



ÉVALUATION DES SUINTEMENTS FROIDS DU PACIFIQUE CANADIEN PAR RAPPORT AUX CRITÈRES DE DÉTERMINATION DES ZONES D'IMPORTANCE ÉCOLOGIQUE ET BIOLOGIQUE

Contexte

Les suintements froids sont des habitats marins benthiques où des produits chimiques réduits (p. ex. l'hydrogène sulfuré et le méthane), provenant des réservoirs d'hydrocarbures subsuperficiels, émanent du plancher océanique. Les microbes métabolisent ces composés chimiques et constituent la base des communautés chimiotrophes qui ne dépendent pas directement de la lumière du soleil et de la photosynthèse. Les suintements froids sont souvent caractérisés par une forte productivité biologique et un endémisme marqué et – comme les événements hydrothermaux – sont considérés comme des oasis biologiques dans les grands fonds généralement pauvres en sources de nourriture. Dans ce contexte, les suintements (et les événements) ont été étudiés dans la [première évaluation des océans des Nations Unies](#) (Le Bris *et al.* 2016).

Le Canada s'est engagé à désigner des zones d'importance écologique et biologique (ZIEB) dans ses eaux nationales dans le cadre de ses engagements aux termes de la Convention sur la diversité biologique (Convention on Biological Diversity 2008). Dans le cadre de la Stratégie pour le réseau d'aires marines protégées Canada-Colombie-Britannique (Canada 2014), le gouvernement fédéral s'est également engagé à intégrer les ZIEB dans ses réseaux d'aires marines protégées (AMP). Depuis 2004, huit critères d'évaluation des ZIEB possibles ont été définis : l'unicité ou la rareté; l'importance particulière pour les stades biologiques des espèces; les concentrations d'espèces; la vulnérabilité, la fragilité, la sensibilité ou le rétablissement lent; le caractère naturel; l'importance pour des espèces ou habitats menacés, en voie de disparition ou en déclin; la productivité biologique; la diversité biologique (Ban *et al.* 2016; DFO 2004, 2011). De même, à l'échelle internationale, des mesures ont été prises afin de protéger la biodiversité marine des écosystèmes marins vulnérables (EMV, y compris les suintements froids), dont les critères, semblables à ceux des ZIEB, comprennent également la complexité structurelle (Ardron *et al.* 2014; United Nations General Assembly 2011).

Bien que des ZIEB aient été déterminées dans les quatre biorégions du Pacifique (écorégion du plateau nord, écorégion du plateau sud et détroit de Georgie (DFO 2013); biorégion située au large du Pacifique (Ban *et al.* 2016), ces efforts n'ont pas inclus les suintements froids, qui sont considérés comme abritant probablement des communautés uniques et productives. Dans la région du Pacifique, plusieurs suintements froids ont été explorés au moyen d'engins sous-marins, et de nombreux panaches de gaz dénotant des emplacements potentiels d'autres suintements ont été localisés dans la colonne d'eau. Cependant, ces sites n'ont pas été systématiquement répertoriés ni évalués en fonction des critères de définition des ZIEB. Ainsi, ils demeurent non protégés et vulnérables aux impacts.

Le groupe des océans de la Direction de la gestion des écosystèmes du MPO a demandé à la Direction des sciences de présenter une évaluation des suintements froids par rapport aux critères des ZIEB et des EMV. Cette réponse des Sciences et les avis qui en découlent

serviront à orienter l'atteinte des objectifs permanents de conservation marine ainsi que les efforts de conservation à venir dans la région du Pacifique.

La présente réponse des Sciences découle du processus de réponse des Sciences le 15 mai 2017 sur l'évaluation des suintements froids du Pacifique canadien par rapport aux critères de désignation des zones d'importance écologique et biologique.

Objectifs

1. Compiler des renseignements sur la distribution spatiale des suintements froids connus et supposés dans la biorégion située au large du Pacifique et dans les biorégions du plateau nord et du plateau sud.
2. Caractériser les propriétés biophysiques, chimiques et écologiques des suintements froids déterminés dans la biorégion située au large du Pacifique et dans les biorégions du plateau nord et du plateau sud.
3. Évaluer les suintements froids déterminés en fonction des critères nationaux et internationaux publiés pour la désignation des ZIEB (Ban *et al.* 2016; Convention on Biological Diversity 2008; DFO 2004, 2011) et conformément aux critères internationaux visant les écosystèmes marins vulnérables (FAO 2016).
4. Indiquer le niveau de confiance associé à l'évaluation des ZIEB, puis déterminer et examiner toutes les sources d'incertitude concernant les données ou les méthodes utilisées pour guider cette évaluation.

La présente réponse des Sciences découle du processus spécial de réponse des Sciences du 15 mai 2017 sur l'évaluation des suintements froids du Pacifique canadien par rapport aux critères servant à déterminer les zones d'importance écologique et biologique.

Renseignements de base

Ban *et al.* (2016) ont récemment désigné des ZIEB pour la biorégion située au large du Pacifique, un processus qui a également été accompli pour les écorégions du plateau nord, du plateau sud et du détroit de Georgie (DFO 2013). Dans la biorégion située au large du Pacifique, des ZIEB ont été trouvées pour cinq types d'habitats différents : les événements hydrothermaux, les monts sous-marins, le talus, le tourbillon Haïda et la zone de transition du Pacifique Nord (Ban *et al.* 2016). Toutefois, pendant l'examen régional par les pairs mené dans le cadre de ce processus du SCCS, on a remarqué que le MPO avait négligé de tenir compte des habitats des suintements froids pour d'éventuelles ZIEB, malgré le fait qu'ils aient été considérés comme des ZIEB dans d'autres régions et pays (DFO 2015, 2016).

À l'échelle internationale, les pêches des grands fonds qui entrent en contact avec le fond marin sont gérées par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), qui a défini des critères pour les écosystèmes marins vulnérables (EMV) (FAO 2009). Ceux-ci se rencontrent souvent sur les monts sous-marins où le chalutage par le fond détériore les espèces structurantes biogéniques comme les éponges et les coraux. En conséquence, les critères relatifs aux écosystèmes marins vulnérables comprennent la « complexité structurelle », qui n'est pas un critère des ZIEB. Même si son objectif est axé sur la gestion des pêches, l'approche des EMV est semblable à celle de la désignation des ZIEB et peut être considérée comme une mesure complémentaire à cette dernière (Ardron *et al.* 2014). En 2009, Pêches et Océans Canada a élaboré la Politique de gestion de l'impact de la pêche sur les zones benthiques vulnérables (Politique sur les zones benthiques vulnérables) sous les auspices du Cadre pour la pêche durable (DFO 2009a). La Politique sur les zones benthiques vulnérables,

semblable à celle de la FAO sur les EMV, se concentre sur les zones vulnérables à une pêche proposée ou existante. La vulnérabilité est déterminée selon le degré des dommages que la pêche peut produire dans la zone benthique, notamment en dégradant des fonctions des écosystèmes ou en perturbant la productivité. La Politique sur les zones benthiques vulnérables ne s'applique pas aux zones vierges où la pêche n'est pas pratiquée. Bien que la pêche de fond soit l'activité humaine la plus susceptible d'avoir des répercussions directes sur les habitats des suintements froids, d'autres activités peuvent également avoir des effets indirects ou cumulatifs sur les océans (réchauffement, acidification, désoxygénation, pollution par le plastique, exploitation minière, etc.).

Analyse et réponse

Introduction aux suintements froids et aux cadres géologiques

Les suintements froids (ou « événements froids ») sont des caractéristiques courantes le long des marges continentales mondiales, que l'on trouve habituellement entre 150 et 2 000 mètres de profondeur. Ces habitats uniques sont caractérisés par des fluides enrichis de composés réduits qui émanent du fond marin. En général, ces composés comprennent des hydrocarbures (à savoir du méthane, mais on peut également trouver de l'éthane, du propane, du butane, du pentane et des hydrocarbures plus complexes) et de l'hydrogène sulfuré (Le Bris *et al.* 2016; Suess 2014). À l'échelle mondiale, le méthane est souvent l'hydrocarbure dominant émis par les suintements, ce qui fait qu'ils sont communément appelés « suintements de méthane » ou « suintements d'hydrocarbures ». Nous utiliserons cependant le terme « suintement froid » tout au long de ce document étant donné qu'on ignore la composition moléculaire des gaz dans les fluides interstitiels pour la plupart des suintements au large de la marge du Pacifique du Canada. Cela dit, aux quelques sites où les gaz ont été étudiés, le méthane est l'hydrocarbure dominant (Pohlman *et al.* 2009). Les microbes chimiotrophes utilisent les composés réduits (comme le sulfure, le méthane et l'hydrogène) pour fixer le carbone, formant ainsi la base de riches réseaux trophiques et créant des zones biologiques névralgiques dans des grands fonds généralement pauvres en sources de nourriture. Les suintements froids non seulement contribuent à la productivité biologique, leurs niveaux élevés d'endémisme (une caractéristique commune à la plupart des écosystèmes chimiotrophes) ont aussi tendance à stimuler la diversité régionale (Le Bris *et al.* 2016). Bien qu'il n'existe pas d'inventaire mondial des suintements froids, des centaines ont été documentés et les estimations récentes indiquent qu'il y en a des dizaines de milliers répartis entre toutes les marges continentales de la planète (Merle and Embley 2016; Skarke *et al.* 2014).

Influencés par les cadres tectoniques, la source des fluides suintants et les interactions entre ces fluides et les matériaux sus-jacents à travers lesquels ils s'écoulent, les suintements froids se rencontrent dans divers cadres géologiques (Suess 2014). Cependant, il est possible de définir des distinctions générales entre la dynamique des suintements aux marges continentales actives et passives. Le long des marges actives où les plaques océaniques chargées de sédiments sont subduites sous les plaques continentales (comme la côte Pacifique du Canada), la compression latérale des sédiments provoque un assèchement et la hausse de la température et de la pression accroît la déshydratation des sédiments; les fluides ainsi formés remontent à travers les failles et les fractures. Le long des marges passives (comme la côte atlantique du Canada), les sédiments s'accumulent et les fluides sont expulsés sous l'effet de la charge créée par l'augmentation de la pression et du compactage des sédiments. Aux endroits où les sédiments s'accumulent rapidement (comme les deltas, les plateaux continentaux productifs, les canyons, les dépressions et les marques d'échappement), ils sont souvent riches

en matière organique et favorisent la réduction des sulfates et la méthanogénèse en l'absence d'oxygène (Suess 2014).

Le long de la marge de Cascadia, la subduction de la plaque Juan de Fuca sous la plaque nord-américaine se produit depuis l'Éocène, créant un prisme d'accrétion de plus de 4 km d'épaisseur (Hyndman 1995). À l'intérieur de ce prisme, les couches de sédiments s'épaississent, subissent des déformations, une compression horizontale et l'expulsion des fluides, contribuant à la formation de la source probablement dominante des fluides des suintements le long de la marge continentale du Pacifique canadien. Le plancher océanique régional reçoit également des apports sédimentaires du système de remontée d'eau du courant de la Californie, très productif, et les grandes quantités de sédiments riches en matière organique provenant du détroit de Juan de Fuca. Les fluides exsudés aux suintements peuvent ainsi contenir des hydrocarbures d'origines et d'âges différents.

Dans les zones de subduction, le méthane s'échappant des suintements provient souvent d'hydrate de méthane gelé, parfois appelé clathrate. L'hydrate se forme dans des conditions de température et de pression particulières et a une structure cristalline ressemblant à de la glace, avec des molécules d'eau entourant une molécule de méthane enfermée au centre. L'hydrate de méthane demeure stable tant que la température et la pression restent constantes. Mais des augmentations de la température ou des baisses de la pression peuvent permettre à la « glace » de fondre, libérant le méthane dans les sédiments et provoquant sa migration ultime dans la colonne d'eau sous forme gazeuse. Le long de la plupart des marges continentales, les hydrates de gaz sont stables à des profondeurs de 500-600 mètres et plus. La limite supérieure de la zone de stabilisation des gaz, où les températures plus chaudes entraînent la dissociation et la sublimation des hydrates, se situe généralement aux alentours de 500 m le long de la marge de Cascadia (Johnson *et al.* 2015). De récents travaux ont suggéré que cette thermodynamique pourrait donner lieu à des fréquences plus élevées des suintements dans la partie supérieure de la zone de stabilisation, ce qui est attesté par un plus grand nombre de panaches de gaz dans la colonne d'eau (Johnson *et al.* 2015). Une récente croisière le long de la marge de Cascadia (*Nautilus-072*) a découvert des centaines de sites avec des panaches de bulles au sud du détroit de Juan de Fuca et au nord du cap Mendocino, en Californie (Bell *et al.* 2017; Merle and Embley 2016), et des travaux récents sur des données canadiennes plus anciennes et les données des navires en accès libre ont permis de déceler plus de 1 000 sites de suintement dans l'ensemble de la marge de Cascadia (Riedel *et al.* 2016). Les panaches (simples et multiples) s'amassent fréquemment à la tête des canyons. La plupart se produisent à des profondeurs faibles (< 250 m), mais le plus profond se trouve à plus de 2 000 m. La normalisation de l'abondance des panaches par rapport à la distribution bathymétrique révèle que la profondeur à laquelle les panaches sont le plus souvent observés le long de la marge de Cascadia est d'environ 500 m. Johnson *et al.* (2015) ont émis l'hypothèse que la hausse actuelle de la température des océans pourrait être responsable de l'augmentation de la dissolution des hydrates de gaz le long des marges continentales, contribuant à certains des panaches gazeux observés dans la partie supérieure de la zone de stabilisation des gaz. Compte tenu des modèles thermodynamiques, la profondeur de stabilité des hydrates le long de la marge de Cascadia est remontée d'environ 13 m depuis 1970 et les augmentations de 0,9 à 2,4 °C prévues d'ici 2100 pourraient faire remonter la zone de stabilité de 68 à 75 m supplémentaires, ce qui donnerait lieu à une plus grande dissociation du méthane (Hautala *et al.* 2014). Bien que le rôle de ce rejet de méthane dans l'accélération des changements climatiques suscite de plus en plus d'intérêt, nous n'avons encore aucune preuve de l'importance de la dissociation des hydrates pour les émissions mondiales de méthane (Ruppel and Kessler 2017).

Biologie et écologie des suintements froids

Bien des caractéristiques du plancher océanique associées aux suintements froids – carbonates « authigènes » (qui se sont formés à l'endroit où ils se trouvent actuellement), tapis bactériens et gros animaux hôtes de symbiotes microbiens – proviennent directement ou indirectement de processus biologiques utilisant le méthane comme source d'énergie. L'oxydation anaérobie du méthane s'accomplit par symbiose microbienne entre une bactérie réductrice de sulfates et une archée méthanogène (qui oxyde le méthane). L'oxydation anaérobie du méthane est active dans les couches de sédiments qui contiennent à la fois des sulfates, abondants dans l'eau de mer, et du méthane. Dans la zone transitionnelle sulfates-méthane des sédiments du fond marin, les deux types de microbes s'associent en consortia de cellules car leurs métabolismes respectifs deviennent favorables sur le plan énergétique lorsqu'ils s'exécutent ensemble (Orphan *et al.* 2001). Outre la fixation du carbone inorganique en sucres, l'oxydation anaérobie du méthane entraîne la conversion du méthane en bicarbonate et celle des sulfates en sulfures. Ces « déchets » ont des effets importants sur les écosystèmes des suintements froids.

