



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences des écosystèmes
et des océans

Ecosystems and
Oceans Science

Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS)

Document de recherche 2020/040

Région de la capitale nationale

Activités d'exploration et de production pétrolières et gazières dans les zones pour lesquelles des objectifs de conservation des espèces et des habitats benthiques ont été définis : Examen des impacts potentiels et des mesures d'atténuation

Tara G. Oak

Paita Environmental Consulting Inc.
34 Fernbrook Court
Dartmouth (Nouvelle-Écosse) B2X 3V

Avant-propos

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

Les documents de recherche sont publiés dans la langue officielle utilisée dans le manuscrit envoyé au Secrétariat.

Publié par :

Pêches et Océans Canada
Secrétariat canadien de consultation scientifique
200, rue Kent
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

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



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2020

ISSN 2292-4272

La présente publication doit être citée comme suit :

Oak, T.G. 2020. Activités d'exploration et de production pétrolières et gazières dans les zones pour lesquelles des objectifs de conservation des espèces et des habitats benthiques ont été définis : Examen des impacts potentiels et des mesures d'atténuation Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc de rech. 2020/040. vi + 65 p.

Also available in English :

Oak, T.G. 2020. Oil and gas exploration and production activities in areas with defined benthic conservation objectives: A review of potential impacts and mitigation measures. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2020/040. vi + 55 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	v
SIGLES ET ACRONYMES.....	vi
INTRODUCTION	1
CONTEXTE ET LIMITES	2
ACTIVITÉS D'EXPLORATION ET DE PRODUCTION PÉTROLIÈRE ET GAZIÈRE EXTRACÔTIÈRES.....	4
EFFETS POTENTIELS SUR LES ESPÈCES ET LES HABITATS BENTHIQUES	5
PROGRAMME DE SUIVI DES EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT	9
LEVÉS SISMIQUES.....	10
LEVÉS ÉLECTROMAGNÉTIQUES.....	15
LEVÉS SUR LE FOND MARIN	15
FORAGE D'EXPLORATION ET DE DÉLIMITATION DES CHAMPS	16
Mise en place et présence d'infrastructure	16
Bruit sous-marin	17
Rejets de forage.....	17
FORAGE DE DÉVELOPPEMENT ET PRODUCTION	20
Mise en place et présence d'infrastructure	21
Bruit sous-marin	22
Rejets de forage.....	23
EFFETS CUMULATIFS.....	26
MESURES D'ATTÉNUATION.....	27
ATTÉNUATION AU NIVEAU DES LEVÉS SISMIQUES.....	29
ATTÉNUATION AU NIVEAU DU BATTAGE DE PIEUX.....	31
ACQUISITION D'IMAGES DU FOND MARIN	31
DISTANCES D'ÉLOIGNEMENT ET PLANIFICATION DE L'INFRASTRUCTURE	32
ATTÉNUATION AU NIVEAU DES DÉBLAIS ET DES FLUIDES DE FORAGE	34
Réduction des déchets de forage produits	34
Système de transport sous-marin des déblais de forage	37
Le retour à la plateforme : une autre solution d'élimination/utilisation	37
ATTÉNUATION AU NIVEAU DES ANCRES ET DES CHAÎNES	40
Positionnement dynamique (PD) des appareils de forage et des navires	41
Ancres et chaînes préalablement installées avec bouées de ramassage	41
Câbles en fibre et flottabilité sous la surface.....	42
Dimension plus importante des ancres ou des chaînes.....	42
ATTÉNUATION AU NIVEAU DES PIPELINES ET DES CONDUITES D'ÉCOULEMENT	42
ATTÉNUATION AU NIVEAU DE L'EAU PRODUITE.....	42
AUTRES MESURES D'ATTÉNUATION TECHNOLOGIQUES	44
Forage dirigé et en grappe	44

Systèmes de production sous-marins.....	45
Installations flottantes de gaz naturel liquéfié	45
CONCLUSION	45
RÉFÉRENCES CITÉES.....	45
ANNEXE 1 : MESURES D'ATTÉNUATION VISANT À RÉDUIRE LES IMPACTS POTENTIELS DES ACTIVITÉS PÉTROLIÈRES ET GAZIÈRES EXTRACÔTIÈRES DANS LES ZONES POUR LESQUELLES DES OBJECTIFS DE CONSERVATION DES ESPÈCES ET DES HABITATS BENTHIQUES ONT ÉTÉ DÉFINIS	55
ANNEXE 2 : GLOSSAIRE.....	60

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Impacts potentiels des activités pétrolières et gazières extracôtières et de l'infrastructure sur les espèces et les habitats benthiques (élargi à partir de Cordes et al. 2016, DNV 2013).....	6
Tableau 2 : Impacts potentiels du bruit sous-marin d'origine anthropique sur les espèces et les habitats benthiques (modifié à partir de Hawkins et Popper 2017).....	11
Tableau 3 : Options possibles pour la réduction des solides produits durant les forages (modifié, d'après DNV 2013)	35
Tableau 4 : Options pour l'élimination/l'utilisation des déblais et des fluides de forage renvoyés à l'appareil de forage par l'entremise d'un système de récupération des boues sans tube ascenseur (modifié à partir de DNV 2013).....	38

RÉSUMÉ

Le présent document résume les résultats d'une revue de la littérature sur les principaux effets potentiels des activités courantes d'exploration, de développement et de production pétrolières et gazières en mer sur les espèces et les habitats benthiques, et traite des mesures qui pourraient réduire les impacts de ces activités dans les zones pour lesquelles des objectifs de conservation des espèces et des habitats benthiques ont été définis. Ces zones peuvent comprendre des zones où se trouvent des espèces benthiques (poissons et invertébrés démersaux), des habitats benthiques (aires de frai, d'alevinage et d'alimentation) et des zones benthiques vulnérables (ZBV) (coraux ou éponges, canyons, monts sous-marins et événements hydrothermaux). Les ZBV sont des pierres angulaires de la biodiversité et du fonctionnement écosystémique des grands fonds marins et forment des habitats complexes qui fournissent à d'autres composantes du biote des aliments et des éléments nutritifs, un abri contre les prédateurs, des aires d'alevinage, des surfaces dures soutenant des invertébrés et des structures soutenant des organismes sessiles.

Le document décrit les impacts potentiels des activités d'exploration et de production suivantes : levés sismiques, électromagnétiques et du fond marin; mise en place et présence d'infrastructure sur le fond marin; rejets émanant de forages durant les phases d'exploration et de développement; traitement et rejet des eaux produites. Bien que d'autres activités soient susceptibles d'avoir un impact sur ces zones (p. ex. événements accidentels, mise hors service), le présent examen se concentre sur les activités opérationnelles courantes. L'examen relève les mesures d'atténuation permettant de réduire les impacts potentiels et les puits et les contres connexes, et met en évidence les nouvelles technologies de forage et de production ainsi que les stratégies de gestion. On y présente également des considérations relatives à l'acquisition d'images du fond marin et à l'établissement de distances d'éloignement dans les zones pour lesquelles des objectifs de conservation ont été définis.

Des incertitudes importantes demeurent concernant les impacts des activités courantes d'exploration et de production pétrolières et gazières en mer, peut-être surtout sur les espèces et les habitats benthiques. La mise en œuvre de mesures d'atténuation, de protocoles de gestion et d'innovations technologiques peut réduire les impacts de ces activités sur les espèces et les habitats benthiques. Cependant, il existe peu de documentation sur l'efficacité de ces outils. Une meilleure compréhension de la séquence des effets, des seuils et des impacts potentiels pourrait faciliter l'élaboration et la mise en œuvre de stratégies de gestion et de mesures d'atténuation qui soient à la fois efficaces et pratiques. Cela revêt une importance particulière lorsqu'on envisage d'effectuer des activités pétrolières et gazières dans les zones pour lesquelles des objectifs de conservation des espèces et des habitats benthiques ont été définis, compte tenu de la vulnérabilité établie ou inférée de ceux-ci face aux activités anthropiques.

SIGLES ET ACRONYMES

HR2D	Haute résolution à deux dimensions
AACI	Avant-après, contrôle de l'impact
OCTNLHE	Office Canada-Terre-Neuve-et-Labrador des hydrocarbures extracôtiers
OCNEHE	Office Canada-Nouvelle-Écosse des hydrocarbures extracôtiers
ESC	Électromagnétique à source contrôlée
STDF	Système de transport des déblais de forage
MPO	Pêches et Océans Canada
DNV	Det Norske Veritas
PD	Positionnement dynamique
ESEE	Études de suivi des effets sur l'environnement
FEE	Fonds pour l'étude de l'environnement
FPSO	Unités flottantes de production, de stockage et de débarquement
UICN	Union internationale pour la conservation de la nature
IPIECA	Association internationale de l'industrie pétrolière pour la sauvegarde de l'environnement
MARPOL	Convention internationale pour la prévention de la pollution par les navires
SEMF	Échosondeur multifaisceau
EMT	Électromagnétique multitransitoire
VM	Méthode vibrosismique marine
ONE	Office national de l'énergie
NOROG	Norwegian Oil and Gas Authority
BBH	Boues à base d'huile
OGP	International Association of Oil and Gas Producers
OSPAR	Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du nord-est
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
VTG	Véhicule sous-marin téléguidé
ZBV	Zone benthique vulnérable
BBS	Boues à base synthétique
NEB	Niveau d'exposition au bruit
SOEP	Projet énergétique extracôtier de l'île de Sable
SBL	Sonar à balayage latéral
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'environnement.
PSV	Profilage sismique vertical
BBE	Boues à base d'eau

*Un glossaire est fourni à l'annexe 2.

INTRODUCTION

L'objectif du présent document de travail consiste à : a) fournir une analyse documentaire tant des impacts potentiels des activités courantes d'exploration et de production pétrolières et gazières sur les espèces et habitats benthiques que de l'efficacité des mesures d'atténuation standards; et b) mettre en évidence les nouvelles technologies et stratégies de gestion qui peuvent être considérées comme permettant de réduire encore davantage les impacts dans les zones pour lesquelles des objectifs de conservation des espèces et des habitats benthiques ont été définis. L'analyse porte principalement sur le contexte réglementaire et le milieu marin du Canada, bien qu'elle prenne également en considération des recherches et des expériences menées dans d'autres pays, s'il y avait lieu.

Le terme « zones pour lesquelles des objectifs de conservation des espèces et des habitats benthiques ont été définis » renvoie à :

- 1) des espèces benthiques (poissons et invertébrés démersaux);
- 2) des habitats benthiques comme des aires de frai, d'alevinage et d'alimentation;
- 3) des zones benthiques vulnérables (ZBV), y compris des zones abritant des coraux et des éponges, des canyons, des monts sous-marins et des événements hydrothermaux.

Les zones abritant des coraux et des éponges, les canyons, les monts sous-marins et les événements hydrothermaux constituent les pierres angulaires de la biodiversité et du fonctionnement des écosystèmes des grands fonds marins, car ils forment des habitats complexes et fournissent à d'autres organismes du biote marin des aliments et des éléments nutritifs, un abri contre les prédateurs, des aires d'alevinage, des surfaces dures soutenant des espèces d'invertébrés et des structures soutenant des organismes sessiles¹. Il est particulièrement important d'éviter les impacts sur les espèces formant des habitats, comme les coraux et les éponges des grands fonds marins, car ces espèces se rétablissent très lentement lorsqu'elles sont perturbées, en raison de leur longévité et de leurs faibles taux de croissance (p. ex. certaines colonies des grands fonds vivent plus de 4 000 ans, et la plupart des colonies de coraux s'étendent de moins de 2,5 cm par année, bien que celles qui affichent les taux de croissance les plus rapides s'étendent de plus de 15 cm par année². En outre, les chercheurs connaissent mal les espèces de coraux et d'éponges d'eau froide, notamment leur répartition, l'âge à maturité, la fécondité, la reproduction et le recrutement, la résilience et la résistance aux dommages, ainsi que le rythme du rétablissement (Wareham 2010).

