un nombre fixe d'unités de littoral de la deuxième étape pour le placement des transects. A. Plan d'échantillonnage à deux étapes avec deux régions (nord en violet et sud en bleu) : les unités d'échantillonnage primaires placées de manière aléatoire sont représentées par les numéros 1 à 15. Dans chaque unité d'échantillonnage primaire, huit unités secondaires de côte sont sélectionnées au hasard pour la mise en place des transects. Dans cet exemple, 120 transects seraient effectués chaque année. B. Plan d'échantillonnage à deux étapes avec trois régions (nord en violet, centre en bleu et sud en jaune) : les unités d'échantillonnage primaires placées de manière aléatoire sont représentées par les numéros 1 à 10. Dans ce cas, toute la côte pourrait être échantillonnée sur un cycle de trois ans avec 80 transects effectués chaque année.

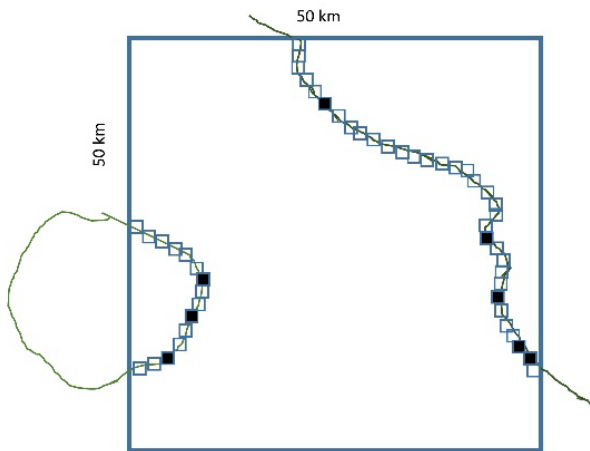


Figure 6. Exemple de section de littoral fondé sur une grande unité d'échantillonnage de première étape sélectionnée aléatoirement (carré de 50 km sur 50 km), avec des unités candidates de deuxième étape (sections de littoral plus petites de 1 km sur 1 km) représentant l'endroit où les transects de plongée seraient placés. Dans cet exemple, huit unités d'échantillonnage de deuxième étape ont été sélectionnées aléatoirement (petits carrés noirs remplis).

### Sources d'incertitude

On sait que le facteur de visibilité de la panope du Pacifique (la proportion d'individus qui peuvent être détectés visuellement par les plongeurs) est le plus élevé entre avril et juillet et, par conséquent, les relevés d'évaluation quantitative des stocks de panope du Pacifique sont généralement planifiés pendant ces mois. Jusqu'à présent, les relevés pilotes multispécifiques ont été effectués en septembre, ce qui signifie que les données sur la panope du Pacifique provenant de ces relevés ne peuvent pas être utilisées dans les méthodes actuelles pour estimer la biomasse de l'espèce sans inclure une estimation de la détectabilité (semblable au paramètre de capturabilité que l'on retrouve couramment dans les évaluations des stocks d'autres espèces). Toutefois, les données sur la panope du Pacifique obtenues lors des relevés multispécifiques menés en septembre peuvent tout de même être informatives (elles permettent de recenser les endroits où l'on trouve des panopes du Pacifique au-delà des gisements déjà documentés et fournissent un indice supplémentaire de l'abondance de l'espèce).

Les estimations de la densité de l'ormeau nordique provenant du relevé multispécifique ne sont pas directement comparables aux estimations obtenues à partir des relevés sur les sites repères de l'ormeau nordique (par exemple, en raison des différents protocoles de relevé, des différentes gammes de profondeur ciblées et de l'absence d'échantillonnage des individus camouflés dans le relevé multispécifique). Cependant, comme pour la panope du Pacifique, les estimations découlant du relevé multispécifique peuvent fournir un indice distinct de l'abondance de l'ormeau nordique et fournir des renseignements supplémentaires sur la répartition de l'espèce le long de la côte de la Colombie-Britannique.

S'il n'est pas possible d'effectuer un relevé sur toute la côte de la Colombie-Britannique au cours d'une seule année, il convient d'examiner attentivement le calendrier du relevé, en reconnaissant qu'un calendrier pluriannuel prendra plus de temps pour détecter les tendances et ne permettra probablement pas de détecter des changements rapides dans la densité (comme cela a été observé pendant l'épisode de la maladie de dépérissement des étoiles de mer). Il convient de noter qu'une fois que la première rotation à l'échelle de la côte sera complétée (c'est-à-dire après les deux ou trois premières années), un calendrier pluriannuel

pourrait fournir des mises à jour annuelles des estimations de la densité des espèces à l'aide de moyennes mobiles de la densité.