L'accumulation d'ions bicarbonate mène à la précipitation du carbonate, d'abord en nodules, puis en concrétions plus grosses, comme des blocs rocheux et même des structures carbonatées sur le plancher océanique. Il s'agit d'un processus extraordinairement lent et une structure de plusieurs centimètres d'épaisseur peut prendre des centaines d'années à se former (Luff *et al.* 2004). Les microbes colonisent les roches carbonatées, tout comme les animaux tels que les escargots, les patelles, les vers ou les amphipodes qui se nourrissent des filaments bactériens ou qui utilisent l'extérieur ou l'intérieur des roches comme habitat (Levin *et al.* 2015). Lorsque les suintements froids sont actifs pendant longtemps, les carbonates authigènes du plancher océanique peuvent devenir des monts proéminents qui ajoutent une topographie rugueuse à un fond marin sinon plat et sédimenté, et qui peuvent être détectés par les sonars des navires. L'activité métabolique des microbes contribue ainsi aux caractéristiques tridimensionnelles complexes qui, ultimement, servent de sites d'attachement à une communauté suspensivore diversifiée comprenant les éponges, les coraux et les crinoïdes, ainsi qu'à des poissons et invertébrés mobiles (Levin *et al.* 2016). L'observation de suintements froids où les assemblages, les taux des émissions de gaz et les quantités de carbonate sont différents a mené à des modèles hypothétiques de succession dans les écosystèmes des suintements froids. Bowden *et al.* (2013) spéculent que la transition d'un suintement actif, dominé par la production chimiotrophe, à un mont carbonaté inactif dominé par des suspensivores profitant de la force des courants pourrait prendre des siècles, voire davantage.

L'accumulation d'hydrogène sulfuré provoquée par l'oxydation anaérobie du méthane fournit le carburant chimique des bactéries qui oxydent les sulfures, forment de grands tapis colorés à la surface du fond marin et sont consommées par de nombreux invertébrés autonomes comme les gastéropodes, les polychètes, les galathées et les petits crustacés péricarides (Levin 2005; Sibuet and Olu 1998). Certains groupes de la faune (généralement) de plus grande taille ont évolué pour se nourrir en servant d'hôtes à des microbes endosymbiotiques plutôt qu'en consommant de la matière organique. Ces microbes mutualistes sont souvent des bactéries qui oxydent les sulfures, mais peuvent aussi englober des types qui métabolisent le méthane, les hydrocarbures ou l'hydrogène; parfois, plus d'un groupe métabolique de symbiotes est présent. Le long de la marge de Cascadia, il s'agit généralement de vers tubicoles vestimentifères (~30-200 cm de long) et de palourdes des familles des Solemyidae et des Vesicomidae (~5-30 cm de long), mais on trouve ailleurs des moules mytilidés (Duperron *et al.* 2007), des éponges (Arellano *et al.* 2013) et des crabes yétis (Thurber *et al.* 2011).

Les suintements froids, comme les événements hydrothermaux, sont classés parmi les écosystèmes chimiotrophes car la communauté dépend de l'énergie chimique plutôt que de la photosynthèse

(Tunnicliffe *et al.* 2003). Ils constituent de riches oasis biologiques dans les grands fonds. En général, moins de 1 % de la production superficielle parvient jusqu'au plancher océanique à des profondeurs supérieures à 500 m. La productivité primaire des suintements froids crée une source rare *in situ* de nourriture dans les grands fonds, donnant de grands animaux, des populations denses et une production qui peuvent être exportés dans les écosystèmes environnants de la marge continentale. Les suintements froids peuvent aussi abriter des habitats extrêmement hétérogènes. Un seul peut présenter des assemblages occupant le carbonate exposé, des tapis microbiens sur les sédiments, des gisements de myes, des parcelles de tubes de vers polychètes, des bancs de vers tubicoles de la famille des Siboglinidae, plus gros, des hydrates de gaz solides exposés, des coquilles et tubes morts dans des régions qui ne suintent plus, et d'autres choses (Cordes *et al.* 2010; Grupe *et al.* 2015). L'existence de tant de substrats du fond marin et de types d'habitats différents crée plus de niches qui peuvent soutenir une diversité relativement grande et ce cadre géochimique unique n'existe nulle part ailleurs le long des marges continentales. Les vers tubicoles, en particulier, en tant qu'habitat biogénique complexe, peuvent soutenir des assemblages particulièrement diversifiés dans les écosystèmes des suintements froids (Cordes *et al.* 2009).

Attributs biophysiques, chimiques et écologiques des suintements froids le long de la marge continentale du Pacifique

Cadre biorégional

Des suintements froids ne sont mentionnés dans les ouvrages scientifiques qu'en référence à quelques endroits au large de la côte canadienne du Pacifique, mais ils sont présents dans trois des quatre biorégions, dans des cadres très différents (figure 1, tableau 1). Les suintements les mieux étudiés sont situés dans la biorégion du plateau sud, notamment ceux qui se trouvent dans le canyon de Barkley (environ 800 m) et sur la pente Clayoquot (~1 300 m; région du mont thermal Bullseye). Ces deux emplacements ont fait l'objet de recherches océanographiques, géophysiques et de dynamique des fluides, menées dans le cadre du programme intégré de découverte des océans (IODP) et, plus récemment, par Ocean Networks Canada (ONC) (Römer *et al.* 2016). Les nœuds d'observation déployés à ces sites collectent des données en temps réel (des sismographes, des profileurs de courant à effet Doppler [ADCP], des capteurs CTP, etc.), mais les études biologiques ont été rares jusqu'à présent. Même si peu d'informations sont publiées à leur sujet, les scientifiques ont également découvert des suintements froids sur la pente continentale de la zone de fracture de Nootka, à 70 km au sud-ouest de l'île Nootka (à une profondeur d'environ 2 300 m dans la biorégion située au large du Pacifique; Frye *et al.* 2006) et sur la crête qui sépare les canyons de Barkley et de Nitinat (~900-940 m) (Riedel *et al.* 2016). Des chercheurs de Ressources naturelles Canada (RNC) ont récemment découvert des suintements froids dans la biorégion du plateau nord à l'aide de systèmes de caméras sous-marines ciblant des caractéristiques géophysiques précises. Ils sont situés à la pointe sud de Haida Gwaii (~800 m) et dans l'entrée Dixon (~1 000 m) (Barrie *et al.*, données inédites; Sitka Sound Science Center 2015). De plus, une grappe de panaches de gaz observée en profondeur indique que des suintements existent probablement dans le canyon Ououkinsh (~950 m) près de la péninsule Brooks (Riedel *et al.* 2016).

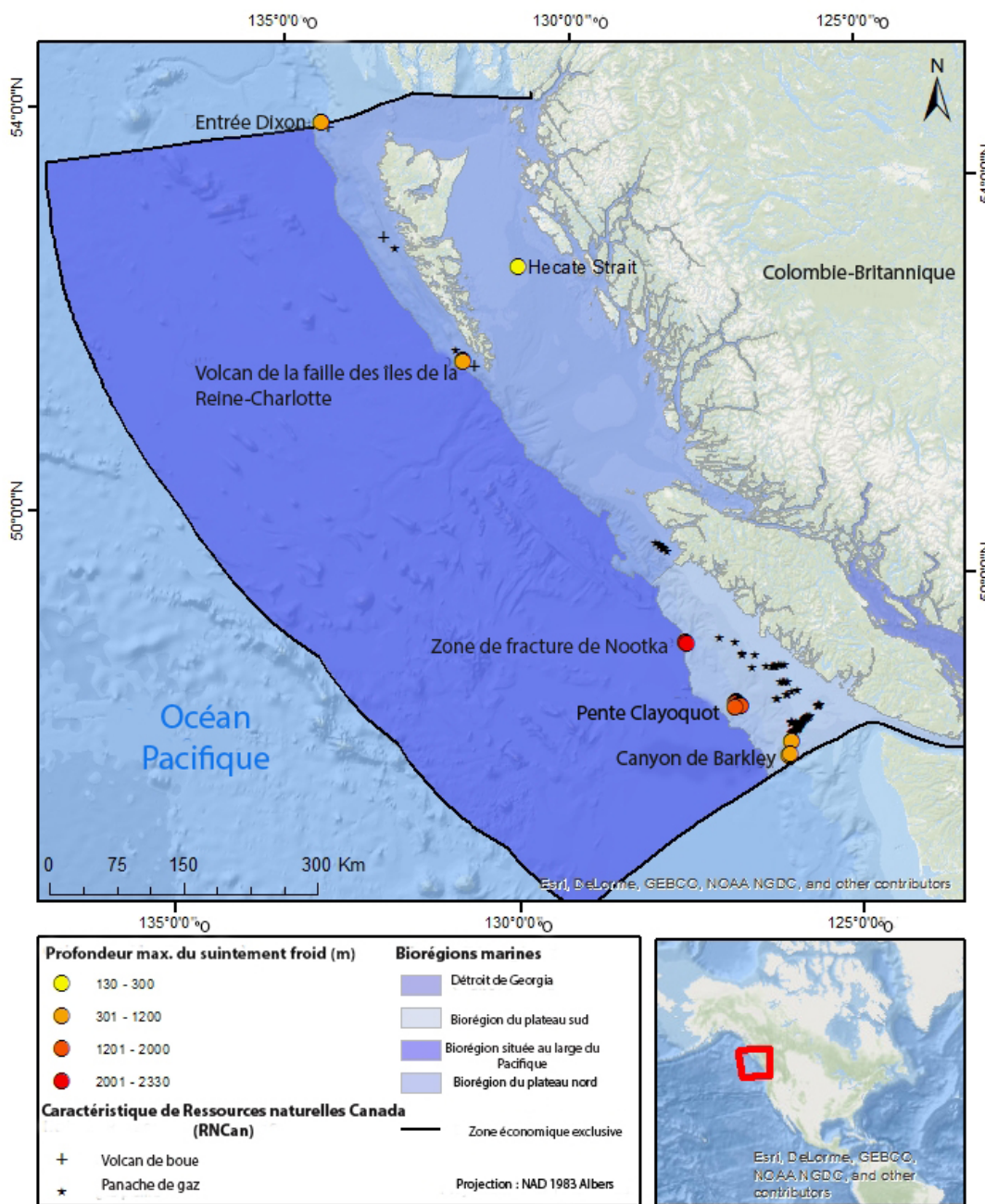


Figure 1. Emplacements des suintements froids dans le Pacifique, par profondeur. Les emplacements des suintements froids (cercles de couleur) ont été compilés à partir de publications scientifiques, de rapports de croisière et de thèses, et la liste complète en est donnée dans le tableau 1 à l'annexe. Les panaches de gaz et les volcans de boue ont été localisés à l'aide d'échosondeurs à faisceau unique (données communiquées par J.V. Barrie, Ressources naturelles Canada). Les biorégions marines ont été classées par Pêches et Océans Canada (2009b).

De nombreux panaches de gaz ont été repérés à l'aide d'échosondeurs multifaisceaux et à faisceau unique, ce qui suggère l'existence de dizaines, voire de centaines de suintements qui n'ont pas encore été explorés (Riedel et al. 2016, J.V. Barrie, communication personnelle). Ces panaches émanent du fond marin, à des profondeurs inférieures à 250 m, et sont surtout concentrés aux têtes des canyons et près du débit sortant du détroit Juan de Fuca. Dans ces eaux peu profondes, un suintement a été caractérisé dans la biorégion du plateau nord dans le détroit d'Hécate (environ 130 m); c'est aussi le suintement décrit le moins profond dans les eaux canadiennes du Pacifique (Barrie *et al.* 2011). Il peut traduire la présence de suintements, ailleurs sur le plateau continental, associés aux panaches de gaz fréquemment observés. L'histoire géologique du bassin de la Reine-Charlotte est propice à la formation de pétrole et de gaz, et de nombreuses caractéristiques côtières et marques d'échappement extracôtières semblables aux suintements du détroit d'Hécate ont été détectées.

Hydrates de gaz et suintements froids du canyon de Barkley

L'IODP a trouvé des preuves de sismique réflexion des hydrates de gaz dans la partie canadienne du Pacifique en 1985 et a procédé au premier forage d'hydrates de gaz enfouis en 1992 (IODP Leg 146) (Westbrook *et al.* 1994). Ce sont des pêcheurs qui pratiquaient le chalutage par le fond qui ont les premiers découvert des hydrates de gaz exposés dans le canyon de Barkley, à 80 km à l'ouest de l'île de Vancouver. Ils ont remonté plus de 1 000 kg d'hydrates de gaz gelés (Spence and Chapman 2001) dans leur filet. Par la suite, un relevé du canyon de Barkley, effectué à l'aide d'un véhicule sous-marin téléguidé (VTG), a révélé d'énormes affleurements d'hydrates de gaz exposés associés à des traces de pétrole à une profondeur de 855 m (Chapman *et al.* 2004; Lu *et al.* 2007; Pohlman 2006). Il s'agissait d'une découverte importante puisque les hydrates de gaz gelés sont rarement exposés sur le plancher océanique (figure 2). Le canyon de Barkley est finalement devenu un site instrumenté en permanence, équipé d'un réseau de câbles appelé NEPTUNE et exploité par OCN, qui permet de collecter constamment des données géophysiques, océanographiques et biologiques. Les affleurements d'hydrates de gaz présents dans le canyon de Barkley sont uniques dans les eaux canadiennes car les hydrates de gaz sont le plus souvent enfouis sous les sédiments (Lu *et al.* 2007).

Les processus géologiques dont sont issus les hydrates de méthane dans le canyon de Barkley sont uniques dans un sens mondial (Chapman *et al.* 2004). La plupart des hydrates enfouis dans les sédiments des pentes continentales sont d'origine microbienne et se présentent sous une forme appelée structure I. Le canyon de Barkley, cependant, est le premier emplacement connu le long d'une marge continentale où des gaz thermogéniques (principalement du méthane) donnent des hydrates de gaz sous des formes appelées structure II et structure H (Lu *et al.* 2007). Ces hydrates contiennent des hydrocarbures beaucoup plus complexes (p. ex. isopentane, méthylcyclopentane) que les hydrates de structure I, et ils sont associés à des températures élevées au cours de leur formation (Chapman *et al.* 2004; Lu *et al.* 2007). Leur présence sur le plancher océanique n'est connue qu'à très peu de sites dans le monde entier et ils sont généralement associés à des réserves de pétrole et de gaz. Les suintements du canyon de Barkley contiennent également du méthane biogénique qui n'est pas lié aux combustibles fossiles, mais est associé à l'accumulation rapide de sédiments à la fin du dernier maximum glaciaire, suivie d'une méthanogénèse microbienne (Pohlman 2006; Pohlman *et al.* 2009). La majorité du méthane et des autres hydrocarbures présents à ce site provient probablement de réservoirs de pétrole profonds (Pohlman *et al.* 2005).

Les rejets de gaz et les écoulements de fluides émanant des suintements du canyon de Barkley ont été étudiés à l'aide d'appareils reliés à l'observatoire câblé d'ONC. Les marées internes, les vagues superficielles sur le plateau et les courants générés par les vents ont tous une influence sur les courants de fond, améliorant les taux de dissociation des hydrates et de rejet de

méthane dans la colonne d'eau (Thomsen *et al.* 2012). La forte activité hydrodynamique à ce site est probablement liée à son emplacement à l'intérieur d'un canyon sous-marin, ce qui permet de penser que des taux élevés semblables de rejet gazeux pourraient être observés pour les autres suintements froids situés dans des canyons. Malgré les niveaux élevés de méthane résiduel dans la colonne d'eau, la plupart du méthane présent dans les sédiments est consommé par des microbes chimiotrophes. Par conséquent, c'est la dissociation des hydrates exposés qui contribue le plus au méthane mesuré (Pohlman 2006). La constatation que de grandes quantités d'hydrates de gaz thermogéniques peuvent exister sur le fond marin dans des conditions relativement stables a amené certains scientifiques à poser l'hypothèse que le réchauffement continu des océans pourrait faire considérablement augmenter les taux de rejets de méthane dans les océans à certains endroits (Johnson *et al.* 2015).

Les zones qui entourent les hydrates exposés dans le canyon de Barkley contiennent des communautés chimiotrophes caractérisées par des tapis microbiens filamenteux blancs (probablement des *Beggiatoa*) et beaucoup de palourdes de la famille des Vesicomidae (figure 2). Sur le site des hydrates de gaz, la distribution de l'endofaune dépend de la production chimiotrophe et de la qualité des aliments, et l'influence du méthane s'étend au moins jusqu'à 20 m au-delà de l'affleurement. Les communautés des sédiments sont dominées par des oligochètes et contiennent également des bivalves des familles des Dorvillidés et des Solemyidae (*Acharax*). Cet assemblage se distingue de ceux qui sont observés dans les régions voisines du canyon de Barkley dans lesquelles il n'y a pas de suintement de méthane, ni les ressources alimentaires connexes qu'il apporte aux sédiments (N. Campanya-Llovet, communication personnelle).