Les impacts potentiels sur les espèces et les habitats benthiques qui peuvent résulter des activités courantes d'exploration et de production suivantes sont décrits³ :

- levés sismiques (notamment l'énergie sonore émise) et levés électromagnétiques;
- levés du fond marin (géotechniques, géorisques et échantillonnage environnemental);

¹ [WHOI](#)

² [Coraux et récif de corail](#)

³ Bien que les activités de mise hors service et les événements accidentels (comme des rejets involontaires, des déversements ou des fuites) puissent également avoir des impacts, ils ne sont pas traités dans le présent examen.

-
- exploration, délimitation des champs ou forage durant la phase de développement et production, y compris la mise en place, l'enlèvement et la présence de structures sur le fond marin (p. ex. ancras, unités de forage, tubes ascenseurs, plateformes, pipelines); bruit sous-marin d'origine anthropique; rejets de forage (p. ex. boues à base d'eau [BBE] et boues à base synthétique [BBS], déblais de forage, ciment, eau produite).

L'étude décrit les mesures d'atténuation visant à réduire les impacts potentiels résultant des levés sismiques, de la présence de déblais et de fluides de forage, d'ancres et de chaînes, de pipelines et de conduites d'écoulement et d'eau produite, et souligne des considérations relatives à l'acquisition d'images sur le fond marin, à l'établissement de distances d'éloignement par rapport aux zones ayant des objectifs de conservation définis et à l'utilisation de technologies d'atténuation pour le forage et la production.

CONTEXTE ET LIMITES

La terminologie utilisée durant la réunion était différente de celle utilisée dans le cadre de référence et dans l'énoncé des travaux fourni aux fins de l'analyse documentaire, car elle n'est pas uniforme entre les régions, et certains participants se disaient préoccupés de l'utilisation du terme « composante benthique valorisée », car il peut sous-entendre une valeur d'ordre économique plutôt qu'une valeur au chapitre de la conservation. Les termes « zones benthiques vulnérables » et « zones benthiques d'importance » ont également un sens différent selon les secteurs, de sorte que le terme « zones pour lesquelles des objectifs de conservation des espèces et des habitats benthiques ont été définis » (ou « zones ayant des objectifs de conservation définis », à des fins de concision) a été utilisé pour englober toutes les zones qui ont fait l'objet de discussions au cours de la réunion. Aux fins de cette réunion, ce terme renvoie à des mesures de gestion propres aux zones (comme la désignation de zones de protection marines [ZPM] ou la prise d'autres mesures de conservation efficaces par zone [AMCEZ]) qui ont été appliquées pour protéger les composantes benthiques définies dans les objectifs de conservation. Les objectifs de conservation des espèces et des habitats benthiques qui ont été définis (ou « objectifs de conservation définis ») peuvent comprendre la protection d'espèces benthiques (poissons et invertébrés); la protection d'habitats benthiques comme des aires de frai, d'alevinage ou d'alimentation; des zones benthiques d'importance, qui incluent les communautés dominées par des coraux ou des éponges et la présence d'événements hydrothermaux ou, encore, des lieux qui sont susceptibles de contenir ces composantes comme les canyons, les monts sous-marins, etc.

L'ensemble de la documentation scientifique portant sur les effets environnementaux de l'exploration et de la production pétrolière et gazière extracôtière a été réunie durant des décennies d'activités menées au large, depuis le suivi des effets sur l'environnement (SEE) jusqu'aux recherches menées en laboratoire et sur le terrain. Cependant, les études portant sur les impacts potentiels sur des poissons et des invertébrés des grandes profondeurs sont limitées, et la plupart des recherches ont été menées en laboratoire ou à l'échelon d'une espèce et, en conséquence, ne peuvent pas être utilisées pour tirer des conclusions à l'échelle d'une population, d'une communauté ou d'un écosystème. Les recherches menées sur le terrain ont été, pour la plupart, effectuées dans des eaux peu profondes et, bien que la plus grande partie des forages d'exploration actuels dans l'Atlantique canadien se déroulent ou soient proposés en eaux profondes, la plupart des programmes de SEE sont mis en œuvre dans des champs producteurs qui se trouvent le long du plateau continental.

Il existe d'importantes lacunes dans nos connaissances en ce qui concerne le milieu Arctique, et le présent examen n'a pas traité de façon particulière les opérations menées dans des environnements couverts de glace. En outre, bien que les milieux estuariens et littoraux n'aient

pas été considérés de façon explicite, bon nombre des descriptions des activités et des mesures d'atténuation peuvent être appliquées à ces milieux.

Le présent document met l'accent sur les effets potentiels des activités courantes d'exploration pétrolière et gazière dans les zones pour lesquelles des objectifs de conservation des espèces et des habitats benthiques ont été définis. Bien que les espèces et habitats benthiques puissent également être touchés par d'autres activités, comme la mise hors service, ou par des événements accidentels (p. ex. un déversement important peut représenter une grave menace pour ces zones), le présent examen met l'accent sur les activités opérationnelles courantes. Le présent rapport présente une limite importante du fait que les déversements ne sont pas pris en considération, et ne décrit les impacts que selon les scénarios les plus favorables (c.-à-d. en l'absence de déversement). On peut se reporter aux documents suivants pour obtenir davantage de renseignements sur les déversements de pétrole :

- Rapport du groupe d'experts sur le comportement et les impacts environnementaux d'un rejet de pétrole brut dans un milieu aqueux, Société royale du Canada (Lee *et al.* 2015)
- [Examen scientifique de l'analyse des avantages nets pour l'environnement de l'utilisation de dispersants dans l'intervention en cas de déversement de pétrole provenant des installations pétrolières et gazières sur les Grands Bancs de Terre-Neuve](#) (2014)
- [Cadre d'évaluation de la vulnérabilité des composantes biologiques du milieu marin aux déversements d'hydrocarbures provenant de navires](#) (2017)
- [Évaluation de la demande de la Région du Pacifique pour un Cadre national d'évaluation de la vulnérabilité des composantes biologiques du milieu marin aux déversements d'hydrocarbures provenant de navires](#) (2017)
- [Cadre d'évaluation de la vulnérabilité des composantes biologiques aux déversements d'hydrocarbures provenant de navires](#) (2017)
- [Rapport de situation sur la connaissance du devenir et du comportement du bitume dilué dans les écosystèmes aquatiques](#) (2018)

Compte tenu de la portée et de l'ampleur considérables du présent document de travail (les activités, les espèces et les habitats benthiques et les mesures d'atténuation à traiter conformément à la portée du travail) et le vif intérêt du MPO à obtenir cette information à temps pour pouvoir la communiquer au Groupe consultatif national chargé des zones de protection marines, notre but n'est pas de présenter un examen approfondi exhaustif, mais de donner la priorité aux études les plus récentes et les plus directement applicables sur les effets et les mesures d'atténuation propres aux espèces et aux habitats benthiques. Des examens récents de la documentation, notamment les articles publiés par Cordes *et al.* (2016), Bakke *et al.* (2014) et Ellis *et al.* (2012), ont examiné et synthétisé de façon systématique les connaissances scientifiques actuelles sur les impacts environnementaux des activités d'exploration et de production pétrolières et gazières en mer, et nous renvoyons le lecteur à ces publications pour des examens plus généralisés.

ACTIVITÉS D'EXPLORATION ET DE PRODUCTION PÉTROLIÈRE ET GAZIÈRE EXTRACÔTIÈRES

Les trois principales phases de l'exploration et de la production pétrolière et gazière sont l'exploration, le développement et la production, et la mise hors service. La phase d'exploration peut inclure le recours à des levés magnétiques ou sismiques, qui permettent de recenser des réservoirs pétroliers ou gaziers potentiels, et le forage dans les formations (forage d'exploration), qui permet d'établir si les réservoirs recensés contiennent du pétrole ou du gaz. [Les statistiques liées aux activités autorisées en vertu de permis](#) de l'Office Canada-Terre-Neuve-et-Labrador des hydrocarbures extracôtiers (OCTNLHE) indiquent que moins d'un puits est foré par permis d'exploration, un puits d'exploration ou de délimitation de champ étant foré sur une période de 68 jours en moyenne (ce qui équivaut à environ 50 jours de forage sur une période d'autorisation de neuf ans). Lorsqu'un puits d'exploration ne révèle pas la présence de quantités de pétrole ou de gaz commercialement viables, il est scellé avec du ciment pour empêcher les fuites et la contamination par les fluides de forage. Des puits d'évaluation ou de délimitation des champs peuvent être forés lorsqu'on trouve du pétrole ou du gaz, pour évaluer la faisabilité économique du développement du champ.

Lorsqu'il a été déterminé que du pétrole ou du gaz est présent en quantités commercialement viables, la phase de développement et de production débute. Le développement comprend la planification de l'infrastructure et le forage de puits de développement, et la phase de production est la période durant laquelle un champ et ses pipelines et infrastructures connexes sont utilisés pour produire du pétrole ou du gaz. Un petit réservoir peut être développé grâce à un ou plusieurs puits d'évaluation, tandis qu'un grand champ nécessite le forage de puits de production supplémentaires, qui sont habituellement associés à des plateformes satellites reliées à la plateforme centrale par des conduites d'écoulement sous-marines. Dans les zones propices à l'affouillement d'icebergs sous-marins, on effectue du dragage pour permettre la mise en place de l'équipement sous-marin sous le niveau du fond de la mer. Au large, le pétrole et le gaz sont habituellement produits grâce à des plateformes fixes ou à des unités flottantes de production, de stockage et de déchargement (FPSO). Lorsque le champ est épuisé, les puits sont bouchés et abandonnés, et l'infrastructure de production est mise hors service.

Il est présumé que le lecteur du présent document possède une connaissance de base de l'historique de l'exploration et de la production pétrolière et gazière au large, des activités qui s'y rapportent et de l'infrastructure connexe. Les aspects techniques ne sont décrits ici que lorsqu'ils sont pertinents pour l'examen des impacts et des mesures d'atténuation. Les documents suivants peuvent être consultés si l'on veut obtenir de l'information détaillée :

- [Strategic Environmental Assessment, Sydney Basin and Orpheus Graben, Offshore Cape Breton, Nova Scotia](#), soumis à l'Office Canada-Nouvelle-Écosse des hydrocarbures extracôtiers (OCNEHE) (Amec Foster Wheeler 2016).
 - Les tableaux 2-1 à 2-6 résument le but, les méthodes et l'équipement, les durées habituelles, la zone géographique, les émissions et les principaux enjeux environnementaux associés aux levés sismiques, aux levés du fond marin, au forage d'exploration au large, au forage et à l'abandon des puits, au profilage sismique vertical, au trafic maritime et des hélicoptères et au forage depuis la terre vers le large.
 - (en anglais seulement)
- [Eastern Newfoundland Strategic Environmental Assessment](#), soumis à l'Office Canada-Terre-Neuve-et-Labrador des hydrocarbures extracôtiers (OCTNLHE) (AMEC Environment & Infrastructure 2014).