Le relevé multispécifique ne couvre pas toute la gamme de profondeur des espèces d'intérêt. En tant que tel, il ne fournit qu'une estimation de la densité dans les habitats situés à des profondeurs accessibles en plongée (c'est-à-dire jusqu'à environ 20 mètres de profondeur). Les travaux futurs pourraient inclure l'examen des données de relevés visuels existantes ou le développement de nouveaux relevés visuels pour fournir des estimations supplémentaires de la densité des espèces à des profondeurs inaccessibles en plongée (au moyen de véhicules téléguidés, de caméras lestées, etc.).

Le programme de surveillance de multiples espèces d'invertébrés benthiques, qui recueille de l'information détaillée sur les algues, sera un outil important pour surveiller les répercussions potentielles des changements climatiques sur cette importante source de nourriture pour les invertébrés marins benthiques. À l'avenir, il sera important de pouvoir surveiller d'autres variables environnementales associées à l'habitat des invertébrés marins benthiques (par exemple, l'acidification des océans, les changements dans la température de l'eau, la modification des régimes de courant) afin d'évaluer les répercussions plus larges des changements climatiques sur les espèces ciblées (les changements dans l'aire de répartition ou la profondeur des espèces, les incidences sur la dispersion des larves, l'augmentation de l'incidence des maladies, etc.).

## CONCLUSIONS ET AVIS

Afin de répondre aux exigences de la *Loi sur les pêches* modifiée et de soutenir la mise en œuvre d'un cadre fondé sur l'approche de précaution pour les espèces d'invertébrés benthiques d'intérêt, la conception suivante est recommandée pour le relevé en plongée de multiples espèces d'invertébrés benthiques à l'échelle de la côte du MPO.

1. Utiliser le protocole de relevé en plongée décrit à l'annexe 12.1 du document de recherche, y compris le schéma d'échantillonnage par saut de quadrat selon la longueur du transect, une plage de profondeur cible de -2 m à 12,2 mètres par rapport au zéro des cartes et une longueur maximale de transect de 125 mètres.
2. Exclure les sections du littoral dont les valeurs de fetch sont inférieures à 20 000 mètres ou supérieures à 2,52 millions de mètres lors de la mise en place aléatoire des transects afin de s'assurer que l'effort d'échantillonnage se concentre sur les habitats convenables tout en évitant les zones potentiellement dangereuses pour les plongeurs.
3. Veiller à ce que le relevé ait toujours lieu à la même période de l'année pour éviter d'introduire des variations saisonnières dans les données.
4. Dans les calculs pour déterminer le nombre cible initial de transects à échantillonner, utiliser le rapport commun (toutes espèces confondues) entre l'écart-type et la moyenne de la densité (animaux/m<sup>2</sup>) à l'échelle de la côte (égal à 1,27 ou  $\sigma/\mu = 1,27$ ), qui a été dérivé des relevés pilotes. Le nombre de transects à échantillonner peut changer si le rapport entre l'écart-type *in situ* et la moyenne de la densité diffère considérablement de cette estimation pour toute la côte.
5. Effectuer au moins 240 transects sur l'ensemble de la côte pour estimer l'état des stocks afin de gérer adéquatement les risques de détermination incorrecte de l'état des stocks. Ce nombre cible de transects est fondé sur une analyse d'échantillonnage d'acceptation et utilise les points de référence actuels pour l'oursin rouge géant (Lochhead *et al.* 2019) et l'holothurie de Californie (Hajas *et al.* Sous presse), les tolérances au risque prédéterminées



et les estimations de variabilité dérivées des relevés pilotes menés sur le terrain. Le nombre cible de transects pourrait changer, à mesure que de nouvelles données deviendront disponibles ou si les points de référence, la variabilité observée dans les données ou les tolérances au risque changent.