L'observatoire câblé d'ONC comprend une chenille benthique télécommandée (« Wally ») dotée de caméras, qui permet aux chercheurs d'observer fréquemment l'environnement et l'écosystème du canyon de Barkley. Des photomosaïques (orthophotographies) couvrant environ 30 m² du site des hydrates de gaz ont révélé des changements spectaculaires en cinq mois, y compris la variabilité des tapis microbiens blancs et le changement des emplacements et des quantités des palourdes, qui se déplacent en fonction des fluides du suintement (Purser *et al.* 2013). Une autre série de photomosaïques a montré une importante variabilité de la couverture des tapis microbiens et des emplacements des palourdes en deux jours seulement. Ces changements écosystémiques en l'espace de quelques jours ou mois illustrent bien la variabilité temporelle qui existe dans les suintements froids (Cordes *et al.* 2010) et l'importance de répéter les observations dans le temps.

Dans une étude différente consacrée aux profils des déplacements et de l'abondance de la mégafaune, Chatzievangelou *et al.* (2016) ont répété des transects de 20 m pendant des périodes de cinq jours sur plusieurs mois et ont noté les habitudes nyctémérales de mouvement de la myxine (*Eptatretus stoutii*), de la morue charbonnière (*Anoplopoma fimbria*) et des juvéniles du crabe des neiges du Pacifique (*Chionoecetes tanneri*). Si la proximité de ces prédateurs des suintements du canyon de Barkley peut permettre de penser qu'ils consomment des proies locales, leurs déplacements sont surtout corrélés au courant de fond et à la concentration en chlorophylle, signe que leur quête de nourriture se consacre sur des aliments coulant de zones moins profondes (Chatzievangelou *et al.* 2016).

D'autres suintements sont connus sur la crête de Barkley-Nitinat, à 15 km au sud du site des hydrates du canyon de Barkley. Ces suintements n'ont pas été aussi bien étudiés que les sites d'hydrates de gaz, mais des chercheurs du Monterey Bay Aquarium Research Institute (MBARI) ont recueilli des images de vastes tapis bactériens et d'énormes blocs rocheux carbonatés associés aux suintements présents sur cette crête (M. Scherwath, communication personnelle; Barr 2011). À cet emplacement (le « champ hydrothermal du Tully »), on a décrit plusieurs

espèces de coraux noirs, de pennatules et de gorgones qui vivent sur des carbonates (OBIS 2017).

Suintements froids sur la pente Clayoquot

La structure souterraine du fond marin de la région de la pente Clayoquot est relativement bien connue grâce à l'IODP et aux études connexes. La pente Clayoquot contient un certain nombre de suintements de gaz répartis sur une zone d'environ 2 km sur 4 km située à des profondeurs d'environ 1 300 m (see detailed maps in Paull *et al.* 2015a; Riedel *et al.* 2010; Römer *et al.* 2016). On pense que la grande quantité des émissions de gaz dans cette région provient des sédiments du prisme d'accrétion, vieux de plusieurs millions d'années. Certains de ces suintements sont associés à des monts, mais également à des événements hydrothermaux situés dans de nombreuses zones plates. Le mont thermal Bullseye, où l'OIDP a effectué des forages et a trouvé des hydrates de gaz pour la première fois en 1992 (Westbrook *et al.* 1994), n'émet plus de gaz. Quatre des sites d'émission de gaz actifs sont Bubbly Gulch, Gastown Alley, Amnesiac et Spinnaker. Un grand affleurement de carbonate, la crête Cucumber, contient également des suintements froids et de grandes communautés chimiotrophes, bien que les émissions de fluides soient moins vigoureuses (possiblement en raison de l'obstruction physique créée par les carbonates). Les relevés par VTG ont aussi révélé de nombreuses zones plus petites de suintement dans cette région, comme Gastown Alley, une zone sédimentée plate qui s'étend à 1,5 km au nord-est du mont thermal Bullseye en direction de Bubbly Gulch. Ces sites sont collectivement désignés par l'expression « suintements de la pente Clayoquot », même si leurs caractéristiques physiques et géochimiques distinctes dénotent des communautés biologiques différentes (Figures 3-4; Breen 2002; Furlong 2013).

Alors que le canyon de Barkley contenait de grandes quantités de méthane thermogénique, les gaz émanant du mont thermal Bullseye, sur la pente Clayoquot, avaient des origines biogéniques, n'étaient pas aussi étroitement liés à des sources de combustibles fossiles et étaient composés de méthane presque pur (>99 %) (Pohlman *et al.* 2009). Les hydrates de gaz récupérés dans les carottes d'échantillonnage extraites de ce site avaient des signatures isotopiques et des hydrocarbures différentes, ce qui correspond à un mélange d'origines biogéniques et thermogéniques. Les gaz affichant ces signatures n'apparaissent pas dans la colonne d'eau, et par conséquent les hydrates sur la pente Clayoquot ne se dissocient pas au taux des hydrates exposés dans le canyon de Barkley. En fait, les fluides interstitiels à l'intérieur des sédiments sont saturés en méthane à Bubbly Gulch (Lapham *et al.* 2013). Pas très loin de là, dans la Gastown Alley, les émissions de gaz sont extrêmement variables et corrélées aux cycles de marée, la pression moindre à marée descendante permettant une augmentation du flux de bulles (Römer *et al.* 2016). La variabilité temporelle dans l'environnement géochimique peut avoir une influence sur les changements observés dans les communautés biologiques, comme l'apparition des palourdes dans Bubbly Gulch en 2011 après deux années d'absence (Lapham *et al.* 2013).

Breen (2002) fournit l'une des rares descriptions biologiques détaillées d'un suintement froid du Pacifique canadien, à partir des relevés effectués par le véhicule téléguidé ROPOS sur la pente Clayoquot en mai 2001 (figure 4). On a analysé l'imagerie vidéo des relevés des suintements afin de déterminer le nombre de sites et la densité relative des suintements. Les relevés ont localisé 30 sites de suintements sur le mont carbonaté du nord (probablement la même caractéristique que la crête Cucumber; la plus forte densité relevée, d'un suintement par 97 m²), trois sites dans la « zone vierge 1 » (près de ce que l'on appelle maintenant le mont thermal Bullseye et Gastown Alley; un suintement par 338 m²) et 11 sites de suintement sur Skate Scarp (juste au sud-est du mont carbonaté sur la crête Cucumber; un suintement par 1 868 m²). Quatre animaux hôtes connus des symbiotes chimiotrophes ont été recueillis : les bivalves *Phreagena (Calyplogena) kilmeri*, *Archivesica (Vesicomya) gigas* et *Solemya reidi*, et le ver

tubicole vestimentifère *Lamellibrachia barhami*. Il s'agit d'une faune endémique aux habitats chimiotrophes et qui se trouve normalement aux sites des suintements froids. Cependant, *L. barhami* est observé aux champs hydrothermaux sédimentés dans la vallée Middle (Southward *et al.* 1996), *A. gigas* se rencontre dans les événements et les suintements du bassin Guaymas (Mexique) et au Costa Rica (Levin *et al.* 2012), et *S. reidi* a été trouvé dans les sédiments hypoxiques côtiers à proximité d'égouts de décharge et d'estacades flottantes (Felbeck 1983; Reid 1980). Bien que n'étant pas des suintements froids, ce sont des environnements dans lesquels la décomposition microbienne de la matière organique crée un appauvrissement en oxygène et provoque des concentrations élevées en sulfures dans les sédiments.

Dans le relevé effectué en 2001 sur la pente Clayoquot, la « zone vierge » (on entend par « zone vierge » les zones apparaissant dans les données des échosondeurs à basse fréquence qui indiquent les emplacements de gisements probables de gaz sous le fond marin) était la zone la moins active, avec seulement trois suintements repérés, dont le plus grand a été mesuré et couvre une superficie de 1,2 m². Des palourdes de la famille des Vesicomidae étaient cependant présentes à chaque suintement et des vers tubicoles ont été vus à un site. Des roches carbonatées étaient également présentes, même si la plupart du benthos était sédimentée. À un suintement en particulier, Breen (2002) a noté une « prépondérance des polychètes » sortant des sédiments et se nourrissant des dépôts. Ce comportement a été observé dans les ampharétides (*Amphisamytha* sp. était courante dans les carottes de sédiments) ou les spionidés présents en fortes densités à d'autres suintements froids (Thurber *et al.* 2010). Les zones entourant les suintements abritaient habituellement de faibles densités de faune autre que celle des suintements mais, dans un cas, on a observé une grande section (>10 m) de *Neptunea priboloffensis* (un grand buccin), dont beaucoup avaient pondus des tours d'œufs sur le carbonate. Différentes gorgones étaient courantes, souvent attachées au carbonate, et associées à des ophiuridés (*Asteronyx*).

On a observé davantage de suintements sur le mont carbonaté nord qu'aux autres sites, mais il convient de noter que l'emplacement des suintements reposait surtout sur ceux des animaux hôtes chimiotrophes et qu'il est possible qu'un même site ait été compté comme ayant deux suintements au lieu d'un en raison des écarts de plusieurs mètres entre les grappes de vers tubicoles (Breen 2002). Les suintements abritaient des vers tubicoles, des palourdes ou les deux et la faune connexe était composée de galathées, de caridines, de gastéropodes *N. priboloffensis*, d'ophiuridés, de polychètes sabellides et d'hydroïdes attachés aux tubes des *Lamellibrachia*. Le plus grand suintement contenant des vers tubicoles couvrait environ 4 m², mais deux suintements abritant des Vesicomidae avaient une superficie de 9 m². Dans la périphérie des suintements, différentes espèces de gorgones, des crinoïdes et des hydroïdes étaient fréquemment attachés au carbonate. Des holothuries étaient parfois fréquentes en présence de sédiments meubles.

Skate Scarp est le seul site où l'on a trouvé des *Solemya reidi* (bien que l'espèce vive dans des sillons profonds et ne soit souvent pas visible dans les relevés (Seike *et al.* 2012)), ainsi que des Vesicomidae et *L. barhami* (Breen 2002). Skate Scarp semble également avoir été le seul site où les vers tubicoles étaient nettement plus dominants que les palourdes à certains suintements. C'est à ce site que les plus grands suintements ont été découverts, dont quatre de plus de 11 m² et un d'environ 35 m²; beaucoup étaient situés le long d'une crête carbonatée. Les suintements contenaient souvent de grandes plaques carbonatées et *N. priboloffensis* était observé couramment, mais en faibles densités. *N. priboloffensis* avait attaché ses tours d'œufs aux tubes de *L. barhami* dans plusieurs suintements. Parmi les autres animaux associés, on peut citer des anémones et des hydroïdes, des caridines, des sabellides, des patelles et des poissons. Les descriptions des environnements périphériques de chaque région mentionnent la

faune typique des communautés des grands fonds autres que les suintements, avec des abondances réduites par rapport à celles observées aux suintements même.

On voit clairement sur les images en gros plan (figure 4) que des bactéries filamenteuses blanches couvraient les coquilles des palourdes, dont les nombreux escargots (*Provanna* sp.) et patelles (*Pyropelta* sp. et peut-être d'autres) qui occupaient également ces coquilles se nourrissaient probablement (Breen 2002). Les grands tapis bactériens n'ont toutefois pas été observés sur le mont carbonaté, alors qu'ils étaient présents aux autres sites de la pente Clayoquot. Les tapis bactériens se rencontrent généralement dans des endroits où l'écoulement de fluides est plus élevé qu'à ceux où se trouvent les bivalves et vers tubicoles symbiotes-hôtes, ce qui pourrait indiquer que les relevés effectués à l'aide du VTG sur la crête Cucumber ont observé des suintements moins actifs que la région où les suintements sont plus prononcés, à proximité du mont thermal Bullseye (inactif en ce moment), Gastown Alley et les torchères entourées de sédiments meubles. Tandis que les croûtes carbonatées se forment et se transforment en grands monts, les flux gazeux ascendants peuvent ralentir, diffuser ou être redirigés, ce qui limite le taux d'oxydation anaérobie du méthane et prévient les conditions à haute teneur en sulfures propices aux grands tapis microbiens (Luff *et al.* 2004).

Breen (2002) a décrit la macrofaune récupérée après plusieurs échantillons-prises ciblant les myes et les vers tubicoles à Skate Scarp et dans la zone vierge. De plus, une carotte d'échantillonnage quantitative a également été prélevée. Au total, 63 taxons ont été identifiés (la plupart au niveau de la famille ou à un niveau supérieur). Les taxons fréquemment rencontrés dans les sédiments comprenaient des polychètes (surtout des Polynoidae et des Phyllodocidae), des gastropodes et des nématodes. Des photos numériques ont permis d'identifier, dans la macrofaune associée aux gisements de palourdes, des gastéropodes *Provanna* et *Pyropelta*, des pycnogonides, des isopodes et des polychètes hésionides.

Suintements froids le long de la faille de Nootka

Les suintements froids connus les plus profonds dans les eaux canadiennes du Pacifique se trouvent le long de la faille de Nootka, à partir d'environ 2 260-2 290 mètres, et contiennent des plaques de tapis bactériens, de palourdes et de vers tubicoles entourées de sédiments et de blocs de carbonate (LaBonte 2007). Les rapports publiés décrivent les amarrages acoustiques déployés près des suintements froids connus (Frye *et al.* 2005, 2006), mais nous manquons de descriptions du fond marin et d'études biologiques sur ces sites. Dans un rapport de recherche du MBARI, des images de vers tubicoles *L. barhami* et de palourdes *P. kilmeri* montrent que ces suintements abritent au moins les mêmes espèces chimiotrophes-endémiques qui caractérisent les suintements sur la pente Clayoquot et le canyon de Barkley (Potter 2004). En décrivant les expériences réalisées avec un débitmètre, Labonté (2007) a indiqué que les palourdes qui étaient présentes au site de suintement au moment du déploiement des appareils avaient disparu un an plus tard lorsque les instruments ont été récupérés, ce qui montre que, comme sur la pente Clayoquot, ces communautés de suintement varient rapidement dans le temps, peut-être en fonction du flux de fluides émis par le suintement. Beaucoup de coraux durs et mous ayant été décrits sur des substrats durs dans la zone de fracture de Nootka (OBIS 2017), il se peut qu'ils utilisent des carbonates de suintement authigènes comme habitats.

Suintements froids du détroit d'Hécate

Les suintements froids connus les moins profonds dans les eaux canadiennes du Pacifique se trouvent dans le détroit d'Hécate (figure 5). Le détroit a été fortement englacé à plusieurs reprises pendant le Pléistocène, il est couvert de milliers de mètres de sédiments et est le terrain de complexes coulissages. Dans un lieu de pêche appelé Horseshoes, une chaîne de marques d'échappement (dépressions peu profondes du fond marin) renferme des concrétions carbonatées en forme de cheminées associées à des rejets de gaz irréguliers (Barrie *et al.*

2011). D'autres marques d'échappement se trouvent entre 30 et 200 m environ à l'est et à une profondeur de 2 à 10 m (Halliday *et al.* 2008). La zone abrite aussi des monts peu élevés de sédiments carbonatés et beaucoup de ces caractéristiques sont probablement associées à des suintements froids actifs sur le plancher océanique. Le forage exploratoire du pétrole en 1968 a permis de déterminer qu'on trouve du pétrole au moins dans un rayon de 17 km de la zone des marques d'échappement.

On a utilisé des plongées de VTG Phantom et des bennes IKU pour explorer la plus grande marque d'échappement, sur laquelle on a dénombré 27 cheminées de 1 à 2 m de haut, généralement avec des halos de coquilles. Barrie *et al.* (2011) ont indiqué que bon nombre des cheminées étaient couvertes de filets de chalut de fond déchirés, ce qui dénote que cette zone est gravement touchée par la pêche et que le carbonate est très compact et résiste aux impacts. Le carbonate a servi d'habitat à plus d'espèces que les sédiments environnants, y compris à une espèce prédatrice, le triton *Fusitriton oregonensis*. Le substrat dur des cheminées servait aussi d'habitat à des anémones, à des tuniciers *Halocynthia igaboja*, à des vers tubicoles serpulidés calcaires, à des moules et à des brachiopodes; aucune de ces espèces ne peut vivre sur des sédiments meubles. Les sédiments voisins contenaient des vers, des myes et des holothuries. La plupart de ces espèces sont des espèces courantes sur le plateau continental, à l'exception d'une espèce de mye (*Solemya reidi*), présente dans les sédiments entourant les cheminées et qui dépend des bactéries qui oxydent les sulfures; elle est considérée comme une espèce « typique » des suintements (Barrie *et al.* 2011), mais elle se rencontre aussi dans des habitats côtiers où les grandes quantités de matière organique (comme le bois) provoquent une accumulation de l'hydrogène sulfuré dans les sédiments (Felbeck 1983; Reid 1980).