-
- Ce document referme des descriptions détaillées des activités d'exploration et de production pétrolières et gazières au large.
 - (en anglais seulement)
 - [The Marine Environment and Fisheries of Georges Bank, Nova Scotia: Consideration of the Potential Interactions Associated with Offshore Petroleum Activities](#) (MPO 2011).
 - Section 3.0 : Potential Interactions Associated with Offshore Petroleum Activities (description des activités d'exploration et de production pétrolières et gazières au large et de leurs impacts environnementaux potentiels).
 - (en anglais seulement)

EFFETS POTENTIELS SUR LES ESPÈCES ET LES HABITATS BENTHIQUES

Les principaux mécanismes de l'impact sur les espèces et les habitats benthiques des activités pétrolières et gazières extracôtières sont la perturbation directe du fond marin et les rejets en mer, et le bruit sous-marin associé aux activités d'exploration sismique peut également entraîner des impacts sublétaux et comportementaux sur les espèces benthiques. La mise en place d'une infrastructure sur le fond marin (p. ex. pipelines, ancrages, pieux, flotteurs), les amas de boues et de déblais de forage, ainsi que les centres de dragage et le rejet sur le fond marin de déblais de dragage peuvent entraîner la destruction de l'habitat, l'enfouissement et une mortalité directe (p. ex. fragmentation des coraux et des éponges, étouffement ou écrasement de l'épifaune sessile). La perturbation directe du fond marin peut remettre en suspension des particules à grains fins déposées, et le rejet de boues et de déblais de forage peut introduire des particules fines dans la colonne d'eau et sur le fond marin. Cette turbidité accrue et la charge excessive en particules peuvent affecter les mécanismes d'échange gazeux et d'alimentation par filtrage des poissons démersaux et des invertébrés sessiles (p. ex. les coraux et les éponges).

Les substances rejetées, comme les boues de forage qui se trouvent dans les déblais, le ciment, l'eau produite et d'autres contaminants potentiels qui sont rejetés à la tête des puits ou en surface peuvent avoir des effets toxiques (létaux ou sublétaux) sur le biote marin ou affecter les mécanismes de filtrage de l'eau. Les activités et l'infrastructure peuvent entraîner l'introduction d'espèces exotiques envahissantes par les biosalissures, les eaux de ballast ou des mécanismes physiques directs (p. ex. particules végétales intactes ou sédiment se trouvant sur les ancrages). En outre, les zones pour lesquelles des objectifs de conservation des espèces et des habitats benthiques ont été définis offrent des habitats importants pour d'autres organismes du biote, comme le plancton, les poissons pélagiques, les baleines et les oiseaux de mer. Étant donné le rôle vital que joue le couplage benthique-pélagique dans les écosystèmes aquatiques (l'échange d'énergie, de masse et d'éléments nutritifs entre les habitats benthiques et pélagiques), les impacts sur les espèces et les habitats benthiques peuvent entraîner des effets néfastes subséquents sur le biote non benthique (Griffiths *et al.* 2017)⁴.

Les espèces formant des habitats, comme les coraux et les éponges des grands fonds, peuvent être affectées par plusieurs mécanismes et à différentes échelles, et les impacts à l'échelle de la population de ces espèces peuvent entraîner des impacts à l'échelle de la communauté d'autres espèces du fait de la déstabilisation de l'habitat. Un examen récent de la

⁴ Les impacts potentiels indirects sur le biote non benthique résultant d'impacts directs sur le biote benthique n'entrent pas dans la portée du présent document.

documentation portant sur les impacts potentiels des activités pétrolières et gazières extracôtières sur les éponges des grands fonds et sur les habitats qu'elles forment a permis de relever des impacts à l'échelle de la communauté (diminution de la diversité et de la densité des communautés benthiques associées à des éponges des grands fonds en raison de perturbations physiques), à l'échelon individuel (interruption de la filtration en raison de la sédimentation accrue) et à l'échelon cellulaire (diminution de la stabilité de la membrane cellulaire résultant de l'exposition aux boues de forage) (Vad *et al.* 2018). Tandis que la surveillance reposant sur la morphologie se limite habituellement aux macro-invertébrés, de nouvelles techniques de surveillance, comme le méta-codage à barres, facilitent les recherches de terrain sur les effets potentiels à l'échelle des communautés, ainsi que sur les impacts potentiels sur la méiofaune et la microfaune (Lanzén *et al.* 2016).

Un résumé des principaux impacts potentiels (qui entrent dans la portée du présent examen documentaire) des activités pétrolières et gazières extracôtières et de l'infrastructure sur les espèces et les habitats benthiques est présenté au Tableau 1.

Tableau 1 : Impacts potentiels des activités pétrolières et gazières extracôtières et de l'infrastructure sur les espèces et les habitats benthiques (élargi à partir de Cordes et al. 2016, DNV 2013)

Activité/ infrastructure	Mécanisme	Zone d'influence estimée	Impacts potentiels sur les espèces et les habitats benthiques
Levés sismiques	Physique (composantes de l'énergie sonore – pression hydrostatique et déplacement de particules)	<ul style="list-style-type: none"> Inconnue (et hautement variable) 	Mortalité directe; dommages tissulaires ou physiologiques (mortalité indirecte); déficience auditive; effet de masque; changement dans la réponse comportementale (déplacement à l'extérieur des habitats de prédilection, changement dans les profils de déplacement, retard ou prévention de la migration vers les aires de frai ou d'alimentation; prévention du recrutement ou de l'établissement dans des habitats de prédilection); modifications des habitats résultant du remodelage altéré des sédiments
Levés électro-magnétiques	Physique (perturbation magnétique; impact direct des ancras de sable des récepteurs)	<ul style="list-style-type: none"> Inconnue (et probablement hautement variable) 	Interférence avec l'utilisation des ondes électromagnétiques par les animaux marins; écrasement ou enfouissement dans les limites de l'empreinte des ancras de sable des récepteurs
Levés du fond marin (géorisques HR2D, échantillonnage géotechnique environnemental)	Physique (énergie sonore; impact direct; sédimentation)	<ul style="list-style-type: none"> Inconnue dans le cadre des levés HR2D (présumée moindre par rapport aux levés sismiques à 2D types) 	Impacts semblables (présumés inférieurs) que pour les levés sismiques à 2D types (aspects physique, physiologique et comportemental); mortalité directe dans l'empreinte physique; obturation des structures d'alimentation et d'échange gazeux résultant de charges excessives en particules

Activité/ infrastructure	Mécanisme	Zone d'influence estimée	Impacts potentiels sur les espèces et les habitats benthiques
Bruit sous-marin/vibrations (activités menées sur le fond marin à impact élevé, trafic maritime, propulseurs à positionnement dynamique)	Physique (composantes de l'énergie sonore – pression hydrostatique et déplacement de particules)	<ul style="list-style-type: none"> Inconnue (et hautement variable) 	Impacts potentiels, tels que susmentionnés pour les levés sismiques, amplifiés dans le cas des espèces vivant près du substrat ou au sein de celui-ci (ondes d'interface et déplacement des particules) ou en raison d'une exposition chronique
Ancres et chaînes, grappins, câbles rapporteurs	Physique (impact direct; sédimentation; substrat dur)	<ul style="list-style-type: none"> Environ 50 m (couloir des câbles rapporteurs/des grappins) ± 15 m (positions inexacts durant la mise en place préalable) 	Écrasement/enfouissement/fragmentation et obturation des structures d'alimentation et d'échange gazeux en raison de la remise en suspension des sédiments sur le site et lors de la récupération; poursuite possible de la charge en particules en raison de déplacements induits par les marées; fourniture de substrat dur pour la colonisation par l'épifaune sessile et des organismes apparentés
Infrastructure de forage (p. ex. unités de forage, tubes ascenseurs, systèmes de têtes de puits, élimination des déblais de dragage et de dragage)	Physique (impact direct; sédimentation; matériaux inertes dans la colonne d'eau)	<ul style="list-style-type: none"> Dans un rayon de 100 à 500 m de l'infrastructure 	Écrasement/enfouissement/fragmentation et obturation des structures d'alimentation et d'échange gazeux en raison de la remise en suspension des sédiments sur le site/récupération; fourniture de matériaux inertes formant dans la colonne d'eau un paysage propice à la colonisation par l'épifaune sessile et des organismes apparentés; modification de la répartition des espèces en raison de l'augmentation de la connectivité de l'habitat; introduction d'espèces exotiques envahissantes; toxicité chimique (directe ou sublétales); conditions anoxiques/hypoxiques (effets d'enrichissement); effets physiques sur les tissus; déstabilisation de l'habitat

Activité/ infrastructure	Mécanisme	Zone d'influence estimée	Impacts potentiels sur les espèces et les habitats benthiques
Rejets de forage (déblais, fluides de forage, ciment, produits chimiques)	Physique (impact direct; sédimentation) Chimique (toxicité; effets d'enrichissement)	<ul style="list-style-type: none"> • Présence de solides sur le fond marin : dans un rayon de 100 à 500 m de la tête de puits (puits d'exploration à l'extrémité inférieure, puits de production à l'extrémité supérieure) • Particules fines en suspension dans la colonne d'eau : dépôts possibles dans des champs lointains • BBE (concentration élevée de baryum dans les sédiments), zone d'influence allant de 2 à 20 km • BBS (concentration élevée de baryum dans les sédiments), zone d'influence allant de 200 à 2 000 m • Impacts possibles des BBE et des BBS sur la diversité et l'abondance de la communauté benthique : 100 à 1 000 m 	Écrasement/enfouissement/fragmentation étouffement; obstruction des structures d'alimentation et d'échange gazeux en raison de la charge excessive en particules; toxicité chimique (directe ou sublétales); conditions anoxiques/hypoxiques (effets d'enrichissement); effets physiques sur les tissus; déstabilisation de l'habitat

Activité/ infrastructure	Mécanisme	Zone d'influence estimée	Impacts potentiels sur les espèces et les habitats benthiques
Pipelines et conduites d'écoulement	Physique (impact direct; sédimentation; substrat dur)	<ul style="list-style-type: none"> • Couloir d'influence de 50 à 100 m de largeur sur toute la longueur des conduites d'écoulement • Couloir d'influence de 100 m de largeur sur toute la longueur des pipelines 	Écrasement/enfouissement/fragmentation et obstruction des structures d'alimentation et d'échange gazeux en raison de la remise en suspension des sédiments sur le site ou l'enrobage (projection de sédiments, déversement de gravier); fourniture de substrat dur pour la colonisation par l'épifaune sessile et les organismes apparentés; modification de la répartition des espèces par l'entremise de la connectivité des habitats (pour les espèces indigènes et envahissantes)
Eau produite et composants dissous	Chimique (toxicité)	<ul style="list-style-type: none"> • Possiblement à 1 à 2 km de la source de rejet (d'après le modèle d'évaluation des risques et des effets liés à la dose) 	Toxicité directe; effets sublétaux possibles en raison de l'exposition chronique; chaîne alimentaire et amplification trophique

PROGRAMME DE SUIVI DES EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT

La prévalence des activités d'exploration et de production pétrolières et gazières extracôtières offre une occasion précieuse d'acquérir des données de terrain et d'améliorer notre compréhension des impacts grâce à des programmes de suivi des effets sur l'environnement (SEE) robustes et normalisés. Cependant, le suivi environnemental à long terme des développements pétroliers et gaziers en eau profonde est extrêmement limité, les champs producteurs se trouvant principalement dans des eaux peu profondes et le long du plateau continental.