6. Mettre en œuvre un plan d'échantillonnage aléatoire à deux étapes qui réduit au minimum le temps nécessaire pour couvrir toute la côte de la Colombie-Britannique et optimise l'utilisation efficace des ressources disponibles. Idéalement, la totalité de la côte serait couverte en une seule année (environ 42 jours de temps-navire nécessaires). Une solution de rechange réaliste consisterait à diviser la côte en deux ou trois sections et à effectuer une rotation entre ces sections sur deux ou trois années (ce qui nécessiterait environ 23 jours ou 18 jours de temps-navire par année, respectivement). Si les ressources disponibles (telles que le temps-navire) imposent une période de rotation supérieure à deux années, il est recommandé d'envisager la conception de panel.
7. Continuer à explorer les variables préalables et postérieures à la stratification pour améliorer la précision du relevé, à mesure que des données deviennent disponibles. Bien que les analyses actuelles ne permettent pas de conclure que la stratification en fonction du fetch, de l'occupation de l'habitat par la loutre de mer, du type de substrat ou de la profondeur améliore la précision du relevé pour le moment, l'écosystème dynamique occupé par les espèces ciblées implique que ces variables ou d'autres pourraient devenir pertinentes pour la conception du relevé à l'avenir.

## **AUTRES CONSIDÉRATIONS**

Des améliorations technologiques pourraient permettre de rendre le protocole de relevé plus efficace. Par exemple, de nouveaux pieds à coulisse permettant d'enregistrer des données sous l'eau et des méthodes d'enregistrement numérique des données de relevé en plongée sur des tablettes placées dans des caissons sous-marins sont actuellement mis au point par le Ministère et des partenaires contractuels. Cela pourrait permettre d'estimer la densité en temps réel, rendant les plans d'échantillonnage double (tels que décrits à l'annexe 12.4 du document de recherche) plus réalisables à l'avenir.

## **LISTE DES PARTICIPANTS À LA RÉUNION**

<b>Nom</b>	<b>Prénom</b>	<b>Organisme d'appartenance</b>
Araujo	Andres	MPO – Sciences
Armsworthy	Shelley	MPO – Sciences, région des Maritimes
Atkins	Mike	Underwater Harvesters Association
Bureau	Dominique	MPO – Sciences
Burton	Meghan	MPO – Sciences
Campbell	Jill	MPO – Sciences
Christensen	Lisa	MPO – Centre des avis scientifiques, région du Pacifique
Colclough	Carley	MPO – Centre des avis scientifiques, région du Pacifique
Featherstone	Mike	Pacific Urchin Harvesters Association
Fong	Ken	MPO – Sciences

Nom	Prénom	Organisme d'appartenance
Ganton	Amy	MPO – Gestion des pêches, Cadre pour la pêche durable
Hajas	Wayne	MPO – Sciences
Hankewich	Sandie	Première Nation Kitasoo/Xai'xais
Hansen	Christine	MPO – Sciences
Howse	Victoria	MPO – Sciences, région des Maritimes
Krause	Geoff	Pacific Sea Cucumber Harvesters Association
Lessard	Joanne	MPO – Sciences
Lohead	Janet	MPO – Sciences
Mazur	MacKenzie	MPO – Sciences
Mijacika	Lisa	MPO – Gestion des pêches, Invertébrés
Muirhead-Vert	Yvonne	MPO – Centre des avis scientifiques, région du Pacifique
Obradovich	Shannon	MPO – Sciences
Ridings	Pauline	MPO – Gestion des pêches, Invertébrés
Rooper	Chris	MPO – Sciences
Schwarz	Carl	Stat Math Consulting
Thiess	Mary	MPO – Sciences, administration centrale
Wylie	Erin	MPO – Gestion des pêches

## SOURCES DE RENSEIGNEMENTS

Le présent avis scientifique découle de la réunion par les pairs régional du 13 au 14 juillet 2022 sur les recommandations sur la conception d'un programme de relevé en plongée des invertébrés marins benthiques multi-espèces pour le suivi des stocks. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le [calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada](#).

Burt, J.M, Tinker, M.T., Okamoto, D.K., Demes, K.W., Holmes, K. and A.K. Salomon. 2018. [Sudden collapse of a mesopredator reveals its complementary role in mediating rocky reef regime shifts](#). Proc. R. Soc. B. 285:20180553. (Accessed Feb 15, 2022).

Campbell, A. 1997. [Possible criteria for reopening the Northern Abalone \(\*Haliotis kamtschatkana\*\) fishery in British Columbia](#). Can. Stock Assess. Sec. Res. Doc. 1997/064. 48p.