Suintements froids découverts récemment

Ces dernières années, des croisières de recherche de RNCAN ont découvert plusieurs suintements près de Haida Gwaii. Ils sont associés à des cônes volcaniques sous-marins qui rejettent des gaz, même s'ils ne sont pas en train d'expulser du magma ou d'autres matières volcaniques. Deux volcans de boue côte à côte juste au sud-ouest de Haida Gwaii, le long de la faille des îles de la Reine-Charlotte, sont situés à 800 m de profondeur et rejettent activement des gaz (probablement du méthane). Les panaches de gaz ont été détectés dans les images à faisceau unique (18 kHz) jusqu'à 500 m au-dessus du fond marin (J.V. Barrie, communication personnelle). Bien que la description de ce site ne soit pas encore publiée, la caméra sous-marine a produit des images des communautés chimiotrophes associées au suintement, notamment des agrégats lâches de palourdes de la famille des Vesicomidae et des sédiments gris décolorés (figure 6 A-C). Les images montrent également des bandes de tubes de sédiments des polychètes de l'endofaune, de sébastolobes (*Sebastolobus*) et de coraux mous *Anthomastus*. Au nord-ouest de Haida Gwaii, dans l'entrée Dixon, un autre suintement a été découvert sur un cône volcanique situé à une profondeur de 1 000 m, à nouveau avec un panache de gaz s'élevant sur plus de la moitié de la colonne d'eau jusqu'à une profondeur de 350 m (Figure 6; Sitka Sound Science Center 2015). Outre les images des communautés chimiotrophes transmises par la caméra sous-marine (figure 6 G-J; tapis microbiens jaunes et blancs, des Vesicomidae, un ver tubicole [probablement *Lameillibrachia barhami*]), une benne IKU a récupéré des bivalves chimiosymbiotes-hôtes, y compris une moule et la mye *Calyptogena starobogatovi* (figure 6 D-F).

De récents relevés géophysiques réalisés sur le plateau continental ont utilisé des systèmes d'échosondeur à faisceau unique EK60 pour estimer les flux de méthane dans la colonne d'eau. Ces travaux, ainsi que les relevés multifaisceaux EM300 et EM302 disponibles, ont révélé de nombreux panaches gazeux contenant du méthane entre 50 et 250 m de profondeur (Capelle and Tortell 2016; Riedel *et al.* 2016; J.V. Barrie, communication personnelle, figure 1), dont

certaines pourraient être associées à des communautés chimiotrophes sur le fond marin. Les densités les plus élevées des panaches de gaz semblent se trouver à proximité du détroit de Juan de Fuca (Riedel *et al.* 2016), à la tête de canyons sous-marins comme le nord-est du canyon de Barkley et au sommet de plis et des failles connexes dans les mudstones tertiaires proches du rebord du plateau continental (J.V. Barrie, communication personnelle). Un autre système de panaches a été détecté sur la partie supérieure du talus au large de la péninsule Brooks. Compte tenu des centaines de panaches de gaz qui ont été détectées pendant des relevés couvrant un petit pourcentage de la marge continentale, il est probable que des milliers, voire des dizaines de milliers de ces panaches existent dans les eaux canadiennes du Pacifique. Toutefois, l'existence de ces panaches peu profonds et abondants ne permet pas nécessairement de déduire qu'il existe des nombres similaires de suintements froids plus profonds et inconnus sur le talus, étant donné le contraste entre les cadres géologique et océanographique (M. Scherwath, communication personnelle).

Comparaisons à l'échelle mondiale et régionale des suintements froids des biorégions du plateau nord, du plateau sud et située au large du Pacifique

On sait que la faune observée aux suintements froids du Pacifique est présente à d'autres suintements froids dans l'est de l'océan Pacifique, mais sa fréquence d'occurrence à l'échelle régionale n'est pas bien connue. On ne connaissait pas la présence du vestimentifère *Lamellibrachia barhami* au nord de l'Oregon (2036 m, Kulm *et al.* 1986) jusqu'à ce que l'espèce soit découverte aux suintements de la pente Clayoquot (Breen 2002; Spence and Chapman 2001). L'apparition de vers tubicoles sur les images des caméras sous-marines de l'entrée Dixon en 2015 signifie que ces suintements représentent désormais peut-être la limite nord connue de *Lamellibrachia* dans l'est de l'océan Pacifique (Barrie, données inédites), et ils ont également été découverts récemment à des suintements peu profonds le long de la marge de l'Oregon (Merle and Embley 2016).

Les Vesicomidae signalés par Breen (2002) sont probablement la même espèce que celle qui a été récupérée à d'autres suintements froids du Pacifique Nord-Est (Oregon, Kulm *et al.* 1986; Central California, Barry and Kochevar 1998; Southern California, Grupe *et al.* 2015), et au moins un *Phreagena kilmeri* était présent à chacun de ces sites (Johnson *et al.* 2016). *Solemya reidi* est présent dans de nombreux habitats où le sulfure d'hydrogène s'accumule dans les sédiments, tant à des suintements froids (Clayoquot, détroit d'Hécate) qu'à des sites associés à des égouts de décharge et à des estacades flottantes côtières (Felbeck 1983; Reid 1980). Des espèces apparentées au genre *Acharax*, identifiées dans le canyon de Barkley (Campanya-Llovet and Snelgrove 2016), se rencontrent aussi fréquemment aux suintements froids et dans les sédiments de la zone d'oxygène minimum du Pacifique Nord-Est, mais comme elles s'enfouissent profondément, elles ne sont pas faciles à observer sans prélèvement de carottes de sédiments (Taylor and Glover 2010). L'espèce *Calyptogena starobogatovi*, récupérée aux suintements sur les volcans de boue au large de Haida Gwaii, est également une espèce endémique des écosystèmes chimiotrophes au-delà de ceux des suintements froids. Elle a été découverte pour la première fois au champ hydrothermal du mont sous-marin Axial, le long de la crête Juan de Fuca (Krylova and Sahling 2006). Jusqu'à maintenant, aucun bivalve ou ver tubicole chimiotrophe n'a été découvert qui serait endémique uniquement aux suintements froids dans les eaux canadiennes du Pacifique.

Tout en révélant des liens biogéographiques sur de grandes échelles spatiales, la présence de Vesicomidae et de Solemyidae appuie l'hypothèse que les associations spécifiques des suintements froids le long de la marge de Cascadia se maintiennent depuis des dizaines de millions d'années. Les dépôts de suintement de l'Oligocène et de l'Éocène sur l'île de Vancouver et dans l'État de Washington (États-Unis) contiennent des fossiles d'espèces de ces

familles, en plus des bivalves Lucinidae et Thyasiridae, d'autres animaux symbiotes-hôtes courants (Nesbitt *et al.* 2013).

Peu de recherches ayant été effectuées sur la biodiversité et la structure des communautés des suintements froids du Pacifique, il est difficile de comparer l'écologie de ces suintements à d'autres à l'échelle régionale ou mondiale. Outre les espèces de la mégafaune symbiote-hôte qu'ils partagent avec les suintements régionaux, ceux de la zone d'oxygène minimum (p. ex. le canyon de Barkley ou le sud de Haida Gwaii) n'ont pas de vers tubicoles, des profils mentionnés dans l'Oregon et en Californie (Grube *et al.* 2015; Levin *et al.* 2010). Une partie de la macrofaune plus petite qui a été identifiée est présente à d'autres suintements régionaux (Johnson *et al.* 2010; Levin *et al.* 2017; Warén and Bouchet 1993, 2001), et il semble raisonnable de penser qu'il existe une connectivité des populations entre les suintements froids du Pacifique et ceux qui se trouvent entre l'Alaska et la Californie. Par exemple, les gastéropodes Provannidae et Pyropeltidae trouvés aux suintements de la pente Clayoquot se rencontrent dans l'ensemble du Pacifique Nord-Est, du Costa Rica à l'Alaska, ce qui témoigne d'une grande capacité de dispersion (Sasaki *et al.* 2010; Warén and Bouchet 2001), et l'espèce *Amphisamytha*, identifiée dans des échantillons provenant de la pente Clayoquot, est présente à de nombreux suintements froids et événements hydrothermaux dans tout l'océan Pacifique (Stiller *et al.* 2013). Avec l'augmentation des échantillonnages et à mesure que des individus de la macrofaune et de la méiofaune sont identifiés, il est probable que l'on découvrira des espèces endémiques aux suintements froids des eaux canadiennes du Pacifique.

Évaluation des suintements froids des biorégions du plateau nord du Pacifique, du plateau sud du Pacifique et située au large du Pacifique en fonction des critères des ZIEB

Tableau 2 : Résumé des cotes attribuées aux critères relatifs aux ZIEB et évaluation globale des ZIEB (voir les définitions des critères utilisés dans les évaluations au tableau 1, MPO 2016).

Critères des ZIEB	Cotes des suintements froids
Unicité ou rareté (MPO/CDB)	Élevée
Importance particulière pour les stades biologiques des espèces (MPO/CDB)	Élevée
Importance pour des espèces ou habitats menacés, en voie de disparition ou en déclin (CDB)	Aucune donnée
Vulnérabilité, fragilité, sensibilité ou rétablissement lent (CDB)	Élevée
Productivité biologique (CDB)	Moyenne
Diversité biologique (CDB)	Moyenne
Caractère naturel (MPO/CDB)	Moyenne
Concentration (MPO)	Moyenne
Désignation en tant que ZIEB	Satisfait aux critères

Unicité ou rareté

Les suintements froids sont des écosystèmes chimiotrophes dans lesquels la base du réseau trophique est constituée de microbes qui fixent le carbone en utilisant le méthane ou le sulfure comme source d'énergie chimique. Des microbes semblables sont également présents dans les écosystèmes des événements hydrothermaux et dans les sédiments pauvres en oxygène, mais ne sont sinon pas proéminents dans la plupart des écosystèmes marins. On sait également que plusieurs suintements le long de la marge canadienne du Pacifique contiennent des espèces qui sont endémiques aux écosystèmes réducteurs [vers tubicoles (*Lamellibrachia barhami*), palourdes (*Phreagena kilmeri*, *Archivesica gigas*, *Solemya reidi*, *Acharax* sp.)], si elles ne le sont pas spécifiquement aux suintements froids. Ces organismes ont des stratégies trophiques uniques, en ce sens qu'ils abritent des microbes symbiotes qui produisent leurs aliments à l'intérieur de leur corps. Dans certains cas, ils peuvent apparaître dans d'autres milieux pauvres en oxygène et à fortes concentrations en produits chimiques réduits (p. ex. *S. reidi* dans les sédiments côtiers riches en sulfure), mais dans les eaux canadiennes, ils n'ont été observés qu'à des suintements froids, à l'exception de l'espèce *L. barhami*, présente dans les événements hydrothermaux sédimentés de la vallée Middle (Tunnicliffe *et al.* 1998).

On connaît la présence de suintements froids le long des marges continentales arctique et atlantique canadiennes (DFO 2015; Paull *et al.* 2015b; Skarke *et al.* 2014), mais ce n'est que dans le Pacifique que l'on trouve une zone de subduction, qui crée des caractéristiques géomorphologiques différentes et rejette aux suintements des fluides provenant de sources plus profondes (Suess 2014). Ce facteur contribue à l'unicité des suintements froids dans les eaux canadiennes du Pacifique à l'échelle nationale. Le suintement du canyon de Barkley est également unique sur le plan mondial puisqu'il s'agit de l'un des rares sites où des hydrates de gaz thermogéniques exposés se trouvent sur le fond marin d'une marge continentale, ce qui rend le site propice à certaines recherches géophysiques et géochimiques. La détection récente de centaines de panaches de gaz peu profonds à l'aide d'échosondeurs à bord des navires ne s'est pas accompagnée de découvertes semblables à des profondeurs supérieures à 500 m. Les quelques suintements froids connus à de plus grandes profondeurs (canyon de Barkley, crête Barkley-Nitinat, pente Clayoquot, entrée Dixon, faille de Nootka) peuvent être relativement rares dans les eaux canadiennes du Pacifique.

Importance particulière pour les stades biologiques des espèces

Les habitats des suintements froids sont essentiels aux invertébrés benthiques endémiques qui y vivent, en particulier ceux qui abritent des bactéries symbiotiques utilisant la chimiosynthèse pour se nourrir (p. ex. le ver tubicole *Lamellibrachia*, les bivalves Vesicomidae et Solemyidae). Certains taxons qui sont présents aux suintements froids des eaux canadiennes du Pacifique passent la totalité de leur vie adulte dans les habitats des suintements, et des données sur les isotopes stables provenant d'autres régions du monde montrent qu'ils tirent une grande partie ou la totalité de leur nourriture de la production du suintement (Levin and Michener 2002). En outre, de nombreux invertébrés benthiques autonomes, dont certains sont endémiques aux suintements (les gastéropodes *Provanna* sp. et *Pyropelta* sp.), dépendent de la production primaire chimiotrophe pour se nourrir. Des données anecdotiques indiquent que certaines espèces autres que celles des suintements utilisent souvent des caractéristiques des suintements (surtout les roches carbonatées) comme sites de reproduction. Des piles d'œufs de *Neptunea pribiloffensis* ont été observées sur des carbonates aux suintements froids de la pente Clayoquot. Les scientifiques n'ont pas encore étudié la connectivité possible entre les populations des suintements présents dans les eaux canadiennes du Pacifique, qui aurait une incidence sur l'importance de chaque suintement pour la métapopulation. De nombreux invertébrés sessiles, comme les coraux et les éponges, dépendent indirectement des suintements froids, car ils occupent les carbonates précipités par les microbes chimiotrophes

une fois que les suintements sont devenus inactifs. Il convient de noter que ce critère correspond au critère de « Conséquences sur la valeur adaptative » du MPO (2004).

Importance pour des espèces ou habitats menacés, en voie de disparition ou en déclin

L'information actuellement disponible est insuffisante pour permettre d'évaluer les suintements froids en fonction de ce critère.

Vulnérabilité, fragilité, sensibilité ou rétablissement lent

Les suintements froids contiennent des taxons et des structures biogéniques qui sont fragiles ou de grande longévité, et qui pourraient ne pas facilement se rétablir s'ils sont perturbés. Les vers tubicoles présents aux suintements grandissent très lentement une fois matures (quelques cm par année), ont une très grande longévité (Fisher et al. 1997) et, dans certains cas, peuvent vivre jusqu'à plus de 300 ans (Cordes et al. 2009). La formation des carbonates eux-mêmes est très lente et résulte de l'activité microbienne pendant de nombreuses années (Boetius and Wenzhöfer 2013; Luff et al. 2004), et leur structure fournit un habitat complexe à d'autres espèces. La perturbation du carbonate (comme celle qui pourrait être associée à un chalut de fond) peut à son tour perturber les taxons qui y sont associés, comme les anémones carnivores, les coraux, les éponges, les crinoïdes et les autres animaux sessiles qui vivent sur les carbonates à la périphérie des suintements froids des eaux canadiennes du Pacifique ou aux sites d'anciens suintements (Bowden et al. 2013). Aucune étude n'a été menée pour mesurer la capacité des suintements à récupérer des effets de l'activité humaine, mais les scientifiques ont avancé l'hypothèse que les processus complets de succession durent au moins des décennies, et probablement des siècles (Bowden et al. 2013; Levin et al. 2016). Certains suintements froids des eaux canadiennes du Pacifique ont déjà été touchés par les activités de pêche, mais on ne sait pas précisément dans quelle mesure. Les suintements dans le canyon de Barkley ont été découverts lorsqu'un bateau de pêche a remonté un morceau d'hydrates de méthane solides (Spence and Chapman 2001); des chalutiers de pêche ont détruit deux fois les appareils d'Ocean Networks Canada installés sur le fond marin dans le canyon de Barkley (M. Scherwath, communication personnelle); on a trouvé des filets de pêche déchirés enroulés autour de certaines des cheminées des suintements dans le détroit d'Hécate (Barrie et al. 2011). Parmi les vers tubicoles observés aux suintements de la pente Clayoquot, aucun ne semblait être une nouvelle recrue, ce qui laisse entendre que les populations pourraient vivre longtemps à des taux de recrutement bas (Breen 2002). Il convient de noter que ce critère correspond au critère « Résilience » du MPO (2004).