Cordes *et al.* (2016) indiquent que la plupart des administrations n'ont établi que des exigences réduites en matière de suivi et de surveillance, et ils ont constaté des incertitudes considérables entourant les estimations, par les exploitants, de l'étendue spatiale (zone d'influence) des impacts biologiques recensés grâce à certains des programmes de SEE. Les auteurs estiment que les programmes de suivi pourraient être incapables de détecter des effets plus subtils, être limités au chapitre de leur couverture spatiale de l'échantillonnage et ne comprendre qu'un faible nombre de sites de référence (Cordes *et al.* 2016). Par exemple, une étude récente visant à utiliser la base de données de l'industrie britannique sur le benthos pour mesurer l'échelle et la persistance des déblais de forage sur des sites des installations du Royaume-Uni répartis en mer du Nord a permis d'établir que les données écologiques fournies grâce à la surveillance de la conformité de l'industrie britannique n'étaient pas suffisamment robustes pour que l'on puisse réaliser des analyses efficaces, et que seules les données de 19 des 351 installations couvertes par la base de données étaient normalisées et pouvaient donc être utilisées au cours de l'étude (Henry *et al.* 2017).

En revanche, des données de SEE robustes et à long terme ont été obtenues pour plusieurs champs en production au large dans l'Atlantique canadien, des programmes de SSE obligatoires étant exécutés régulièrement (selon le projet) pendant la durée de vie du champ en production. Des rapports sur les résultats de ces programmes sont accessibles au public. La conception initiale du programme de SEE s'est effectuée avec la participation du MPO, d'Environnement et Changement climatique Canada (ECCC), de représentants du milieu universitaire, de consultants, de représentants de l'industrie et des offices des hydrocarbures extracôtiers. Tous les programmes de SEE débutent par un levé de référence servant à la conception AACI (avant-après, contrôle de l'impact) avant le début des activités. Les paramètres du SEE sont définis en fonction de chaque projet, les composantes englobant les sédiments (p. ex. taille des particules, endofaune, caractéristiques physiques et chimiques), l'eau (caractéristiques physiques et chimiques) et le biote (p. ex. toxicité, benthos, poissons, charge corporelle, histopathologie). Les programmes de SEE actuels ne surveillent pas explicitement l'atteinte des objectifs de conservation des espèces et des habitats benthiques et, bien qu'il n'existe pas de structure officielle de SEE en ce qui concerne les puits d'exploration, il est possible d'effectuer une surveillance et un suivi des forages d'exploration pour évaluer l'efficacité des mesures d'atténuation et vérifier l'exactitude des prévisions (p. ex. modélisation de la dispersion des boues et des déblais de forage).

Les offices des hydrocarbures extracôtiers de l'Atlantique canadien reconnaissent le rôle que joue le SEE dans l'amélioration des méthodes et des processus employés dans les activités pétrolières au large. L'OCTNLHE et l'OCNEHE participent activement à l'amélioration progressive des techniques et protocoles de SEE, évaluant les résultats et les enjeux associés à chaque programme de suivi et intégrant ces leçons retenues pour améliorer les programmes de SEE subséquents (OCENHE 2018).

LEVÉS SISMIQUES

Les levés sismiques reposent sur l'utilisation de sources d'énergie produites artificiellement (canons à air) pour révéler la géologie souterraine et relever les réservoirs potentiels de pétrole et de gaz, ce qui accroît de façon considérable les taux de succès dans la localisation de réservoirs commercialement viables. Les canons à air sont remorqués derrière un navire hydrographique et envoient de l'air comprimé dans l'eau à des intervalles réguliers, générant des ondes sonores à haute énergie et à basse fréquence (la fréquence de la plupart des sons produits se situe entre 10 et 300 Hz) (Carroll *et al.* 2017) qui se déplacent dans l'eau et sur le fond marin. L'énergie sonore se réfléchit sur les couches rocheuses et est enregistrée par des hydrophones sensibles (flûtes sismiques), lesquels sont également remorqués derrière le navire hydrographique. Un traitement informatique permet ensuite de convertir les signaux sonores en données sismiques, créant des images en deux ou trois dimensions des caractéristiques géologiques de la subsurface.

Selon l'information requise, les données sismiques peuvent être acquises en deux dimensions (zone plus étendue) ou en trois dimensions (meilleure résolution) ou lors de levés en azimuth large (données sismiques à décalage plus lointain) (Amec Foster Wheeler 2016). De l'énergie sonore sismique est également émise durant le profilage sismique vertical (PSV), qui est effectué une fois que la profondeur visée du puits a été atteinte. Des récepteurs, placés à intervalles réguliers dans le puits, enregistrent l'énergie réfléchi à partir d'une source sismique qui se trouve à la surface pour confirmer et préciser davantage les données sismiques à la surface (nommées « tir de vérification ») (Amec Foster Wheeler 2016).

Le document intitulé *Sound Exposure Guidelines for Fishes and Sea Turtles: A Technical Report prepared by ANSI-Accredited Standards Committee S3/SC1 and registered with ANSI (Popper et al. 2014)* est l'aboutissement des efforts pluriannuels concertés d'un groupe de

travail visant à établir des lignes directrices sur l'exposition sonore applicables à grande échelle pour un vaste éventail de taxons, regroupés selon la manière dont ils détectent les sons. Dans la mesure du possible, des lignes directrices numériques sur l'exposition ont été définies et, lorsque les données étaient insuffisantes pour appuyer une analyse quantitative, on a évalué la probabilité relative de l'occurrence des effets. Les membres du groupe de travail ont indiqué que, bien qu'ils se soient appuyés sur les meilleures connaissances scientifiques disponibles à l'Époque pour rédiger les lignes directrices sur l'exposition sonore, celles-ci devaient être considérées comme provisoires et constituer un domaine de recherche auquel on devrait accorder une priorité élevée (Popper et al. 2014).

Les impacts de l'exposition au bruit sous-marin d'origine anthropique sur les espèces et les habitats benthiques peuvent comprendre la mort; des effets physiques ou physiologiques; des déficiences auditives, des effets de masque ou des réponses comportementales négatives. Le Tableau 2 résume les impacts potentiels du bruit sous-marin sur les poissons⁵.

Tableau 2 : Impacts potentiels du bruit sous-marin d'origine anthropique sur les espèces et les habitats benthiques (modifié à partir de Hawkins et Popper 2017).

Impact	Description des impacts potentiels liés au bruit sur les poissons
Mort	<ul style="list-style-type: none"> • Mortalité immédiate ou dommages tissulaires ou physiologiques qui sont suffisamment graves pour ultérieurement entraîner la mort en raison d'une diminution de l'aptitude phénotypique. • La mortalité peut avoir un impact direct sur les populations d'animaux.
Effets physiques ou physiologiques	<ul style="list-style-type: none"> • Dommages tissulaires ou autres dommages physiques ou effets physiologiques qui sont réversibles, mais qui peuvent amoindrir l'aptitude phénotypique des animaux, les rendre plus vulnérables face à la prédation ou nuire à leur alimentation, à leur croissance ou à leur succès de reproduction tant qu'un rétablissement n'a pas eu lieu.
Déficience auditive	<ul style="list-style-type: none"> • Les modifications à court ou à long terme de la sensibilité auditive (déplacement temporaire ou permanent du seuil) peuvent réduire l'aptitude phénotypique et la survie. • Peut affecter la capacité des animaux de capturer des proies et d'éviter les prédateurs et causer une détérioration de la communication entre les individus, affectant leur croissance, leur survie et leur succès de reproduction.
Effet de masque	<ul style="list-style-type: none"> • Le bruit d'origine anthropique peut rendre difficile la détection de sons d'importance biologique par rapport au bruit de fond. • Le masquage des sons émis par les proies peut entraîner des difficultés d'alimentation, avec des effets sur la croissance. • Le masquage des sons émis par les prédateurs peut entraîner une réduction des taux de survie. • Le masquage des signaux de frai peut réduire le succès du frai et avoir une incidence sur le recrutement.

○ ⁵ Consultez le site [DOSITS](https://dosits.org/) pour obtenir davantage de renseignements sur la propagation sous-marine du son.

Impact	Description des impacts potentiels liés au bruit sur les poissons
	<ul style="list-style-type: none"> Le masquage des sons utilisés pour l'orientation et la navigation peut avoir une incidence sur la capacité de trouver des habitats de prédilection, y compris des aires de frai, ce qui a des conséquences sur le recrutement, la croissance, la survie et la reproduction.
Réponses comportementales	<ul style="list-style-type: none"> On peut observer des réponses comportementales nuisibles à des niveaux de bruit relativement faibles. Le déplacement hors des habitats de prédilection peut avoir des incidences sur l'alimentation, la croissance, la prédation, la survie et le succès reproducteur. Les changements dans les profils de déplacement peuvent affecter les budgets énergétiques et détourner l'énergie normalement consacrée à la production des œufs et à d'autres fonctions vitales. Les migrations vers les aires de frai ou d'alimentation peuvent être retardées ou empêchées, avec des effets néfastes sur la croissance, la survie et le succès reproducteur. La prévention du recrutement et de l'établissement dans les habitats de prédilection peut avoir une incidence sur la colonisation et la taille des populations dans les zones exposées à de hauts niveaux de bruit d'origine anthropique.

Le MPO (2004) a effectué un examen de la documentation portant sur les impacts potentiels du bruit sismique sur les animaux marins et a conclu que « les bruits sismiques émis dans le milieu marin ne sont pas complètement sans répercussions, mais il n'est également pas certain qu'ils résultent en dommages graves et irréversibles pour l'environnement ». Cependant, il a également indiqué que « l'information scientifique disponible sur essentiellement tous les aspects des impacts des bruits sismiques sur les écosystèmes marins était incomplète à divers degrés » (MPO 2004). La documentation récente ne semble pas avoir beaucoup enrichi notre compréhension de la question. Comme Carroll *et al.* (2017) l'indiquent, il existe encore des lacunes importantes dans la documentation scientifique, notamment en ce qui concerne les seuils de bruit et le rétablissement à la suite d'un impact chez la plupart d'espèces de poissons et chez presque toutes les espèces d'invertébrés. On dispose de très peu de données sur les impacts physiques comme les barotraumatismes (dommages aux organes internes) et d'aucunes données sur le masquage des indices sonores naturels. Par ailleurs, les données nous permettant de comprendre les impacts potentiels sur le taux métabolique, la reproduction, le développement des larves, la recherche de nourriture et la communication intraspécifique présentent des lacunes importantes.

La documentation ne comporte que très peu d'études portant sur les invertébrés marins. Nous ne disposons de presque aucune donnée sur la détection des sons par les invertébrés, seul un petit nombre d'études se sont penchées sur les effets comportementaux des bruits d'origine anthropique sur les invertébrés aquatiques, et nous ne savons pas si l'effet de masque se produit chez les invertébrés aquatiques (Hawkins *et al.* 2014). Presque toutes les recherches menées jusqu'à présent sur les impacts du bruit sous-marin d'origine anthropique ont été axées sur la composante de la pression du son (et n'ont présenté des chiffres que pour cette composante) (Carroll *et al.* 2017). Cependant, les invertébrés et bon nombre d'espèces de poissons (notamment celles qui ne possèdent pas de vessie remplie de gaz, comme les

élastomobranches et les invertébrés marins) ne sont sensibles qu'à la composante du son qui est associée au déplacement des particules (Edmonds *et al.* 2016; Solan *et al.* 2016).