Duprey, N.M.T. 2011. Sea cucumber biomass estimations from surveys conducted June 2009 to May 2010. Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2954: viii + 97p.

Duprey, N.M.T., Curtis, J.M.R., Finney, J.L., and Hand, C.M. 2016. [Simulation Modelling Tools to Evaluate Alternative Fishery Closure Area Network Designs for Shallow-water Benthic Invertebrates in British Columbia](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2016/011. vi + 81 p.

Fedorenko, A.Y. and Sprout, P.E. 1982. Abalone biology, fishery regulations, commercial catch (1952 - 1980), and current status of resources in British Columbia. Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1658: 74p.

- Hajas, W., Hansen, C., et Lochead, J. Sous press. Mise à jour des points de référence et des options de récolte pour la pêche du concombre géant de la mer Rouge (*Apostichopus californicus*) en Colombie-Britannique à l'aide des données des zones de pêche expérimentale. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech.
- Hewson, I., Button, J.B., Gudenkauf, B.M., Miner, B., Newton, A.L., Gaydos, J.K., Wynne, J., Groves, C.L., Hendler, G., Murray, M. and Fradkin, S. 2014. Densovirus associated with sea-star wasting disease and mass mortality. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111:17278-17283.
- Lawson, J. 2021. [An Introduction to Acceptance Sampling and SPC with R](#). (Consulté le 25 août 2021).
- Lochead, J., Zhang, Z., et Leus, D. 2019. [Détermination des points de référence possibles et des options de taux de récolte pour la pêche commerciale de l'oursin rouge géant \(\*Mesocentrotus franciscanus\*\) en Colombie-Britannique](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. de rech. 2019/061. viii + 72 p.
- MPO. 2007. [A New Ecosystem Science Framework in Support of Integrated Management](#). (Consulté le 13 septembre 2022)
- MPO. 2009. [Un cadre décisionnel pour les pêches intégrant l'approche de précaution](#). (Consulté le 13 septembre 2022)
- MPO. 2018. [Mise à jour sur l'état du stock d'oursins verts \(\*Strongylocentrotus droebachiensis\*\) en Colombie-Britannique et options de prélèvement pour la pêche de 2018 à 2021](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Rép. des Sci. 2018/054.
- MPO. 2022. [Lignes directrices pour la mise en œuvre des dispositions relatives aux stocks de poissons de la Loi sur les pêches](#). (Consulté le 13 septembre 2022)
- Obradovich, S.G., Hansen, S.C., Zhang, Z., MacNeill, S., Nichol, L.M., Rooper, C.N., St. Germain, C., Curtis, D.L., Waddell, B.J., et Barton, L.L. 2021. [Examen préalable à l'évaluation par le COSEPAC de l'information du MPO sur l'ormeau nordique \(\*Haliotis kamtschatkana\*\) le long de la côte du Pacifique du Canada](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2021/001. v + 77 p.
- Rogers-Bennett, L. and Catton, C.A. 2019. [Marine heat wave and multiple stressors tip bull kelp forest to sea urchin barrens](#). *Scientific Reports* 9: 15050.
- Sloan, N.A., and Breen, P.A. 1988. [Northern abalone, \*Haliotis kamtschatkana\*, in British Columbia: fisheries and synopsis of life history information](#). *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 103: 46p.
- Thompson, S. K., Ramsey, F. L., and Seber, G.A.F. (1992). [An Adaptive Procedure for Sampling Animal Populations](#). *Biometrics*, 48(4), 1195–1199. (Consulté le 13 septembre 2022)

**CE 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 : [DFO.PacificCSA-CASPacifique.MPO@dfo-mpo.gc.ca](mailto:DFO.PacificCSA-CASPacifique.MPO@dfo-mpo.gc.ca)

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

ISSN 1919-5117

ISBN 978-0-660-46836-5 N° cat. Fs70-6/2023-003F-PDF

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre du  
ministère des Pêches et des Océans, 2023



La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2023. Recommandations sur la conception d'un programme de relevé en plongée de multiples espèces d'invertébrés marins benthiques pour le suivi des stocks. Secr. can. des avis sci. du MPO. Avis sci. 2023/003.

*Also available in English:*

*DFO. 2023. Recommendations on the Design of a Multispecies Benthic Marine Invertebrate Dive Survey Program for Stock Monitoring. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2023/003.*