Productivité biologique

Même si l'on n'a pas recueilli de données sur la productivité des suintements froids des eaux canadiennes du Pacifique, on sait que lorsque ces caractéristiques sont présentes dans les grands fonds (plus de 200 mètres), elles augmentent la productivité biologique et la biomasse des populations benthiques par rapport à celles des zones environnantes (Levin 2005; Ramirez-Llodra et al. 2010). La production primaire chimiotrophe des suintements plus profonds comme ceux du canyon de Barkley et de la pente Clayoquot augmente la productivité biologique de ces écosystèmes par rapport à celle des habitats voisins de la marge continentale. Toutefois, étant donné qu'ils sont présents en dessous d'une zone de remontée des eaux très productive et que les canyons sous-marins concentrent encore davantage les particules organiques, ces suintements froids en particulier pourraient simplement améliorer la productivité d'une zone où la nourriture est déjà très abondante. C'est pourquoi nous avons attribué une cote de pertinence moyenne à ce critère; la productivité des suintements froids aura probablement une plus grande pertinence aux sites où la production superficielle allochtone est réduite.

Diversité biologique

Les suintements froids peuvent accroître la biodiversité d'une région en raison du nombre des espèces particulièrement bien adaptées qu'ils abritent, même s'ils sont peut-être moins riches en espèces (diversité alpha) que les autres habitats des marges continentales (Cordes *et al.* 2010; Levin *et al.* 2010). En d'autres termes, les suintements de méthane contiennent peut-être moins d'espèces que d'autres habitats de la marge continentale, mais comme bon nombre d'entre elles sont endémiques, elles servent à accroître le nombre des espèces présentes dans l'ensemble de la région. Dans l'Oregon, la diversité de la macrofaune associée aux carbonates créés par les suintements était plus élevée que dans les sédiments environnants, ce qui montre que les suintements aident à accroître la diversité dans de nouveaux habitats (Levin *et al.* 2017). Bien que les paramètres de la diversité n'aient pas été calculés pour les suintements froids des eaux canadiennes du Pacifique, Breen (2002) a découvert plus de 60 espèces d'invertébrés associées à seulement quatre échantillons de sédiments et à un échantillonnage par carottage de gisements de palourdes.

Caractère naturel

Les suintements froids le long de la marge canadienne du Pacifique présentent probablement divers degrés de caractère naturel en fonction de leur profondeur, de leur isolement et des substrats environnants. On trouve souvent des communautés et structures des suintements endommagées par des activités humaines avant leur découverte, et comme nous ne disposons pas d'observations des suintements froids avant le début de la pêche, nous ne pouvons pas savoir avec certitude à quoi ressemblent des écosystèmes de suintements « vierges ». Étant donné que de nombreux suintements sont répartis dans les régions où les activités de pêche ont lieu, la plupart de ceux qui sont présents dans les eaux canadiennes du Pacifique ont probablement été touchés dans une certaine mesure, en particulier dans les eaux moins profondes. Ce n'est qu'à la fin des années 1990 et au début des années 2000 que la pêche au chalut de fond du poisson de fond en Colombie-Britannique a été élargie à des profondeurs de 500 m et plus (Sinclair 2007). Les suintements situés à plus de 1 000 m de profondeur (comme ceux de la pente Clayoquot ou de la zone de fracture de Nootka) présenteront plus probablement un plus grand caractère naturel puisqu'ils auront subi une pression moins grande de la pêche au chalut. Les suintements sur le plateau continental (p. ex., détroit d'Hécate, là où on a trouvé un engin de pêche enroulé autour des cheminées carbonatées) ou dans les lieux de pêche populaires (p. ex. le canyon de Barkley, où des hydrates de gaz solides ont été remontés dans un chalut de pêche) sont susceptibles de présenter un caractère naturel faible ou moyen. Les activités scientifiques aussi ont des répercussions sur les suintements froids et les suintements présents dans les eaux canadiennes du Pacifique sont proches des sites de recherche d'ONC, qui comprennent des infrastructures importantes. Les câbles, les instruments et les dispositifs d'amarrage n'ont peut-être pas de répercussions directes sur les suintements, mais ils nuisent au caractère naturel de l'écosystème environnant.

Concentration

Les espèces (comme le sébaste, le sébastolobe, les éponges et les coraux) peuvent se rassembler près des suintements en raison de la structure des carbonates ou pour profiter de la productivité secondaire (la forte abondance de la macrofaune aux suintements représente une source de nourriture potentielle importante pour les prédateurs benthopélagiques, comme les poissons, les crabes, les pieuvres, etc.). Breen (2002) a décrit des concentrations plus élevées, aux suintements, de faune des grands fonds autre que celle des suintements par rapport aux milieux périphériques, et a noté des regroupements d'escargots (*Neptunea pribiloffensis*) associés à des suintements carbonatés, auxquels ils fixent leurs tours d'œufs. Les observations ont confirmé des densités plus élevées, aux suintements, d'espèces visées par la pêche et

d'autres espèces de la mégafaune du talus continental comparativement aux habitats sédimentés proches (Grupe *et al.* 2015), mais des travaux semblables n'ont pas été menés dans les eaux canadiennes du Pacifique ou dans la région du nord du courant de la Californie. Il n'est pas possible d'attribuer une cote « élevée » à ce critère en raison du manque de données quantitatives sur les densités des espèces à proximité des suintements froids des eaux canadiennes du Pacifique et dans les habitats environnants.

Incertitude

Les écosystèmes associés aux suintements froids dans les eaux canadiennes du Pacifique n'ont pas fait l'objet d'études approfondies et seuls quelques-uns ont en fait été étudiés. Le manque de données sur la biodiversité et la structure des communautés de ces suintements froids complique aussi les comparaisons régionales ou mondiales avec d'autres suintements. Au fur et à mesure que d'autres recherches porteront sur les suintements froids au large de la côte canadienne du Pacifique, notre évaluation de chacun des critères des ZIEB gagnera en fiabilité, y compris ceux pour lesquels nous ne disposons actuellement de pratiquement aucune information, comme « Importance pour des espèces ou habitats menacés, en voie de disparition ou en déclin ».

Les suintements froids dans les eaux canadiennes du Pacifique se trouvent dans au moins trois cadres océanographiques : le talus de l'île de Vancouver (p. ex., canyon de Barkley et pente Clayoquot), les eaux relativement peu profondes du détroit d'Hécate dans un bassin sédimentaire et les suintements nouvellement découverts autour de l'archipel Haida Gwaii sur des volcans sous-marins. De plus, des données acoustiques récentes révèlent l'existence de centaines de panaches de gaz sur une petite proportion (< 5 %) du plateau continental du Pacifique canadien (Capelle et Tortell 2016; Riedel *et al.* 2016; J.V. Barrie, communication personnelle, figure 1). Des études du fond marin n'étaient pas combinées à la majorité de ces détections de panaches par des navires, de sorte qu'on ne sait pas si ceux-ci sont associés à des communautés du fond marin ou à une faune chimiotrophe ressemblant aux écosystèmes des suintements froids décrits dans le présent examen. Nous avons appliqué les critères des ZIEB aux suintements froids avec les observations ou données connexes sur le fond marin. Nous avons formulé l'hypothèse selon laquelle tous les suintements dans les eaux canadiennes du Pacifique qui appuient des communautés chimiotrophes peuvent être traités de la même façon en ce qui a trait aux critères des ZIEB, mais il est possible qu'avec d'autres recherches, des différences écologiques apparaissent entre les suintements, peut-être liées à la profondeur du fond marin, à la région ou au taux des flux gazeux ascendants. À mesure que de nouvelles données sur les suintements froids et les panaches de gaz deviendront disponibles, il faudra réévaluer les cotes des critères relatifs aux ZIEB pour diverses communautés des suintements froids, et il faudra peut-être davantage protéger les types plus rares de communautés des suintements (p. ex., ceux qui se trouvent dans les canyons plus profonds ou ceux qui abritent de vastes buissons de vers tubicoles servant d'habitat).

Évaluation des suintements froids des biorégions du plateau nord du Pacifique, du plateau sud du Pacifique et située au large du Pacifique en fonction des critères des EMV

Tableau 3 : Résumé des critères de la FAO relatifs aux écosystèmes marins vulnérables (EMV) (voir les définitions des critères utilisés dans les évaluations dans FAO 2009 et FAO 2016).

Critères relatifs aux EMV	Cotes des suintements froids	Relation avec les critères relatifs aux ZIEB
Unicité ou rareté	Élevée	Unicité ou rareté
Importance fonctionnelle de l'habitat	Élevée	Importance particulière pour les stades biologiques des espèces Importance pour des espèces ou habitats menacés, en voie de disparition ou en déclin
Fragilité	Moyenne	Vulnérabilité, fragilité, sensibilité ou rétablissement lent
Caractéristiques du cycle biologique des espèces composantes qui rendent le rétablissement difficile	Élevée	Vulnérabilité, fragilité, sensibilité ou rétablissement lent
Complexité structurelle	Élevée	<i>Pas comparable aux critères relatifs aux ZIEB</i>
Identification des EMV	Satisfait aux critères	-

La justification de l'unicité ou de la rareté et de l'importance fonctionnelle de l'habitat sont les mêmes que pour les critères relatifs aux ZIEB équivalents (unicité ou rareté; importance particulière pour les stades biologiques des espèces; importance pour des espèces ou habitats menacés, en voie de disparition ou en déclin).

Le critère de la fragilité des écosystèmes marins vulnérables est défini comme un écosystème hautement vulnérable à la dégradation due aux activités humaines (FAO 2009). Étant donné qu'il met en évidence l'effet des humains plutôt que les habitats intrinsèquement sensibles, les espèces intrinsèquement fragiles ou le rétablissement intrinsèquement lent des populations, il peut être moins pertinent pour les suintements froids que le critère relatif aux ZIEB équivalent qui porte sur la vulnérabilité. Les suintements sont certainement vulnérables à la dégradation due aux activités humaines, tant directes (principalement le chalutage par le fond, mais aussi les infrastructures câblées) qu'indirectes (changements de la teneur en oxygène de l'océan, déversements de pétrole potentiels et autres pollutions des grands fonds) (Ramirez-Llodra et al. 2010), mais on ne sait pas clairement dans quelle mesure. Le fait que les communautés des suintements froids des eaux canadiennes du Pacifique soient parfois caractérisées par de grands vers tubicoles à croissance lente et à grande longévité signifie qu'elles reçoivent une cote élevée en vertu du critère relatif aux EMV « Caractéristiques du cycle biologique des espèces composantes qui rendent le rétablissement difficile ». De plus, les suintements froids sont étendus et le rétablissement de la population peut dépendre des distances de dispersion des larves et de la connectivité de la métapopulation, qui sont inconnues pour la plupart des espèces.

La complexité structurelle n'a pas de critère comparable pour les ZIEB. Cependant, les suintements froids sont caractérisés par des structures physiques complexes (monts et blocs carbonatés, marques d'échappement, volcans de boue) provenant d'interactions entre des conditions abiotiques et des communautés biologiques denses ou modifiées par ces interactions. Les processus écologiques (succession des microbes et des animaux symbiotes-

hôtes, stratégies métaboliques, liens trophiques, profil de diversité, concurrence à long terme des collectivités suspensivores, etc.) dépendent grandement de la structure physique présente aux suintements et la diversité est élevée à la fois pendant que le suintement est actif et également après sa sénescence (Levin et al. 2016). De plus, la structure créée par le biote du suintement (en particulier les tubes des vers tubicoles, mais aussi les coquilles des palourdes et des moules et les tapis microbiens) augmente la richesse globale en espèces, modifie les profils de diversité et offre un habitat à d'autres espèces endémiques au suintement.

Les critères de la FAO relatifs aux écosystèmes marins vulnérables n'ont pas de catégories comparables explicites pour les critères relatifs aux ZIEB « Productivité biologique », « Diversité biologique » ou « Caractère naturel » (Ardron *et al.* 2014).

Conclusions

En nous fondant sur le présent examen des suintements froids dans les eaux canadiennes du Pacifique, nous recommandons de les classer comme des ZIEB. Les suintements froids obtiennent une cote de pertinence élevée pour trois critères relatifs aux ZIEB et moyenne pour quatre autres (dont « Caractère naturel », qui sert uniquement à classer les différentes caractéristiques par ordre de priorité). En particulier, les suintements froids des eaux canadiennes du Pacifique sont importants de par leurs caractéristiques géomorphologiques uniques, créant des habitats dont dépendent plusieurs espèces endémiques; leur rareté par rapport à d'autres caractéristiques de la marge continentale; la vulnérabilité des espèces à grande longévité formant un habitat (vers tubicoles) aux perturbations anthropiques; et les taux élevés de productivité biologique, surtout en comparaison avec d'autres régions dans les grands fonds.

Tous les suintements froids actuellement connus dans les eaux canadiennes du Pacifique ont été découverts au cours des vingt-cinq dernières années, et les centaines de panaches de gaz détectés récemment indiquent de nombreuses autres découvertes à venir. À mesure que de nouveaux renseignements seront publiés sur les communautés biologiques associées aux panaches de gaz regroupés sur le plateau continental, il faudra évaluer l'état de ces sites en fonction des critères relatifs aux ZIEB et les comparer aux suintements froids connus. En général, la profondeur et l'emplacement extracôtier des suintements froids rendent difficiles et coûteuses les recherches à leur sujet ou l'exploration d'autres sites. Les futures expéditions de recherche devraient continuer de relever des régions sous-explorées le long de la marge continentale, afin que nous puissions mieux comprendre le nombre et l'étendue spatiale des suintements froids. D'autres recherches mettant l'accent sur la collecte d'échantillons biologiques et leur inspection par des taxonomistes permettront de déterminer si des espèces sont endémiques aux suintements dans les eaux canadiennes du Pacifique. L'infrastructure mise en place et entretenue par ONC, qui permet de recueillir des données océanographiques en temps réel au canyon de Barkley et sur la pente Clayoquot, fait de ces sites des sites évidents d'études ciblées menées en collaboration. De futures études consacrées à la variabilité spatiale et temporelle des communautés des suintements, à la connectivité des populations des assemblages d'espèces des suintements et suspensivores vivant sur le carbonate, à la quantification des subventions trophiques aux habitats de la marge voisins, et aux liens potentiels entre les suintements et les espèces visées par les pêches (p. ex., la morue charbonnière, le sébastolobe et les crabes) nous permettront de mieux comprendre la biologie et l'écologie des écosystèmes des suintements froids.