Popper et Hawkins (2018) indiquent qu'il est très possible que la composante du champ sonore qui est associée au déplacement des particules soit la cause principale de tous les effets, car les espèces qui présentent des organes remplis de gaz (p. ex. une vessie natatoire) semblent transformer la pression sonore en déplacement de particules. Pour faciliter la compréhension, un animal qui se déplace d'avant en arrière pourrait être qualifié de « comprimé » ou « secoué » dans le contexte des composantes du son, la présence de pression étant équivalente à un effet de compression (p. ex. des organes remplis de gaz) et le déplacement des particules étant équivalente à un effet de secousses (c.-à-d. stimulation directe de l'oreille interne) (Carlson 2017, dans Popper et Hawkins 2018, comm. pers.).

Les levés sismiques donnent lieu à une importante composante de déplacement vertical et horizontal des particules (outre la composante de la pression) lorsque l'énergie acoustique entre en contact avec le fond marin. Ainsi, le déplacement des particules doit faire l'objet de recherches prioritaires si l'on veut comprendre les impacts du bruit sismique sur les espèces benthiques (Hawkins *et al.* 2017). Dans le cadre d'un projet de recherche actuel, on enregistre le paysage sonore naturel et on étudie la propagation du bruit sismique sur la côte est du Canada, avec l'appui du Fonds pour l'étude de l'environnement (FEE), afin « générer de nouvelles connaissances sur l'environnement acoustique naturel de la région ainsi que des modèles exacts des effets de levés sismiques et de valider les modèles du déplacement des particules pour les canons à air sismiques »⁶.

La plupart des études portant sur les poissons et les invertébrés qui sont exposés à des canons à air sismiques sont menées dans des cages ou des réservoirs expérimentaux, et selon des scénarios d'exposition au bruit qui ne simulent pas de façon exacte les conditions dans lesquelles se trouvent les organismes marins durant les opérations sismiques réelles (Carroll *et al.* 2017). Par exemple, les durées d'exposition peuvent ne pas être réalistes, ou la source du bruit peut ne comprendre que la composante de la pression du son et non la composante du déplacement de particules. D'importants retards du développement et des anomalies corporelles ont été constatés chez 46 % des larves de pétoncles exposées en laboratoire à de longues périodes d'impulsions sismiques (de Soto *et al.* 2013). Inversement, une série d'études en laboratoire portant sur des homards n'a pas permis de trouver des preuves de mortalité ou de pathologie macroscopique⁷ flagrante après huit heures d'exposition à des enregistrements de bruits de levés sismiques, et aucune mortalité, pathologie générale ou modification des protéines ou des concentrations de glucose ou de triglycérides sériques n'a été observée sur une période de six mois suivant une exposition à du bruit sismique⁸ (Payne *et al.* 2015).

⁶ [FEE](#)

⁷ En ce qui concerne l'histopathologie, on a observé certaines différences entre le groupe témoin et le groupe expérimental (comme un degré plus élevé de vacuolisation épithéliale et de dilatation tubulaire), et aucun effet n'a été constaté sur les tissus ovariens (un organe sur lequel on attire souvent l'attention) (Payne *et al.* 2015).

⁸ Deux légères différences ont été constatées : le groupe expérimental présentait une concentration de calcium sérique légèrement inférieure, lorsqu'il était normalisé en protéine sérique, mais tout de même statistiquement significative (possiblement en raison d'une concentration élevée, mais pas statistiquement significative, de protéine sérique chez les homards exposés), et le groupe témoin présentait une fréquence plus élevée de maladie de la coquille (Payne *et al.* 2015).

Alors que les études menées sur le terrain peuvent être plus réalistes sur le plan écologique, elles sont compliquées par le manque de prévisibilité de l'environnement, la variabilité spatiotemporelle et la difficulté qu'il y a à trouver et à suivre des organismes individuels (Przeslawski *et al.* 2018). Par exemple, une étude d'exposition au bruit sismique menée sur le terrain sur des pétoncles n'a permis de constater aucune mortalité attribuable à l'exposition sismique (Przeslawski *et al.* 2018), tandis qu'une augmentation significative des taux de mortalité, une perturbation des profils comportementaux (durant et après l'exposition) et des changements physiologiques ont été observés au cours d'une autre étude (Day *et al.* 2017).⁹

Les études donnent à penser que l'exposition à des canons à air sismiques entraîne des impacts physiques, physiologiques ou comportementaux sur les individus ou sur les groupes d'animaux marins. Toutefois, on continue de débattre des impacts potentiels à l'échelle de la population, de la communauté et de l'écosystème (Lee *et al.* 2011a). Si l'on se fonde sur la documentation scientifique actuelle, on ne dispose pas de preuves d'une diminution des prises ou de l'abondance des invertébrés à la suite d'activités sismiques, et les éléments probants concernant les poissons sont contradictoires, les études faisant état d'augmentations, de diminutions ou du maintien au niveau actuel des prises (Carroll *et al.* 2017). Des recherches récentes sur les effets des levés sismiques sur les taux de prises de crabes des neiges le long des Grands Bancs de Terre-Neuve n'ont permis de constater aucun changement mesurable des taux de prises (Morris *et al.* 2018).

On craint que la perturbation des profils comportementaux retarde ou déplace le moment de la migration, du frai et de l'alimentation, ce qui pourrait éventuellement entraîner des impacts à l'échelle de la population si cette perturbation coïncide avec des stades du cycle biologique d'importance écologique comme le frai (Worcester 2006; Boudreau *et al.* 2001). Bien que des réactions de sursaut soient communément signalées dans la documentation, Hawkins et Popper (2017) font remarquer que des réactions de sursaut de brève durée au bruit, qui diminuent rapidement avec l'occurrence répétée de celui-ci ou qui n'aboutissent pas à un changement du comportement global des animaux ne devraient pas avoir d'incidence sur les principales fonctions vitales des animaux ni entraîner un changement des indices vitaux.

Les preuves accumulées lors de recherches récentes donnent à penser que l'exposition au bruit sismique pourrait causer une mortalité importante chez les populations de zooplancton (McCauley *et al.* 2017), laquelle pourrait avoir un impact sur des espèces benthiques compte tenu du rôle essentiel que jouent les communautés de zooplancton pour soutenir les niveaux trophiques supérieurs par le transfert de l'énergie et des matières vers le haut de la chaîne alimentaire¹⁰. L'exposition expérimentale au signal des canons à air s'est traduite par une diminution de l'abondance du zooplancton et a causé une augmentation par un facteur de deux à trois de la mortalité des adultes et du zooplancton larvaire. Bien que la distance d'impact préalablement présumée ait été de dix mètres, des impacts ont été observés jusqu'à 1,2 km (la distance maximale échantillonnée) et, tandis qu'aucun krill adulte n'était présent dans les échantillons, l'ensemble du krill larvaire était mort après le passage du canon à air. McCauley

⁹ Les pétoncles étaient transplantés durant l'étude de Day *et al.* (2017) et in situ durant l'étude de Przeslawski *et al.* (2018). On n'a pas comparé ces deux études en ce qui concerne d'autres variables (p. ex. la profondeur de l'eau, l'intensité sismique et les périodes d'exposition).

¹⁰ Les chaînes alimentaires transfèrent l'énergie et les matières organiques le long des différents niveaux trophiques des organismes marins. Les espèces de zooplancton herbivores (consommateurs primaires) se nourrissent directement d'algues marines, les espèces de zooplancton carnivores (consommateurs secondaires) se nourrissent d'espèces herbivores, et les carnivores (consommateurs tertiaires, y compris bon nombre d'espèces de poissons) se nourrissent de carnivores plus petits (Lalli et Parsons 1997).

et al. (2017) concluent qu'il y a un risque important et méconnu que la fonction et la productivité de l'écosystème océanique subissent les effets négatifs de la technologie actuellement employée pour les levés sismiques. Il convient de noter que cette recherche a été largement et fortement critiquée en raison de sa conception (Richardson *et al.* 2017), de la démarche utilisée pour les analyses statistiques et du fondement de ses conclusions (Martin et Radford 2018).

LEVÉS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Les méthodes sismiques au canon à air permettent de détecter des contrastes dans l'impédance acoustique, tandis que la méthode électromagnétique à source contrôlée (ESC) et la méthode électromagnétique multitransitoire (EMT) permettent de détecter des contrastes dans la conductivité électrique qui aident à identifier les couches qui sont conductrices ou résistantes (car la roche contenant des hydrocarbures affiche une plus grande résistance que la roche contenant de l'eau) (Buchanan *et al.* 2011). Après le déploiement d'un réseau de récepteurs sur le fond marin (habituellement une grille contenant jusqu'à 200 récepteurs espacés les uns des autres de un à trois kilomètres), un navire hydrographique remorque une source électromagnétique qui transmet un champ magnétique, dont les modifications sont détectées par les récepteurs. La méthode ESC employée depuis plus de 30 ans exige que la source soit remorquée à 30 à 50 m au-dessus du fond marin et, en raison des interférences de surface, a été en très grande partie limitée à des profondeurs supérieures à 300 m. Inversement, les systèmes de EMT récemment mis au point peuvent être remorqués près de la surface et utilisés tant dans les profondeurs que dans les eaux peu profondes.

On prévoit que les progrès technologiques permettront aux systèmes ESC et EMT de remorquer les sources et les réseaux de récepteurs près de la surface, comme dans le cas des levés sismiques (Buchanan *et al.* 2011). Cependant, ces méthodes exigent actuellement le déploiement de plusieurs centaines de récepteurs, qui sont habituellement lestés au moyen d'ancres à sable compacté. Ces ancres descendent dans la colonne d'eau et s'établissent sur le fond marin, affectant potentiellement les espèces et les habitats benthiques par mortalité directe (écrasement) ou en raison de la sédimentation locale. Les récepteurs sont récupérés à la suite du relevé quadrillé, tandis que les ancres à sable demeurent sur place, se dégradant sur une durée d'un an (LGL Limited 2014).

Les méthodes ESC et EMT produisent toutes deux des ondes électromagnétiques modulantes qui peuvent avoir une incidence sur le biote marin. Bien que l'on sache que bon nombre d'animaux peuvent détecter les champs magnétiques et y réagir, ou les utiliser de diverses manières, on ne sait presque rien des mécanismes opérationnels réels utilisés pour acquérir, traiter et utiliser des données magnétiques et, sans ces connaissances, il est impossible de prévoir les impacts potentiels de la perturbation magnétique (Claisse *et al.* 2015a). Cependant, d'après un examen (bien que limité) de la documentation scientifique liée aux effets potentiels des champs magnétiques émis par les câbles sous-marins sur les organismes marins, Baruah (2016) a conclu que nous ne disposons pas de suffisamment de preuves empiriques de l'existence d'un effet biologique néfaste significatif des champs électromagnétiques sur les organismes marins.

LEVÉS SUR LE FOND MARIN

Avant de forer un puits, on effectue des levés pour relever les caractéristiques du fond marin et les conditions de subsurface qui sont susceptibles d'interférer avec les opérations de forage des puits (c.-à-d. géorisques) et pour caractériser le fond marin et l'habitat benthique. Les levés sont habituellement effectués en utilisant la sismique numérique à haute résolution à deux dimensions (HR2D), qui est semblable à un programme sismique standard à deux dimensions, mais dont les impacts sont probablement réduits par rapport à la sismique standard à deux

dimensions car elle utilise une source ou un dispositif comportant un faible volume d'air comprimé. Parmi les autres techniques de collecte de données figurent l'utilisation de sonars à balayage latéral, le profilage sous le fond, l'utilisation d'échosondeurs multifaisceaux ou l'imagerie par caméra.