Collaborateurs

Collaborateur	Organisme d'appartenance
Benjamin Grupe	Secteur des sciences du MPO, Région du Pacifique
Joy Hillier	Secteur des océans du MPO, Région du Pacifique
Danielle Scriven	Secteur des océans du MPO, Région du Pacifique
Tammy Norgard	Secteur des sciences du MPO, Région du Pacifique
Erika Anderson	Secteur des sciences du MPO, Région du Pacifique
Vaughn Barrie	Ressources naturelles Canada
Martin Scherwath	Ocean Networks Canada
Verena Tunnicliffe	Université de Victoria

Approuvé par

Carmel Lowe,
Directrice régionale
Direction des sciences, région du Pacifique
Pêches et Océans Canada

27 novembre 2017

Sources de renseignements

- Ardron, J.A., Clark, M.R., Penney, A.J., Hourigan, T.F., Rowden, A.A., Dunstan, P.K., Watling, L., Shank, T.M., Tracey, D.M., Dunn, M.R., Parker, S.J. 2014. A systematic approach towards the identification and protection of vulnerable marine ecosystems. *Mar. Policy*. 49: 146-154.
- Arellano, S.M., Lee, O.O., Lafi, F.F., Yang, J., Wang, Y., Young, C.M., Qian, P.Y. 2013. Deep Sequencing of *Myxilla (Ectyomyxilla) methanophila*, an Epibiotic Sponge on Cold-Seep Tubeworms, Reveals Methylophilic, Thiotrophic, and Putative Hydrocarbon-Degrading Microbial Associations. *Microb. Ecol.* 65: 450-461.
- Assemblée générale des Nations Unies. 2011. [Assurer la viabilité des pêches, notamment grâce à l'Accord de 1995 aux fins de l'application des dispositions de la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer du 10 décembre 1982 relatives à la conservation et à la gestion des stocks de poissons dont les déplacements s'effectuent tant à l'intérieur qu'au-delà de zones économiques exclusives \(stocks chevauchants\) et des stocks de poissons grands migrateurs et à des instruments connexes. Résolution adoptée par l'Assemblée générale.](#) 66/68: 1-30 (consulté 28 novembre 2017).
- Ban, S., Curtis, J.M.R., St. Germain, C., Perry, R.I., Therriault, T.W. 2016. Identification of ecologically and biologically significant areas in Canada's Offshore Pacific Bioregion. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2016/034. x + 152 p.
- Barr, N. 2011. Deep-sea chemistry. Day 2: Tiny bubbles, great explorations. [MBARI Research Blog](#). (consulté le 9 août 2017).
- Barrie, J.V., Cook, S., Conway, K.W. 2011. Cold seeps and benthic habitat on the Pacific margin of Canada. *Cont. Shelf Res.* 31: S85-S92.
- Barry, J.P., Kochevar, R.E. 1998. A tale of two clams: Differing chemosynthetic life styles among vesicomysids in Monterey Bay cold seeps. *Cah. Biol. Mar.* 39: 329-331.

- Bell, K.L.C., Flanders, J., Bowman, A., Raineault, N.A. 2017. New frontiers in ocean exploration: The E/V Nautilus, NOAA Ship Okeanos Explorer, and R/V Falkor 2016 field season. *Oceanography* 30: 94 p.
- Boetius, A., Wenzhöfer, F. 2013. Seafloor oxygen consumption fuelled by methane from cold seeps. *Nat. Geosci.* 6: 725-734.
- Bowden, D.A., Rowden, A.A., Thurber, A.R., Baco, A.R., Levin, L.A., Smith, C.R. 2013. Cold Seep Epifaunal Communities on the Hikurangi Margin, New Zealand: Composition, Succession, and Vulnerability to Human Activities. *PLoS One* 8: e76869.
- Breen, A. 2002. Biological characteristics of a Vancouver Island margin cold seep assemblage. Thèse (M.Sc.). University of Victoria, 76 p.
- Campanya-Llovet, N., Snelgrove, P.V.R. 2016. [Environmental drivers of spatial and temporal variation in infaunal communities at methane hydrates](#). Presented at 2016 Ocean Sciences Meeting. AGU/ASLO/TOS, New Orleans (LA), 21-27 Feb 2016 (consulté le 28 novembre 2017).
- Capelle, D.W., Tortell, P.D. 2016. Factors controlling methane and nitrous-oxide variability in the southern British Columbia coastal upwelling system. *Mar. Chem.* 179: 56-67.
- Chapman, R., Pohlman, J., Coffin, R., Chanton, J., Lapham, L. 2004. Thermogenic gas hydrates in the northern Cascadia margin. *Eos (Wash. DC)*. 85: 361-365.
- Chatzievangelou, D., Doya, C., Thomsen, L., Purser, A., Aguzzi, J. 2016. High-frequency patterns in the abundance of benthic species near a cold-seep - An internet operated vehicle application. *PLoS One* 11: e0163808.
- Convention sur la diversité biologique. 2008. [Neuvième réunion de la Conférence des Parties à la Convention sur la diversité biologique sur les articles 14 et 19](#) de la décision IX/20 tenue à Bonn en Allemagne du 19 au 30 mai 2008 (consulté le 28 novembre 2017).
- Cordes, E.E., Bergquist, D.C., Fisher, C.R. 2009. Macro-ecology of Gulf of Mexico cold seeps. *Ann. Rev. Mar. Sci.* 1: 143-168.
- Cordes, E.E., Cunha, M.R., Galéron, J., Mora, C., Olu-Le Roy, K., Sibuet, M., Van Gaever, S., Vanreusel, A., Levin, L.A. 2010. The influence of geological, geochemical, and biogenic habitat heterogeneity on seep biodiversity. *Mar. Ecol.* 31: 51-65.
- Duperron, S., Sibuet, M., MacGregor, B.J., Kuypers, M.M.M., Fisher, C.R., Dubilier, N. 2007. Diversity, relative abundance and metabolic potential of bacterial endosymbionts in three *Bathymodiolus* mussel species from cold seeps in the Gulf of Mexico. *Environ. Microbiol.* 9: 1423-1438.
- FAO. 2009. [Directives internationales sur la gestion de la pêche profonde en haute mer](#). Rome, 73 p. (consulté le 28 novembre 2017).
- FAO. 2016. [Vulnerable marine ecosystems: processes and practices in the high seas](#). FAO Fisheries and Aquaculture, Rome, Italy, 185 p. (consulté le 28 novembre 2017).
- Felbeck, H. 1983. Sulfide oxidation and carbon fixation by the gutless clam *Solemya reidi*: an animal-bacteria symbiosis. *J. Comp. Physiol.* 152: 3-11.
- Fisher, C.R., Urcuyo, I.A., Simpkins, M.A., Nix, E. 1997. Life in the Slow Lane: Growth and Longevity of Cold-seep Vestimentiferans. *Mar. Ecol.* 18: 83-94.

- Frye, D., Freitag, L., Detrick, R., Collins, J., Delaney, J.R., Kelley, D.S., LaBonte, A., Brown, K. 2006. An Acoustically Linked Moored- Buoy Ocean Observatory. *Eos* (Washington. DC). 87: 213-218.
- Frye, D., Ware, J., Grund, M., Partan, J., Koski, P., Singh, S., Freitag, L., Collins, J., Detrick, R. 2005. [An Acoustically-Linked Deep-Ocean Observatory](#). Proc. IEEE Oceans 2005 Europe, Brest, France. p. 969-974 (consulté le 28 novembre 2017).
- Furlong, J. 2013. Characteristic morphology, backscatter, and sub-seafloor structures of cold-vents on the northern Cascadia margin from high-resolution autonomous underwater vehicle data. Thèse (M.Sc.) University of Victoria, 171 p.
- Grupe, B.M., Krach, M.L., Pasulka, A.L., Maloney, J.M., Levin, L.A., Frieder, C.A. 2015. Methane seep ecosystem functions and services from a recently discovered southern California seep. *Mar. Ecol.* 36: 91-108.
- Haacke, R.R., Westbrook, G.K., Hyndman R.D. (2008). Formation of the bottom-simulating reflector and its link to vertical fluid flow. *In* Proceedings of the 6th International Conference on Gas Hydrates (ICGH 2008), Vancouver, British Columbia, Canada.
- Halliday, E.J., Barrie, J. V., Chapman, N.R., Rohr, K.M.M. 2008. Structurally controlled hydrocarbon seeps on a glaciated continental margin, Hecate Strait, offshore British Columbia. *Mar. Geol.* 252: 193-206.
- Hautala, S.L., Solomon, E.A., Johnson, H.P., Harris, R.N., Miller, U.K. 2014. Dissociation of Cascadia margin gas hydrates in response to contemporary ocean warming. *Geophys. Res. Lett.* 41:8486-8494.
- He, T., Spence, G.D., Riedel, M., Hyndman, R.D., Chapman, N.R. (2007). Fluid flow and origin of a carbonate mound offshore Vancouver Island: seismic and heat flow constraints. *Mar. Geol.* 239: 83-98. Accès : 10.1016/j.margeo.2007.01.002
- Hyndman, R.D. 1995. The Lithoprobe corridor across the Vancouver Island continental margin: the structural and tectonic consequences of subduction. *Can. J. Earth Sci.* 32: 1777-1802.
- Johnson, H.P., Miller, U.K., Salmi, M.S., Solomon, E.A. 2015. Analysis of bubble plume distributions to evaluate methane hydrate decomposition on the continental slope. *Geochemistry, Geophys. Geosystems* 16: 3825-3839.
- Johnson, S.B., Krylova, E.M., Audzijonyte, A., Sahling, H., Vrijenhoek, R.C. 2016. Phylogeny and origins of chemosynthetic vesicomyid clams. *Syst. Biodivers.* 2000: 1-15.
- Johnson, S.B., Warén, A., Lee, R.W., Kano, Y., Kaim, A., Davis, A., Strong, E.E., Vrijenhoek, R.C. 2010. *Rubyspira*, new genus and two new species of bone-eating deep-sea snails with ancient habits. *Biol. Bull.* 219: 166-177.
- Krylova, E.M., Sahling, H. 2006. Recent bivalve molluscs of the genus *Calyptogena* (Vesicomyidae). *J. Molluscan Stud.* 72: 359-395.
- Kulm, L.D., Suess, E., Moore, J.C., Carson, B., Lewis, B.T., Ritger, S.D., Kadko, D.C., Thornburg, T.M., Embley, R.W., Rugh, W.D., Massoth, G.J., Langseth, M.G., Cochrane, G.R., Scamman, R.L. 1986. Oregon subduction zone: venting, fauna and carbonates. *Science* 231: 561-566.
- LaBonte, A.L. 2007. An Investigation of Deformation and Fluid Flow at Subduction Zones Using Newly Developed Instrumentation and Finite Element Modeling. Thèse (Ph.D.) University of California, San Diego, 211 p.

- Lapham, L., Wilson, R., Riedel, M., Paull, C.K., Holmes, M.E. 2013. Temporal variability of in situ methane concentrations in gas hydrate-bearing sediments near Bullseye Vent, Northern Cascadia Margin. *Geochemistry, Geophys. Geosystems* 14: 2445-2459.
- Le Bris, N., Arnaud-Haond, S., Beaulieu, S., Cordes, E.E., Hilário, A., Rogers, A.D., van de Gaever, S., Watanabe, H. 2016. [Chapter 45. Hydrothermal vents and cold seeps](#). First global integrated marine assessment. United Nations. p. 1-18 (consulté le 28 novembre 2017).
- Levin, L.A. 2005. Ecology of cold seep sediments: Interactions of fauna with flow, chemistry and microbes. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* 43: 1-46.
- Levin, L.A., Baco, A.R., Bowden, D.A., Colaco, A., Cordes, E.E., Cunha, M.R., Demopoulos, A.W.J., Gobin, J., Grupe, B.M., Le, J., Metaxas, A., Netburn, A.N., Rouse, G.W., Thurber, A.R., Tunnicliffe, V., Van Dover, C.L., Vanreusel, A., Watling, L. 2016. Hydrothermal Vents and Methane Seeps: Rethinking the Sphere of Influence. *Front. Mar. Sci.* 3: 72.
- Levin, L.A., Mendoza, G.F., Gonzalez, J.P., Thurber, A.R., Cordes, E.E. 2010. Diversity of bathyal macrofauna on the northeastern Pacific margin: The influence of methane seeps and oxygen minimum zones. *Mar. Ecol.* 31: 94-110.
- Levin, L.A., Mendoza, G.F., Grupe, B.M. 2017. Methane seepage effects on biodiversity and biological traits of macrofauna inhabiting authigenic carbonates. *Deep Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.* 137: 26-41.
- Levin, L.A., Mendoza, G.F., Grupe, B.M., Gonzalez, J.P., Jellison, B., Rouse, G., Thurber, A.R., Waren, A. 2015. Biodiversity on the rocks: Macrofauna inhabiting authigenic carbonate at Costa Rica methane seeps. *PLoS One* 10: e0136129.
- Levin, L.A., Michener, R.H. 2002. Isotopic evidence for chemosynthesis-based nutrition of macrobenthos: The lightness of being at Pacific methane seeps. *Limnol. Oceanogr.* 47: 1336-1345.
- Levin, L.A., Orphan, V.J., Rouse, G.W., Rathburn, A.E., Ussler, W., Cook, G.S., Goffredi, S.K., Perez, E.M., Waren, A., Grupe, B.M., Chadwick, G., Strickrott, B. 2012. A hydrothermal seep on the Costa Rica margin: middle ground in a continuum of reducing ecosystems. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 279: 2580-2588.
- Lu, H., Seo, Y., Lee, J., Moudrakovski, I., Ripmeester, J.A., Chapman, N.R., Coffin, R.B., Gardner, G., Pohlman, J. 2007. Complex gas hydrate from the Cascadia margin. *Nature* 445: 303-306.
- Luff, R., Wallmann, K., Aloisi, G. 2004. Numerical modeling of carbonate crust formation at cold vent sites: Significance for fluid and methane budgets and chemosynthetic biological communities. *Earth Planet. Sci. Lett.* 221: 337-353.
- Merle, S., Embley, R.W. 2016. [NA072-Seeps and Ecosystems of the Cascadia Margin](#). June 1-20, 2016 Victoria BC, Canada to San Francisco CA, USA. 276 p. (consulté le 28 novembre 2017).
- MPO. 2004. Identification des zones d'importance écologique et biologique. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Rapp. sur l'état des écosystèmes. Ottawa, 15 p.
- MPO 2009a. Politique de gestion de l'impact de la pêche sur les zones benthiques vulnérables. Pêches et Océans Canada, Canada (consulté le 28 novembre 2017).
- MPO. 2009b. Élaboration d'un cadre et de principes pour la classification biogéographique des zones marines canadiennes. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 17 p.

- MPO. 2011. Zones d'importance écologique et biologique – Leçons apprises. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. p. 1-14.
- MPO. 2013. Évaluation des propositions de zones d'importance écologique et biologique dans les eaux marines de la Colombie-Britannique. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. p. 1-21.
- MPO. 2015. Désignation de zones d'importance écologique et biologique (ZIEB) dans la biorégion du Pacifique située en mer. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2016/011. p. 1-18.
- MPO 2016. Proceedings of the Pacific regional peer review of the Identification of Ecologically and Biologically Significant Areas (EBSAs) in the Offshore Pacific Bioregion; 11 et 12 février 2015. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Proceed. Ser. 32.
- Nesbitt, E.A., Martin, R.A., Campbell, K.A. 2013. New records of Oligocene diffuse hydrocarbon seeps, northern Cascadia margin. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 390: 116-129.
- OBIS. 2017. Ocean Biogeographic Information System. Commission océanographique intergouvernementale. Accès : www.iobis.org (consulté le 7 mars 2017).
- Orphan, V.J., House, C.H., Hinrichs, K.-U., Mckeegan, K.D., Delong, E.F. 2001. Methane-Consuming Archaea Revealed by Directly Coupled Isotopic and Phylogenetic Analysis. *Science* 293: 484-487.
- Paull, C.K., Caress, D.W., Thomas, H., Lundsten, E., Anderson, K., Gwiazda, R., Riedel, M., McGann, M., Herguera, J.C. 2015a. Seafloor geomorphic manifestations of gas venting and shallow subbottom gas hydrate occurrences. *Geosphere* 11: 491-513.
- Paull, C.K., Dallimore, S.R., Caress, D.W., Gwiazda, R., Melling, H., Riedel, M., Jin, Y.K., Hong, J.K., Kim, Y.G., Graves, D., Sherman, A., Lundsten, E., Anderson, K., Lundsten, L., Villinger, H., Kopf, A., Johnson, S.B., Hughes Clarke, J., Blasco, S., Conway, K., Neelands, P., Thomas, H., Côté, M. 2015b. Active mud volcanoes on the continental slope of the Canadian Beaufort Sea. *Geochem. Geophys. Geosy.* 16: 3160-3181.
- Pohlman, J.W. 2006. [Sediment biogeochemistry of northern Cascadia Margin shallow gas hydrate systems](#). Thesis (Ph.D.). The College of William and Mary, Virginia. 239 p. (consulté le 28 novembre 2017).
- Pohlman, J.W., Bauer, J.E., Canuel, E.A., Grabowski, K.S., Knies, D.L., Mitchell, C.S., Whiticar, M.J., Coffin, R.B. 2009. Methane sources in gas hydrate-bearing cold seeps: Evidence from radiocarbon and stable isotopes. *Mar. Chem.* 115: 102-109.
- Pohlman, J.W., Canuel, E.A., Chapman, N.R., Spence, G.D., Whiticar, M.J., Coffin, R.B. 2005. The origin of thermogenic gas hydrates on the northern Cascadia Margin as inferred from isotopic ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and D/H) and molecular composition of hydrate and vent gas. *Org. Geochem.* 36: 703-716.
- Potter, B. 2004. [The Keck Project \(Observatories without Cables\): Seafloor Observatory Installation, Intervention, and Troubleshooting](#). Moss Landing, California, 28 p. (consulté le 10 avril 2017).
- Purser, A., Thomsen, L., Barnes, C., Best, M., Chapman, R., Hofbauer, M., Menzel, M., Wagner, H. 2013. Temporal and spatial benthic data collection via an internet operated Deep Sea Crawler. *Methods Oceanogr.* 5: 1-18.

- Ramirez-Llodra, E., Brandt, A., Danovaro, R., De Mol, B., Escobar, E., German, C.R., Levin, L.A., Martinez Arbizu, P., Menot, L., Buhl-Mortensen, P., Narayanaswamy, B.E., Smith, C.R., Tittensor, D.P., Tyler, P.A., Vanreusel, A., Vecchione, M. 2010. Deep, diverse and definitely different: Unique attributes of the world's largest ecosystem. 7: 2851-2899.
- Reid, R.G.B. 1980. Aspects of the biology of a gutless species of *Solemya* (Bivalvia: Protobranchia). Can. J. Zool. 58: 386-393.
- Riedel, M., Scherwath, M., Roemer, M., Paull, C.K., Spence, G.D., Veloso, M. 2016. [Natural Gas Venting on the Northern Cascadia Margin](#). Abstract OS44A-09 presented at 2016 Fall Meeting, AGU, San Fran. Cal. 12-16 Dec 2016 (consulté le 28 novembre 2017).
- Riedel, M., Tréhu, A.M., Spence, G.D. 2010. Characterizing the thermal regime of cold vents at the northern Cascadia margin from bottom-simulating reflector distributions, heat-probe measurements and borehole temperature data. Mar. Geophys. Res. 31: 1-16.
- Römer, M., Riedel, M., Scherwath, M., Heesemann, M., Spence, G.D. 2016. Tidally controlled gas bubble emissions: A comprehensive study using long-term monitoring data from the NEPTUNE cabled observatory offshore Vancouver Island. Geochem. Geophys. Geosy. 17: 3797-3814.
- Ruppel, C.D., Kessler, J.D. 2017. The Interaction of Climate Change and Methane Hydrates. Rev. Geophys. 55: 126-168.
- Sasaki, T., Warén, A., Kano, Y. 2010. [Gastropods from recent hot vents and cold seeps: systematics, diversity and life strategies](#). The Vent and Seep Biota (consulté le 23 mars 2017).
- Seike, K., Jenkins, R.G., Watanabe, H., Nomaki, H., Sato, K. 2012. Novel use of burrow casting as a research tool in deep-sea ecology. Biol. Lett. 8: 648-651.
- Sibuet, M., Olu, K. 1998. Biogeography, biodiversity and fluid dependence of deep-sea cold-seep communities at active and passive margins. Deep. Res. Part II Top. Stud. Oceanogr. 45: 517-567.
- Sinclair, A. 2007. [Trends in Groundfish Bottom Trawl Fishing Activity in BC](#). DFO. Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/006. 26 p. (consulté le 28 novembre 2017).
- Sitka Sound Science Center. 2015. [Actively venting underwater volcano discovered in Dixon Entrance](#). SitNews. Ketchikan, Alaska (consulté le 7 mars 2016).
- Skarke, A., Ruppel, C., Kodis, M., Brothers, D., Lobecker, E. 2014. Widespread methane leakage from the sea floor on the northern US Atlantic margin. Nat. Geosci. 7: 657-661.
- Southward, E.C., Tunnicliffe, V., Black, M.B., Dixon, D.R., Dixon, L.R.J. 1996. Ocean-ridge segmentation and vent tubeworms (Vestimentifera) in the NE Pacific. Geol. Soc. London, Spec. Publ. 118: 211-224.
- Spence, G.D., Chapman, N.R. 2001. Fishing Trawler Nets Massive "Catch" of Methane Hydrates. Eos (Washington. DC). 82: 621-622.
- Stiller, J., Rousset, V., Pleijel, F., Chevalloné, P., Vrijenhoek, R.C., Rouse, G.W. 2013. Phylogeny, biogeography and systematics of hydrothermal vent and methane seep *Amphisamytha* (Ampharetidae, Annelida), with descriptions of three new species. Syst. Biodivers. 11: 35-65.
- Stratégie Canada – Colombie-Britannique pour le réseau d'aires marines protégées. 2014 (consulté le 28 novembre 2017).

- Suess, E. 2014. Marine cold seeps and their manifestations: geological control, biogeochemical criteria and environmental conditions. *Int. J. Earth Sci.* 103: 1889-1916.
- Taylor, J.D., Glover, E.A. 2010. Chemosymbiotic bivalves. *The Vent and Seep Biota*. Springer Netherlands. P. 107-135.
- Thomsen, L., Barnes, C., Best, M., Chapman, R., Pirenne, B., Thomson, R., Vogt, J. 2012. Ocean circulation promotes methane release from gas hydrate outcrops at the NEPTUNE Canada Barkley Canyon node. *Geophys. Res. Lett.* 39: L16605.
- Thurber, A.R., Jones, W.J., Schnabel, K. 2011. Dancing for food in the deep sea: Bacterial farming by a new species of Yeti crab. *PLoS One* 6: 1-12.
- Thurber, A.R., Kröger, K., Neira, C., Wiklund, H., Levin, L.A. 2010. Stable isotope signatures and methane use by New Zealand cold seep benthos. *Mar. Geol.* 272: 260-269.
- Tunnicliffe, V., Juniper, S.K., Sibuet, M. 2003. [Reducing Environments of the Deep-Sea Floor](#). *Ecosystems of the World*. p. 81-110 (consulté le 28 novembre 2017).
- Tunnicliffe, V., McArthur, A.A.G., McHugh, D. 1998. A Biogeographical Perspective of the Deep-Sea Hydrothermal Vent Fauna. *Adv. Mar. Biol.* 34: 353-442.
- Warén, A., Bouchet, P. 1993. New records, species, genera, and a new family of gastropods from hydrothermal vents and hydrocarbon seeps. *Zool. Scr.* 22: 1-90.
- Warén, A., Bouchet, P. 2001. Gastropoda and Monoplacophora from hydrothermal vents and seeps: New taxa and records. *Veliger* 44: 116-231.
- Westbrook, G.K., Carson, B., Musgrave, R.J., Ashi, J., Baranov, B., Brown, K.M. *et al.* 1994. [Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports](#). College Station, TX (Ocean Drilling Program). Accès : 10.2973/odp.proc.ir.146-1.1994 (consulté le 28 novembre 2017).

Annexes

Tableau 1 : Nom, emplacement et profondeur des suintements froids du Pacifique canadien et sources des données. * indique la source des coordonnées fournies dans le tableau.

Région	Nom du suintement	Latitude	Longitude	Profondeur (m)	Source
Haida Gwaii	Suintement de l'entrée Dixon	54.277163	- 134.195518	997	*Barrie J. V., données inédites, Sitka Sound Science Center (2015).
Haida Gwaii	Suintement de l'entrée Dixon	54.277523	- 134.19518	996	*Barrie J. V., données inédites, Sitka Sound Science Center (2015).
Haida Gwaii	Suintement de l'entrée Dixon	54.278015	- 134.194702	993	*Barrie J. V., données inédites, Sitka Sound Science Center (2015).
Haida Gwaii	Suintement de l'entrée Dixon	54.278782	- 134.193973	988	*Barrie J. V., données inédites, Sitka Sound Science Center (2015).
Haida Gwaii	Suintement de l'entrée Dixon	54.280852	- 134.196493	1 019	*Barrie J. V., données inédites, Sitka Sound Science Center (2015).
Haida Gwaii	Haida Gwaii, côte Ouest centrale	53.185633	- 132.84395	682	*Barrie J. V., données inédites

Région du Pacifique

Région	Nom du suintement	Latitude	Longitude	Profondeur (m)	Source
Haida Gwaii	faute de Queen Charlotte	52.031283	- 131.447383	802	*Barrie J. V., données inédites
Haida Gwaii	Volcan de la faille des îles de la Reine-Charlotte	52.020467	- 131.448083	819	*Barrie J. V., données inédites
Détroit d'Hécate	Suintement du détroit d'Hécate	53.004167	- 130.6541667	130	Barrie <i>et al.</i> (2011)
Zone de fracture de Nootka	Site du suintement de Nootka	49.313	-127.697	2 320	*Frye <i>et al.</i> (2005), Frye <i>et al.</i> (2006)
Zone de fracture de Nootka	Site proposé par l'UW	49.295	-127.68	2 260	*Frye <i>et al.</i> (2005), Frye <i>et al.</i> (2006)
Pente Clayoquot	Torchère Spinnaker	48.714	-126.902	1 323	*Paull <i>et al.</i> (2015a), Furlong (2013)
Pente Clayoquot	Crête Cucumber	48.707067	- 126.909967	1 330	Breen (2002), Reidel <i>et al.</i> (2010), *He <i>et al.</i> (2007)
Pente Clayoquot	Crête Cucumber	48.702222	-126.925	1 330	*Furlong (2013), estimation de l'emplacement du site à partir de la carte
Pente Clayoquot	Crête	48.7	-126.9	1 313	*Breen (2002), coordonnées approximatives

Région	Nom du suintement	Latitude	Longitude	Profondeur (m)	Source
	Cucumber				seulement
Pente Clayoquot	Cratère de Ridge Crest	48.692	-126.8581	1 215	*Furlong (2013), estimation de l'emplacement du site à partir de la carte, Paull <i>et al.</i> (2015a), carte détaillée
Pente Clayoquot	Bubbly Gulch	48.675	-126.84	1 268	*Paull <i>et al.</i> (2015a)
Pente Clayoquot	Gastown Alley	48.6681	-126.848	1 260	*Römer <i>et al.</i> (2016)
Pente Clayoquot	Gastown Alley	48.67	-126.8422	1 260	*Römer <i>et al.</i> (2016)
Pente Clayoquot	Mont thermal Bullseye	48.6669	- 126.8525	1 268	*Paull <i>et al.</i> (2015a)
Pente Clayoquot	Mont thermal Bullseye	48.669	-126.849	1 258	*Paull <i>et al.</i> (2015a)
Pente Clayoquot	Zone vierge 1	48.666667	- 126.833333	1 270	*Breen (2002)
Pente Clayoquot	Torchère Amnesiac	48.661667	- 126.9183333	1 290	Haacke <i>et al.</i> (2008), *Riedel <i>et al.</i> (2010)
Canyon de Barkley	Hydrates de	48.312778	- 126.065833	890	*Chapman <i>et al.</i> (2004)
Canyon de Barkley	Monts	48.311	-126.0655167	859	*Pohlman (2006)

Région	Nom du suintement	Latitude	Longitude	Profondeur (m)	Source
	d'hydrates				
Crête de Barkley-Nitinat	Champ hydrothermal du Tully	48.177	-126.099	905-908	*cnidaires : NOAA Deep Sea Coral Data Portal , listes des cnidaires au champ hydrothermal du Tully : OBIS (2017)
Crête de Barkley-Nitinat	Crête de Barkley-Nitinat	48.18795	- 126.080733	940	*Scherwath M., communication personnelle, Barr 2011, Paul <i>et al.</i> (2015a)

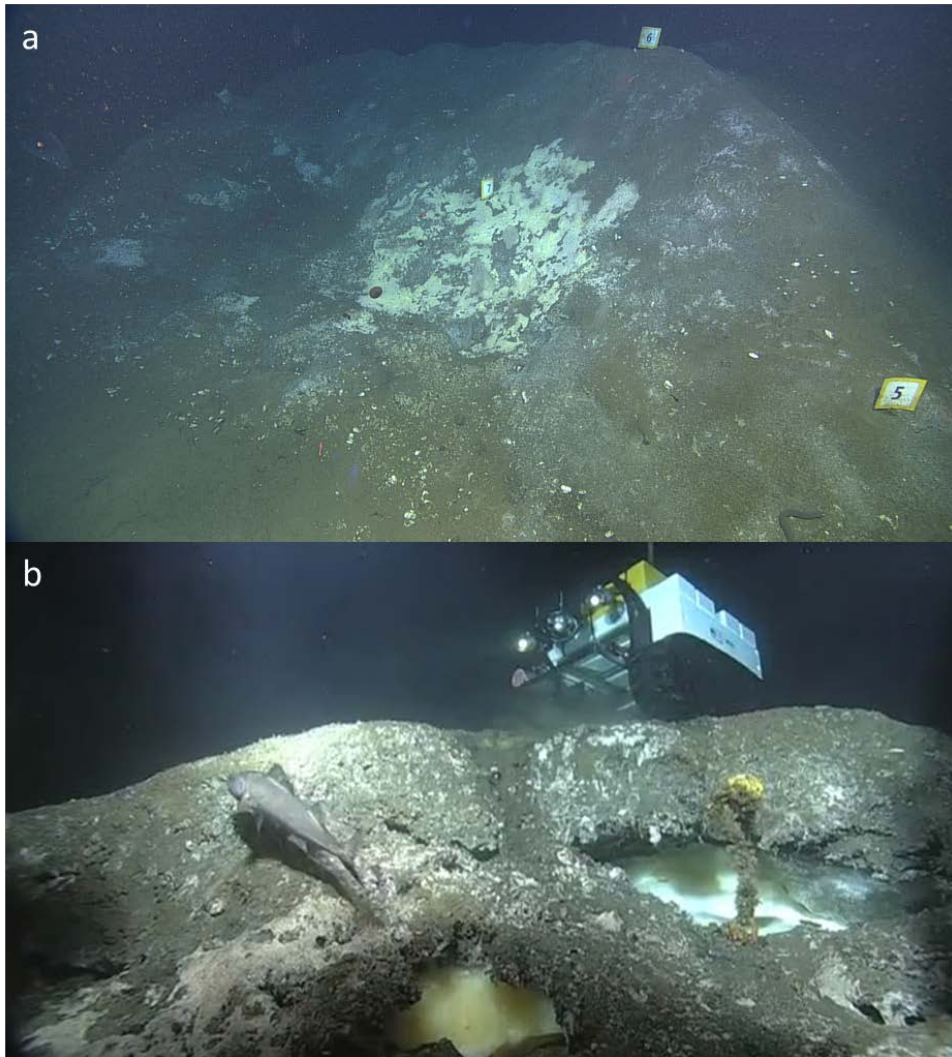


Figure 2. Images du canyon de Barkley. A) Tapis bactérien typique associé aux sédiments en monticules; B) Une morue charbonnière nage dans des hydrates de gaz exposés tandis que le robot « Wally » d'ONC recueille des données environnementales et des images. Le champ de vision est d'environ 3 m. Photos : Ocean Networks Canada.