Les levés sur le fond marin peuvent aussi comprendre le prélèvement d'échantillons du fond marin grâce à des levés géotechniques (p. ex. carottage, vibrocore, pénétromètre à cône) et l'échantillonnage environnemental visant à caractériser l'habitat benthique (p. ex. échantillons ponctuels). Les levés qui comportent un contact avec le fond marin peuvent avoir une incidence sur les espèces et les habitats par la mortalité directe, l'étouffement ou l'obstruction des mécanismes d'alimentation par filtrage et des branchies résultant de la sédimentation locale (Järnégren *et al.* 2017; Lee *et al.* 2011a).

FORAGE D'EXPLORATION ET DE DÉLIMITATION DES CHAMPS

Les principaux impacts potentiels du forage d'exploration et de délimitation des champs sur les espèces et les habitats benthiques sont associés à la mise en place d'infrastructure sur le fond marin et au dépôt de boues et de débris de forage sur le plancher océanique ou dans la colonne d'eau, tel que décrit ci-après.

Mise en place et présence d'infrastructure

La mise en place d'infrastructure sur le fond marin (p. ex. ancrs et chaînes d'appareils de forage, appareils de forage auto-élévateurs, têtes de forage, structures gravitaires, systèmes de têtes de puits) peut entraîner l'enfouissement et la perturbation physique ou la mortalité directe (écrasement) dans l'empreinte, et les espèces et habitats adjacents peuvent également subir les répercussions de l'augmentation de l'exposition aux particules résultant de la sédimentation locale (DNV [Det Norske Veritas] 2013). La mise en place de structures sur le fond marin peut écraser les organismes qui se trouvent directement sous les jambes et les mâts de soutien. L'augmentation de la turbidité (concentration des particules en suspension dans la colonne d'eau) dans la colonne d'eau, qui est anticipée durant l'enlèvement/la récupération de l'infrastructure, l'enfouissement et la perturbation du benthos et la remise en suspension des sédiments peuvent obstruer les branchies et affecter les mécanismes d'alimentation par filtrage des poissons et des invertébrés sessiles.

Les appareils de forage semi-submersibles sont habituellement amarrés à l'aide de huit à douze ancrs, auxquelles s'ajoutent des chaînes et des grappins. Ces composants peuvent écraser, blesser ou fragmenter les organismes, les communautés et les habitats benthiques, car ils traînent le long du fond marin tandis qu'ils s'établissent (DNV 2013). La récupération des ancrs est habituellement effectuée à l'aide d'un grappin ou d'un véhicule sous-marin téléguidé (VTG). La récupération par grappin consiste à tirer une ancre grappin le long du fond marin sur habituellement 100 à 150 m (DNV 2013), c'est pourquoi on préfère utiliser des VTG dans les zones benthiques vulnérables (ZBV). Les habitats physiquement fragiles comme ceux qui sont formés par des coraux et des éponges sont particulièrement vulnérables aux impacts directs de la mise en place et de la récupération des ancrs. Les espèces et les habitats benthiques peuvent également subir les répercussions de l'augmentation de la sédimentation locale associée au déploiement et à la récupération des ancrs, ce qui se traduit par la présence d'un couloir d'influence d'une largeur estimée à 50 m (DNV 2013).

Les lignes directrices de l'Association internationale de l'industrie pétrolière pour la sauvegarde de l'environnement (IPIECA) sur la prévention et la gestion des espèces exotiques envahissantes durant les opérations pétrolières et gazières (IPIECA 2010) décrivent comment les espèces indigènes peuvent être touchées par l'encrassement biologique (croissance

biologique sur des structures artificielles dans le milieu aquatique) lorsque les communautés comprennent des espèces exotiques envahissantes. Voici des exemples d'infrastructure et d'équipement qui peuvent être encrassés (IPIECA 2010) :

- coques des navires et éléments de niche (p. ex. cales, systèmes internes de traitement de l'eau de mer);
- jambes des plateformes ou appareils d'exploration et de production, pipelines et câbles ombilicaux sur le fond marin et systèmes de développement sous-marin et têtes de puits;
- équipement auxiliaire qui a été précédemment en contact avec l'eau de mer (p. ex. engins de suivi ou d'échantillonnage, ancres, équipement de sauvetage en cas d'urgence maritime, ballons de défense et bouées).

Bruit sous-marin

Les impacts potentiels du bruit sous-marin d'origine anthropique décrits dans la section portant sur les levés sismiques ci-devant peuvent également résulter d'activités de forage, comme l'installation de têtes de puits et de tubes conducteurs, le battage de pieux et le forage de puits (MPO 2011). Les activités à impact élevé menées sur le fond marin produisent des vibrations du substrat qui se propagent sous la forme d'ondes sonores de compression (longitudinales), transversales (cisaillement) ou à la surface (« roulage au sol » ou interface). Ces dernières peuvent susciter d'importantes préoccupations concernant les espèces benthiques, car les ondes d'interface sont piégées dans l'interface entre le substrat et l'eau, où elles peuvent se déplacer sur des distances considérables (non déterminées), touchant potentiellement les espèces d'épifaune et d'endofaune ainsi que les communautés bien loin de leur source (Roberts *et al.* 2016).

Les ondes d'interface produisent d'importantes composantes de déplacement vertical et horizontal des particules au sein du substrat (Hawkins *et al.* 2014). Comme les animaux marins qui vivent près du substrat ou à l'intérieur de celui-ci sont principalement sensibles à la composante du son concernant le déplacement des particules (Edmonds *et al.* 2016), les ondes d'interface peuvent revêtir une importance considérable pour les espèces et les habitats benthiques. Certaines espèces d'endofaune jouent un rôle important dans la structuration des sédiments, le triage et l'échange d'éléments nutritifs inorganiques et les flux de matières organiques. En conséquence, les impacts directs de la propagation des sons dans le substrat sur les espèces d'endofaune peuvent ensuite toucher d'autres espèces du biote en modifiant les habitats et en perturbant le couplage benthique-pélagique (Popper et Hawkins 2018; Griffiths *et al.* 2017).

Rejets de forage

Le forage d'exploration au large entraîne habituellement le rejet de déchets de forage dans la colonne d'eau ou sur le fond marin (p. ex. fluides ou boues de forage, déblais de forage, ciment en excès, fluides hydrauliques). Les déchets peuvent altérer la qualité de l'eau et affecter les organismes du fait de mécanismes physiques ou chimiques comme l'étouffement, la diminution de l'oxygène, l'enrichissement organique et l'augmentation des concentrations de métaux, et peuvent se traduire par une altération de la densité, de la biomasse et de la diversité des communautés établies sur le fond marin (Cordes *et al.* 2016). Les boues de forage sont un produit liquide à base d'huile, de matière synthétique ou d'eau, auquel on ajoute des microparticules d'argile fine et sèche (bentonite) pour former une suspension colloïdale stable. Différentes composantes sont ajoutées aux boues pour atteindre les propriétés requises à un site donné, comme de la baryte (pour une meilleure densité), des tanins et des lignosulfonates

(pour la fluidification), de la soude caustique (pour le contrôle du pH), des biocides (pour le contrôle de la corrosion) et de la carboxyméthylcellulose ou de l'amidon (pour ses propriétés gélifiantes et son rôle de gâteau de filtration) (West Coast Offshore Exploration Environmental Assessment Panel 1986 *in* Haggarty *et al.* 2003).

D'après la NOROG, l'association norvégienne du pétrole et du gaz, la dispersion visible des particules produites par le forage de la section supérieure du trou sur le fond marin est normalement limitée à 150 m en aval du point de rejet, mais les particules fines en suspension pourraient franchir des distances beaucoup plus importantes et sont occasionnellement visibles jusqu'à 600 m de la tête de puits (DNV 2013). Ellis *et al.* (2012) ont évalué la zone d'influence de la contamination des sédiments et des effets biologiques des boues de forage sur les communautés benthiques en synthétisant les résultats de 26 articles scientifiques et rapports techniques qui ont analysé des échantillons de sédiments prélevés à 72 sites de plateformes de production ou d'exploration. Ils ont établi que les zones d'influence des boues à base d'eau (BBE) et des boues à base synthétique (BBS) (d'après les concentrations de baryum dans les sédiments) s'étendaient sur deux à 20 km et 200 à 2 000 m, respectivement, tandis que les impacts biologiques sur la diversité et l'abondance des communautés benthiques se faisaient sentir sur une distance de 100 à 1 000 m pour les deux types de boues (Ellis *et al.* 2012). D'après leur synthèse de l'information scientifique disponible, Cordes *et al.* (2016) ont établi que les changements écologiques résultant du forage des puits d'exploration et de production ont habituellement été constatés à 200 à 300 m de la tête de puits, avec des concentrations élevées de baryum (fréquemment présent dans les boues de forage) enregistrées à des distances d'au moins un kilomètre.

Fluides et déblais de forage

Les impacts sur les espèces et les habitats benthiques résultant des déblais et des fluides de forage se produisent principalement par les mécanismes suivants (Lee *et al.* 2011a; Hutchison *et al.* 2016) :

- toxicité chimique d'agents polluants ou de produits de la biodégradation;
- conditions anoxiques ou hypoxiques résultant de l'enrichissement organique;
- étouffement;
- effets physiques d'une exposition chronique sur les tissus (même à de faibles concentrations).

Au large de l'Atlantique canadien, les déblais produits avec des BBE peuvent être rejetés en mer, tout comme les déblais des BBS après un traitement reposant sur la meilleure technologie disponible (p. ex. agitateurs, centrifugeuses, sécheurs et souffleurs), avec une cible de rendement de 6,9 g/100 g de matières synthétiques retenues dans les déblais conformément aux *Directives sur le traitement des déchets extracôtiers* (ONE, OCTNLHE, OCNEHE 2010). L'utilisation et l'élimination des boues à base d'huile (BBH) sont limitées dans la plupart des pays du monde, et ne seront approuvées au Canada qu'à de rares exceptions. Le Royaume-Uni et la Norvège ne permettent le rejet au large que des déblais des BBE et des BBE utilisées (Bakkle *et al.* 2013).

Les BBE sont généralement considérées comme étant non toxiques. Toutefois, on a montré que l'exposition à la baryte (une composante principale des BBE) avait des effets toxiques sur les éponges d'eau profonde (Edge *et al.* 2016). Les composantes métalliques et organiques des BBE peuvent s'accumuler dans les tissus, réduisant la croissance et la reproduction, altérant les organismes exposés (pour la consommation humaine) ou entraînant une bioaccumulation

(passage vers le haut de la chaîne alimentaire et ayant un impact sur les espèces prédatrices), même à des concentrations relativement faibles (Lee *et al.* 2011a).

Les BBS sont facilement biodégradables dans les sédiments marins de l'Atlantique dans les conditions environnementales ambiantes (Li *et al.* 2009). Cependant, on ne sait pas si les impacts sur les organismes benthiques sont plus importants selon que les taux de biodégradation sont rapides ou lents. Tandis qu'une dégradation rapide réduit la durée d'exposition à des substances potentiellement toxiques qui se bioaccumulent, les organismes aérobies des grandes profondeurs peuvent suffoquer en raison de la demande en oxygène plus élevée associée à une dégradation rapide (Lee *et al.* 2011a). Au cours d'une étude menée sur le terrain sur six ans portant sur la macrofaune benthique, on a trouvé que la dégénérescence microbienne des BBS (alpha oléfine linéaire, fluide de forage non aqueux) entraînait de l'hypoxie, avec un rétablissement évident des conditions chimiques et biologiques à 200 m ou plus d'un puits d'exploration 33 mois après la fin du forage (Tait *et al.* 2016).