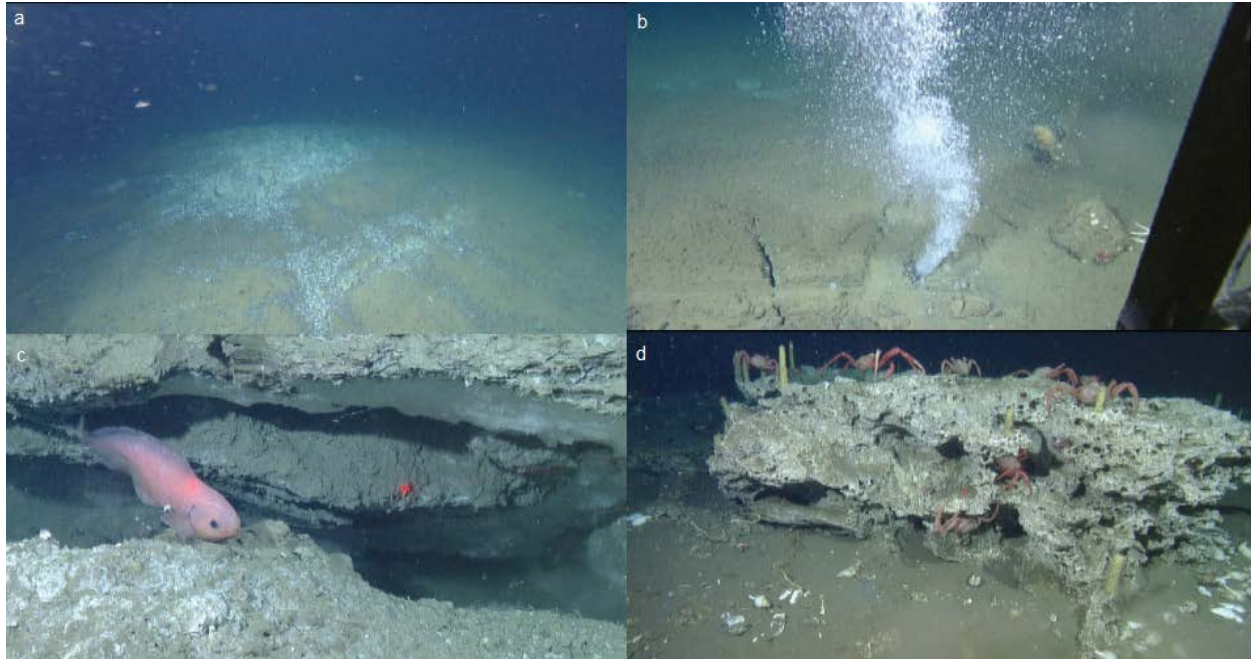


Figure 3. Images tirées des plongées du MBARI sur des suintements froids actifs sur la pente Clayoquot. A) Flancs de Bubbly Gulch avec tapis bactérien (champ de vision = 3 m); B) Panache de gaz émanant d'un trou après un échantillonnage par carottage à Bubbly Gulch (champ de vision = 2 m); C) Une limace (*Liparidae*, *Careproctus*) dans une fissure où des hydrates de gaz massifs sont exposés à l'évent Spinnaker (champ de vision = 50 cm); D) Bloc carbonaté authigène à l'évent Spinnaker, qui fournit un habitat à de nombreux crabes, capsules ovigères de *Neptunea* (colonnes jaune) avec des myes dans les sédiments; (champ de vision = 3 m). Images précédemment publiées dans Paull et al. (2015a) et utilisées ici avec la permission de la Geological Society of America.

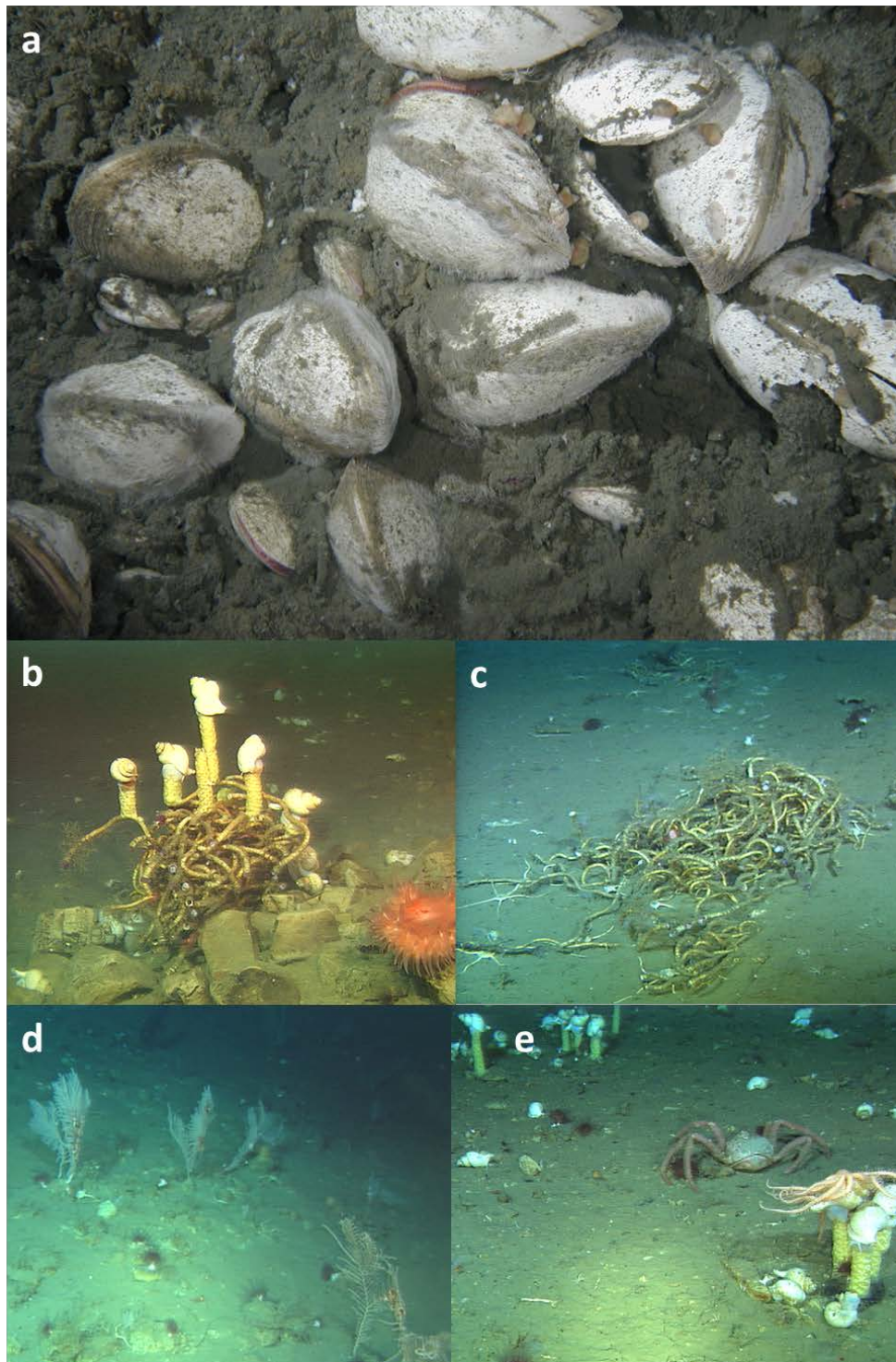


Figure 4. Images de plongées du ROPOS en 2001 aux suintements froids sur la crête Cucumber (« mont carbonaté nord » dans Breen (2002)). A) Palourdes Vesicomyidae vivantes avec diverses espèces épifauniques; B) Amas de vers tubicoles vivants (*Lamellibrachia barhami*) avec femelle de *Neptunea* sp. sur des tours d'œufs; C) Amas de *L. barhami* sur les sédiments du suintement; D) Gorgones, oursins et ophiures (faune autre que celle du suintement) vivants sur les carbonates; E) Tours d'œufs de *Neptunea* sp., crabe araignée et étoile de mer; le champ de vision est d'environ 1 m, à l'exception du panneau A, pour lequel il est ~30 cm. Images gracieusement offertes par V. Tunnicliffe.

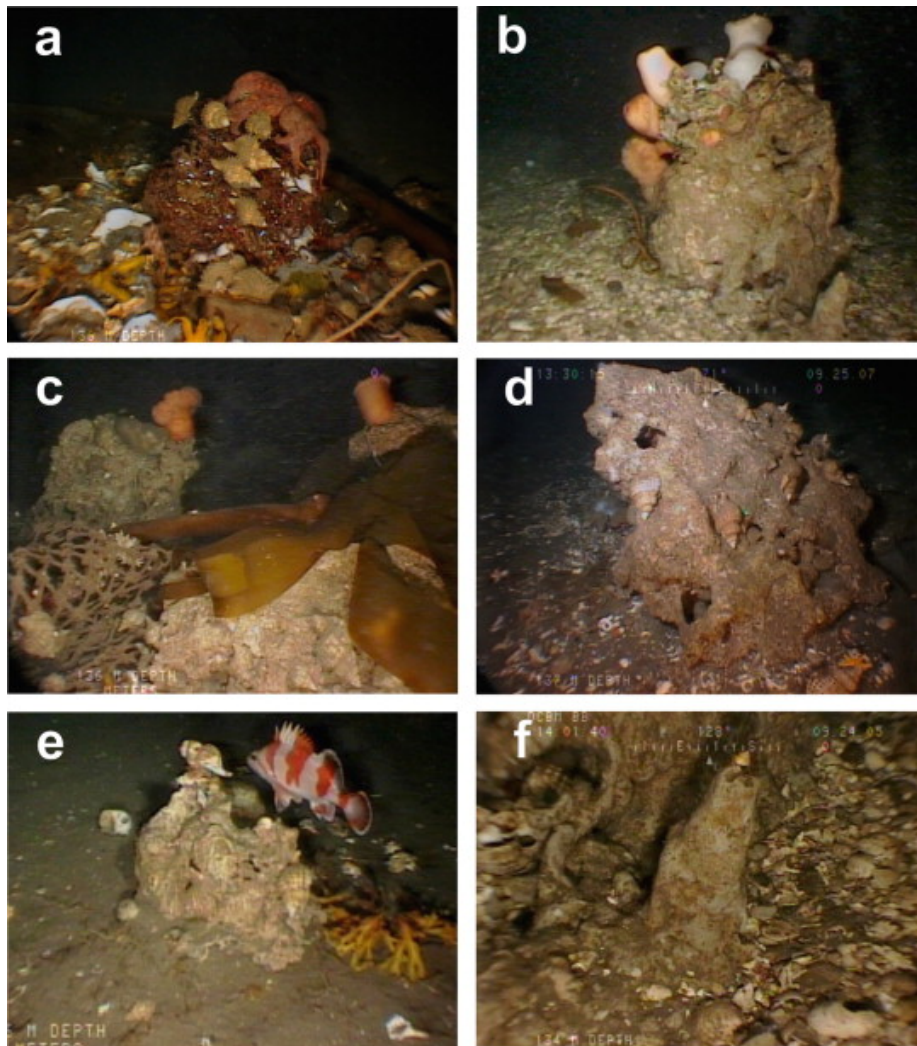


Figure 5. Images de cheminées carbonatées formées aux suintements froids du détroit d'Hécate (profondeur ~135 m). A) Étoile de mer *Pycnopodia helianthoides* en train de se nourrir de tritons *Fusitriton oregonensis*; B) Les anémones (*Metridium giganteum*) occupent de nombreuses cheminées; C) Engin de pêche enroulé autour d'une cheminée carbonatée; D) Cheminée carbonatée avec des tritons; E) Le sébaste à bandes rouges (*Sebastes babcocki*) a été associé à des cheminées carbonatées; F) Des bulles de gaz ont été observées émanant d'un petit évent entouré de débris de coquilles. Le champ de vision n'a pas été fourni, mais il semble être de 50-100 cm pour la plupart des images. Images précédemment publiées dans Barrie et al. (2011) et utilisées ici avec la permission d'Elsevier.

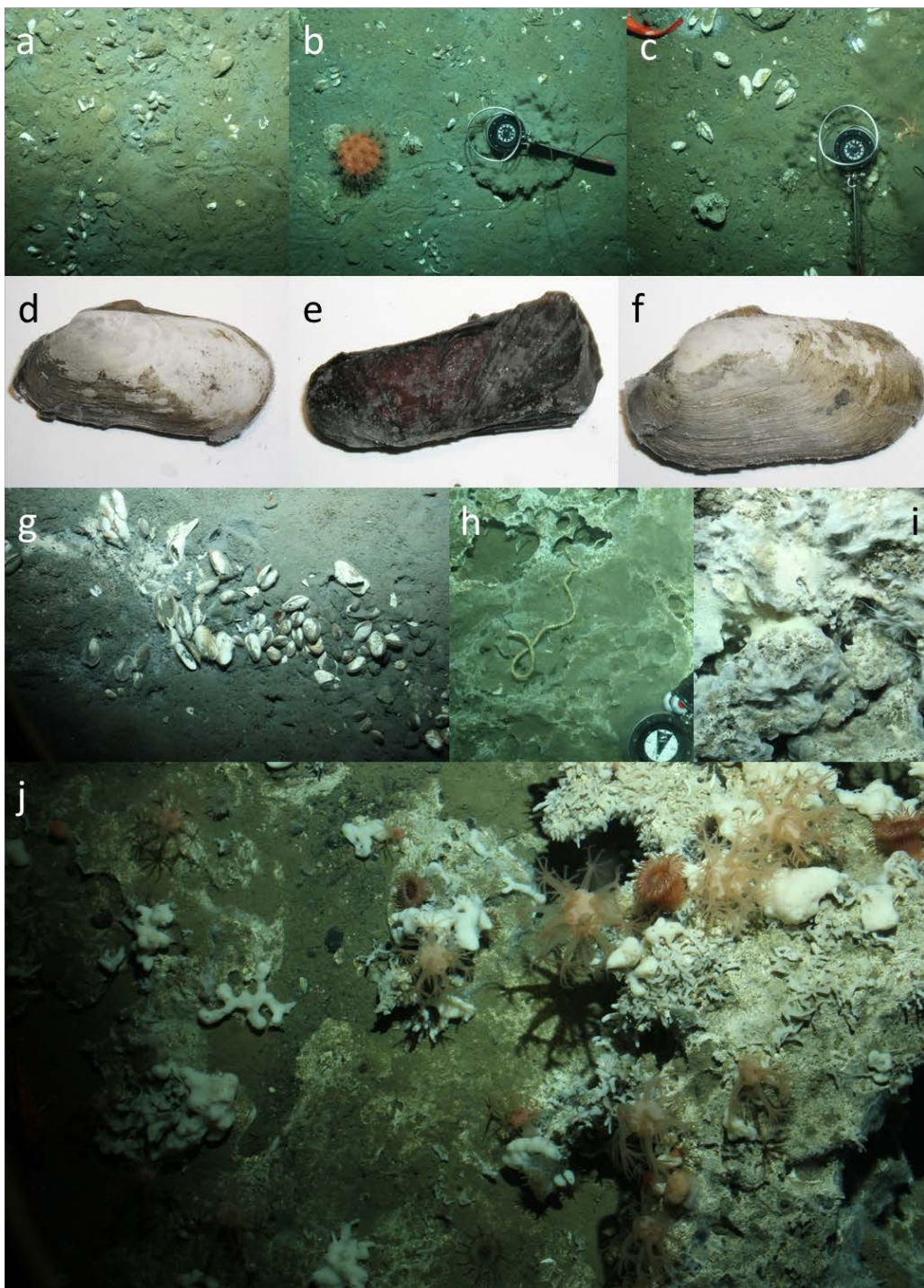


Figure 6. A-C) Images des suintements froids découverts au large de Haida Gwaii en 2011 (station 2011002PGC-26), provenant de la caméra sous-marine; D-F) Bivalves chimiosymbiotes-hôtes, dont *Calyptogena starobogatovi* et une moule non identifiée (E), récupérés à l'aide de bennes IKU aux suintements de l'entrée Dixon au large de Haida Gwaii en 2015 (station 2015004PGC-32); G-J) Images, fournies par la caméra sous-marine, des suintements de l'entrée Dixon (station 2015004PGC-31), dont des palourdes *Vesicomyidae* (G), un ver tubicole *Lamellibrachia* (H), des bactéries filamenteuses couvrant des carbonates du suintement (I) et des éponges et coraux mous suspensivores sur des carbonates (J). Images gracieusement offertes par J.V. Barrie, Ressources naturelles Canada.

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

Téléphone : (250) 756-7208

Courriel: csap@dfo-mpo.gc.ca

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

ISSN 1919-3815

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2018



La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2018. Évaluation des suintements froids du Pacifique canadien par rapport aux critères de détermination des zones d'importance écologique et biologique. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Rép. des Sci. 2018/002.

Also available in English:

DFO. 2018. *Assessment of Canadian Pacific Cold Seeps against Criteria for Determining Ecologically and Biologically Significant Areas. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Resp. 2018/002.*