La plus grande partie des boues de forage s'établit rapidement et s'accumule sur le fond marin. Cependant, la remise en suspension et le dépôt ont tendance à aboutir à une concentration des matériaux fins et des particules en suspension près du fond marin avant qu'ils ne soient dispersés par les courants, ce qui entraîne des taux de sédimentation accrus, une diminution de l'oxygène dans les sédiments, la modification de la taille des grains sédimentaires et l'augmentation de la turbidité dans la colonne d'eau (Muschenheim et Milligan, 1996). L'étouffement des organismes benthiques sessiles ou qui se déplacent lentement est plus vraisemblable dans les zones affichant une faible énergie, et les boues et les déblais rejetés tendent à s'accumuler près du point de rejet, tandis que, dans les milieux à forte énergie, ces déchets de forage se dispersent généralement rapidement sur une zone plus étendue (Lee *et al.* 2011a).

Haggarty *et al.* (2003) notent que les études portant sur les effets biologiques des boues de forage ont principalement concerné les pétoncles, compte tenu de leur valeur commerciale sur la côte atlantique (banc de Georges) et de leur vulnérabilité en raison de leur habitat benthique, de la mobilité limitée des juvéniles et de leur mode d'alimentation par filtrage dans la couche benthique limite où les concentrations de déchets de forage sont les plus élevées. Étant donné que la baryte et la bentonite ne sont pas considérées comme étant hautement toxiques pour les pétoncles, les études se sont concentrées sur les effets sublétaux (p. ex. effet néfaste sur la croissance) apparemment causés par la présence de particules inorganiques fines qui affectent les mécanismes d'alimentation (Crawford *et al.* 2002). Comparés à ceux de la bentonite, les impacts observés de la baryte sur la croissance des pétoncles ont des concentrations beaucoup plus faibles (pour des raisons que l'on ne comprend pas), et la baryte semble avoir une incidence sur les organismes marins au-delà de ce à quoi on pourrait s'attendre d'après sa toxicité théorique (Crawford *et al.* 2002).

On a constaté une mortalité significative chez des larves de coraux (*Lophelia pertusa*) d'eau froide exposées durant 24 heures à une charge sédimentaire accrue de déblais de forage (Järnegren *et al.* 2017). Les cils larvaires se sont obstrués, empêchant les larves de nager activement, ce qui pourrait avoir des conséquences plus importantes étant donné que les larves de bon nombre d'espèces utilisent leurs cils pour nager et s'alimenter. Les auteurs de l'étude concluent que, bien que *L. pertusa* adulte puisse survivre (au moins temporairement) dans des conditions de charge sédimentaire extrême, la totalité ou une partie de la cohorte peut être perdue si le rejet des déblais se produit durant le stade de développement larvaire (Järnegren *et al.* 2017).

On ne peut pas généraliser la tolérance à l'enfouissement à la plupart des espèces, car on a montré que les réponses étaient très spécifiques aux espèces (Hendrick *et al.* 2016; Hutchison

et al. 2016). Après le rejet de BBE et de déblais durant les forages d'exploration au champ gazier Minerva, Currie et Isaacs (2005) ont signalé une diminution de la densité des populations évidente à une distance allant jusqu'à 200 m de la tête de puits, et la densité des phylums les plus abondants (crustacés et polychètes) déclinaient de 45 à 73 % à tous les sites dans un rayon de 100 m de la tête de puits. Les changements significatifs des communautés du microbiote sédimentaire pourraient ne pas s'étendre au-delà de l'amas de déblais visible. Nguyen *et al.* (2018) ont identifié trois groupes de bactéries qui étaient confinés presque exclusivement dans les deux centimètres supérieurs d'un amas de déblais provenant des BBE résultant du forage d'un puits d'exploration dans la mer de Barents, ce qui donne à penser que ces bactéries pourraient servir de bioindicateurs précieux, tant pour l'étendue spatiale que pour la persistance des déchets de forage rejetés.

Le dépôt de boues et de déblais de forage peut également avoir une incidence sur les processus écosystémiques, comme l'enfouissement et l'alimentation de l'endofaune, qui jouent un rôle clé dans la régulation des niveaux d'oxygène sédimentaires et dans la redistribution et la décomposition des matières organiques. Au cours d'une recherche récente portant sur le remaniement des sédiments dans les déblais de forage à base d'eau, on a montré une réduction significative du transport des particules sédimentaires vers l'aval et de la profondeur maximale de mélange (Tranum 2017).

Le rétablissement après le dépôt de fluides et de déblais de forage dépend de l'ampleur de l'impact et est fortement tributaire de facteurs liés à la biologie des espèces, comme la sensibilité et la résilience face aux perturbations, les taux de recrutement et la longévité. Certaines espèces benthiques peuvent se rétablir relativement rapidement après les impacts des activités de forage, par exemple, Tranum *et al.* (2011) ont observé la recolonisation de communautés de macrofaune sur des sédiments surmontés de déblais contenant des BBE dans les six mois suivant le forage. Inversement, chez les espèces qui affichent une croissance lente, une longue durée de vie et un recrutement variable, comme les coraux d'eau profonde et les communautés de filtrage froid, le rétablissement peut exiger un temps considérable (Fisher *et al.* [2014] ont estimé que le rétablissement de coraux d'eau profonde à la suite de l'explosion de la plateforme Deepwater Horizon exigerait des siècles ou des millénaires). Le rétablissement peut également être entravé par la persistance de rejets dans l'environnement, comme cela a été montré à des sites de puits sur un gisement d'éponges d'eau profonde (Jones *et al.* 2012). En effet, on a constaté un rétablissement partiel de la mégafaune entre trois et dix ans après une perturbation dans des zones où des déblais de forage s'étaient érodés, tandis que peu d'espèces de mégafaune (p. ex. éponges, échinodermes, cnidaires) ont été signalées même dix ans après un forage dans une zone qui était demeurée couverte par des déblais de forage¹¹ (Jones *et al.* 2012).

FORAGE DE DÉVELOPPEMENT ET PRODUCTION

Comparativement aux forages d'exploration, les forages de développement et la production sont généralement considérés comme présentant des risques accrus d'impacts sur les espèces et les habitats benthiques en raison du surcroît d'activités, d'une empreinte plus importante sur le fond marin et de durées plus longues. Les forages de développement nécessitent une infrastructure supplémentaire, comme des plateformes, des pipelines et des conduites d'écoulement différents ou plus nombreux. Ils comprennent généralement le forage de plusieurs puits, qui s'accompagne de plus grandes quantités de boues et de déblais de forage et de rejets résultants. La production entraîne également le rejet en mer de grandes quantités d'eau

¹¹ Probablement attribuable à la présence de ciment (Jones *et al.* 2012).

produite traitée, ce qui accroît potentiellement le risque de toxicité aiguë et d'impacts sur les espèces et les habitats benthiques en raison de l'exposition chronique à des concentrations plus faibles de contaminants (Boudreau *et al.* 2001). L'infrastructure utilisée pour la production peut altérer les habitats disponibles en introduisant la connectivité des habitats, et en introduisant un paysage vertical complexe de matériaux inertes (p. ex. jambes de plateformes) et du substrat dur (p. ex. pipelines et conduites d'écoulement). Cependant, ces perturbations peuvent être d'amplitude limitée dans le contexte du présent examen, car les zones pour lesquelles des objectifs de conservation des espèces et des habitats benthiques ont été définis sont souvent des zones caractérisées par une complexité structurelle élevée. Cette altération de l'habitat peut avoir des effets positifs chez les espèces indigènes (Claisse *et al.* 2015b), mais elle peut profiter également aux espèces envahissantes (Sheehy et Vik 2010).

Mise en place et présence d'infrastructure

Les impacts potentiels de la mise en place d'infrastructure durant la phase de production sur les espèces et les habitats benthiques sont semblables à ceux qui sont décrits dans le cas des forages d'exploration. Cependant, les impacts peuvent s'amplifier à cause des exigences significativement plus élevées en matière d'infrastructure et de la plus grande empreinte sur le fond marin (plateformes différentes ou plus nombreuses, nombre plus élevé de puits, trous de forage de plus grand diamètre, pipelines et conduites d'écoulement de plus grand diamètre, immersion de roches pour sécuriser ou pour stabiliser les plateformes ou les pipelines, etc.). En outre, dans les régions qui sont propices à l'affouillement d'icebergs (p. ex. les Grands Bancs de Terre-Neuve), on protège l'équipement sous-marin en l'installant dans des centres de forage excavés, renforcés sous le fond marin. Une zone¹² est draguée à neuf à onze mètres sous le niveau actuel du fond marin, et le matériel de dragage est rejeté sur le plancher océanique dans une zone d'immersion des déblais de dragage approuvée. Lors de la mise en place d'un pipeline, il peut être nécessaire de l'enrober par projection de sédiments ou déversement de gravier, et les espèces et les habitats benthiques se trouvant dans l'empreinte sont alors directement touchés par écrasement, tandis que les espèces et les habitats benthiques se trouvant à proximité subissent des impacts associés à la charge sédimentaire résultant de la remise en suspension de particules fines dans la colonne d'eau. La NOROG gaz estime que le couloir d'influence de l'installation d'un pipeline est d'une largeur de 100 m pour les structures de coraux et d'éponges ainsi que pour d'autres espèces sensibles à la charge en particules (DNV 2013).

La présence d'infrastructure de production (notamment les plateformes) contribue à introduire du substrat dur et des matériaux inertes dans la colonne d'eau, ce qui peut offrir une structure pour les espèces formant des récifs (Claisse *et al.* 2015b). Au cours d'une évaluation de la production secondaire par unité de surface du plancher océanique à des plateformes pétrolières et gazières qui se trouvaient au large de la côte de la Californie, Claisse *et al.* (2014) ont constaté que la production secondaire des communautés de poissons était la plus élevée parmi tous les écosystèmes marins pour lesquels des estimations semblables existent, avec de hauts niveaux d'établissement de larves et de juvéniles pélagiques. Les plateformes offrent des habitats de matériaux inertes dans la colonne d'eau, avec un rapport élevé entre la surface de la structure et la surface du fond marin, ce qui offre aux poissons démersaux juvéniles et

¹² Les dimensions sont variables, par exemple environ 45 m de largeur par 80 m de longueur (dimension maximale de la base), avec un côté incliné vertical et trois côtés inclinés horizontaux (Husky Energy 2012).

adultes un habitat substantiel complexe dont l'empreinte est « relativement faible » sur le fond marin (Claisse *et al.* 2014).

La mise en place de conduites d'écoulement et de pipelines sur le fond marin ajoute également du substrat dur, lequel peut soutenir l'épifaune sessile, attirer des organismes benthiques mobiles ou augmenter la connectivité des habitats (Atchison *et al.* 2008). Bien que cela puisse avoir des effets positifs pour des espèces indigènes, cela peut également introduire ou soutenir la propagation d'espèces envahissantes (Sheehy et Vik 2010). Les résultats d'une étude portant sur la diversité et l'abondance des poissons au niveau de deux pipelines sous-marins australiens (60 à 80 m et 120 à 130 m de profondeur) indiquent que les pipelines pourraient, non seulement attirer, mais aussi accroître les stocks de poissons (McLean *et al.* 2017). Des milliers de poissons au stade larvaire non identifiés ont été observés, outre les 92 espèces de poissons juvéniles, subadultes et adultes, et on a constaté une corrélation positive importante entre l'abondance des poissons et la prévalence et la complexité élevée de gisements d'éponges (à une profondeur de 60 à 80 m) et de coraux d'eau profonde (à une profondeur de 120 à 130 m), ce qui donne à penser que ces habitats pourraient représenter une source importante de nourriture et d'abri, tant pour les poissons que pour les invertébrés dont ils se nourrissent (McLean *et al.* 2017).

McLean *et al.* (2017) ont observé que bon nombre d'espèces semblaient utiliser des sections de pipeline sans support (travées) comme refuges, car ces structures étaient associées à une plus grande abondance (pour les deux pipelines) et diversité (pour le pipeline de 60 à 80 m) du poisson. De même, dans le cadre d'une étude portant sur les changements sédimentaires induits par le transport à l'enrobage des travées d'un pipeline sous-marin, Leckie *et al.* (2016) ont observé des ouvertures des travées à plusieurs points le long du pipeline, qui semblaient avoir été effectuées par la faune marine, plus vraisemblablement les poissons, et ils soupçonnent que ces ouvertures pourraient être attribuables à la bioturbation (directe et par creusement et enfouissement délibéré), par la nage ou par la construction progressive de tunnels quand les poissons se nourrissent d'invertébrés adjacents au pipeline ou en dessous de ce dernier. McLean *et al.* (2017) font remarquer que, même si les travées de pipeline peuvent offrir un habitat important, il faut mener d'autres études (y compris des levés hors pipeline) si l'on veut déterminer de façon concluante leur valeur écologique.

Il est important de noter que les études susmentionnées comparent principalement les habitats hautement complexes qui se forment le long des pipelines aux habitats beaucoup moins complexes, faits principalement de fonds meubles, du plancher océanique adjacent. Comme les zones pour lesquelles des objectifs de conservation des espèces et des habitats benthiques ont été définis comportent en grande partie des habitats complexes, dans le contexte du présent examen, ces effets positifs potentiels pourraient être inexistantes, minimales ou outrepassés par des effets néfastes connexes.

Bruit sous-marin

Les impacts potentiels du bruit sous-marin d'origine anthropique sur les espèces benthiques durant les forages de développement et la production pourraient être les mêmes que ceux décrits pour les levés sismiques et les forages d'exploration. Cependant, il pourrait y avoir des risques d'impact accrus en raison de l'exposition chronique au bruit sous-marin du fait de la durée plus longue de ces activités. Le bruit sous-marin d'origine anthropique aigu (levés sismiques et battage de pieux) peut certes affecter les espèces benthiques, mais Solan *et al.* (2016) énoncent que le risque le plus important pesant sur les populations et les écosystèmes pourrait résulter d'expositions chroniques, comme l'exposition au bruit associé au trafic maritime. Les navires et les appareils de forage à positionnement dynamique (PD) maintiennent leur position grâce à l'utilisation de propulseurs (turbines à hélice motorisées). Alors qu'un

navire en transit représente une source de bruit temporaire pour un récepteur individuel, les propulseurs à PD sont une source de bruit sous-marin constant à un emplacement donné, car ces propulseurs sont conçus pour fonctionner en continu (ABS 2013).

Des études en bassins sur l'exposition à une lecture de bruit émis par un bateau ont permis d'observer une diminution du développement d'embryons de lièvres marins (un invertébré marin) de 21 %, une mortalité accrue des larves récemment écloses de 21 % (Nedelec *et al.* 2014) et une augmentation du métabolisme (un signe de stress susceptible de réduire la croissance) du crabe des rivages (Wale *et al.* 2013). En outre, des données indiquent que le bruit sous-marin chronique découlant de la navigation et des activités de construction au large peut modifier la contribution des invertébrés qui vivent dans les sédiments au transport des fluides et des particules, qui est un processus clé dans la régulation du cycle des éléments nutritifs benthiques (Solan *et al.* 2016).

Rejets de forage

Les forages de développement produisent de plus grandes quantités de rejets de forage (boues et déblais de forage, eau produite) que les forages d'exploration, et le traitement de l'eau produite exige généralement l'utilisation de produits chimiques supplémentaires qui ne sont pas utilisés dans le cas des forages d'exploration. L'étendue spatiale de la dispersion des boues et déblais de forage est semblable lorsqu'on ne considère qu'un seul puits d'exploration et un seul puits de développement. Cependant, un plus grand nombre de puits et d'aires de dépôt sont utilisés durant les forages de développement, ce qui entraîne une augmentation du volume des boues de forage et des durées plus longues.

Fluides et déblais de forage

On a analysé les charges corporelles de métaux et d'hydrocarbures chez le pétoncle d'Islande et la plie canadienne, et des essais de goût ont été menés pour déceler toute altération par des odeurs sur une période de dix ans dans le cadre du programme de suivi des effets environnementaux (SEE) appliqué au projet pétrolier Terra Nova au large de Terre-Neuve, au Canada (DeBlois *et al.* 2014a). DeBlois *et al.* (2014a) ont conclu que, d'après l'analyse et en combinaison avec une étude parallèle sur les poissons bioindicateurs (Mathieu *et al.* 2011), il y a eu peu ou pas d'effet biologique détectable des activités de Terra Nova sur le pétoncle d'Islande et la plie canadienne.

Des essais de toxicité des fluides de forage à BBS utilisés à Terra Nova (mélange d'iso-alcanes synthétiques à faible toxicité) menés en laboratoire (DeBlois *et al.* 2014b) ont montré qu'il n'y a pas de toxicité aiguë lorsque les concentrations d'hydrocarbures se situent en deçà de 1 900 mg/kg (Payne *et al.* 2001). Cependant, les données sur les invertébrés benthiques recueillies par Terra Nova donnent à penser qu'il y aurait des seuils à des concentrations d'hydrocarbures inférieures. Ces résultats de terrain (y compris les réponses retardées chez les Phyllocoridae et les Tellinidae) peuvent refléter des effets sublétaux chroniques ou des effets indirects comme l'enrichissement organique sur les communautés benthiques (Paine *et al.* 2014).

Les programmes de SEE annuels des activités de production de gaz naturel au large de la Nouvelle-Écosse, à Deep Panuke, et au projet énergétique extracôtier de l'île de Sable (SOEP) ont permis de constater de façon continue moins d'effets négatifs que ce qui avait été prévu. Un panache de déchets de forage n'a été détecté qu'à une occasion, et semblait être composé de matières plus légères et être de plus brève durée que ce qui avait été prévu par modélisation, et, sur les 24 paramètres d'essai chimique sur les métaux qui étaient surveillés dans les sédiments au projet SOEP, on n'a détecté de concentrations élevées que pour les hydrocarbures pétroliers totaux et pour le baryum (dans les amas de boues et de déblais de

forage déposés sur le fond marin). De plus, ces composés ne s'étaient dispersés que sur 500 m et étaient revenus à leur concentration de base dans les quatre ans après le forage (OCNEHE 2018).

Des changements écologiques résultant de l'exposition à des BBE ont été détectés à Terra Nova jusqu'à un à deux kilomètres de la source de rejet, y compris des effets d'enrichissement qui ont été observés chez certains taxons tolérants (p. ex. polychètes [famille des Phyllodoceidae] et bivalves [famille des Tellinidae]) et une diminution de l'abondance de taxons sensibles (polychètes [familles des Orbiniidae et des Paraonidae]) (Paine *et al.* 2014). Les zones d'influence des rejets de forage aux BBE et BBS, telles qu'évaluées par Cordes *et al.* (2016) et par Ellis *et al.* (2012), sont décrites dans la section ci-devant portant sur les rejets de forages d'exploration.

Eau produite

L'eau produite constitue généralement le flux de déchets le plus important résultant de la production pétrolière et gazière au large, des dizaines de millions de barils étant rejetés quotidiennement dans la mer (Lee *et al.* 2011a). Au Canada, l'eau produite doit être traitée avant son rejet, de façon à réduire son contenu en hydrocarbures pour qu'il atteigne des niveaux acceptables, conformes aux *Directives sur le traitement des déchets extracôtiers* (ONE, OCTNLHE et OCNEHE 2010). Les processus de séparation de l'huile et de l'eau permettent d'enlever une quantité importante d'huile dispersée sous la forme d'huile libre et de plus grosses gouttelettes d'huile. Toutefois, l'huile dissoute est plus difficile à enlever, et de petites gouttelettes, ou huile émulsionnée, sont rejetées en même temps que l'eau (Zheng *et al.* 2016). La composition de l'eau produite varie selon le type de réservoir, son âge et sa gestion. Outre les substances organiques et inorganiques provenant des formations géologiques, l'eau produite contient différents additifs et produits chimiques de traitement qui sont introduits durant les processus d'extraction et de production. Les constituants peuvent être de l'eau de mer, des sels organiques dissous, des hydrocarbures dissous et dispersés, des minéraux dissous, des métaux à l'état de traces, des substances radioactives naturelles, des produits chimiques de production et des gaz dissous (Bakke *et al.* 2013).

Il est difficile de mener des recherches sur les impacts potentiels de l'eau produite. Les constituants et les caractéristiques de l'eau produite sont entièrement propres aux sites. L'échantillonnage dans la colonne d'eau est compliqué par la nature turbulente des panaches (habituellement rejetés par les conduites à une profondeur de dix à 60 m sous la surface de l'eau). En outre, les constituants affichent des réactions chimiques cinétiques complexes après leur rejet, lesquelles modifient le comportement et la toxicité des produits chimiques (Lee *et al.* 2011a). Cependant, en ce qui concerne les développements extracôtiers dans l'Atlantique canadien, la toxicité aiguë est considérée comme étant improbable au-delà des environs immédiats de la source du rejet étant donné les volumes habituellement rejetés et la dispersion et la dégradation rapides des panaches (Lee *et al.* 2011a; Neff *et al.* 2011).

Les rejets d'eau produite dans les eaux estuariennes et marines peu profondes peuvent entraîner une accumulation dans les sédiments de certains métaux et d'hydrocarbures aromatiques et saturés de poids moléculaire plus important, et l'on peut observer des concentrations plus élevées d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans les sédiments superficiels jusqu'à quelques centaines de mètres des rejets de volumes élevés d'eau produite au large et dans des eaux estuariennes bien mélangées (Neff *et al.* 2011). Les concentrations de sédiments métalliques et contenant des hydrocarbures qui en résultent dépendent du volume et de la densité de l'eau produite rejetée, de la profondeur de l'eau et du régime de mélange local; les programmes de SEE au large permettent généralement

d'observer des concentrations de métaux toxiques dans la colonne d'eau et dans les sédiments qui se situent légèrement au-dessus des concentrations de base naturelles (Neff *et al.* 2011).

Pour évaluer la santé des poissons avant et après le rejet d'eau produite au site de développement pétrolier extracôtier de Terra Nova, on a évalué des bioindicateurs chez la plie canadienne de fond (*Hippoglossoides platessoides*). Ceux-ci étaient généralement absents ou semblables entre le site de référence et les sites du développement, ce qui donne à penser que le projet n'aurait pas d'effets importants sur la plie canadienne (Mathieu *et al.* 2011). Des recherches portant sur les effets de l'eau produite traitée sur la moule bleue (*Mytilus edulis*) ont montré la présence de réponses sublétales importantes après cinq semaines d'exposition à de l'eau produite diluée dans de l'eau de mer (à des concentrations oscillant entre 0,01 et 0,5 %), même si certains composés chimiques se trouvaient à des concentrations extrêmement faibles, tant dans l'eau que dans les tissus des moules (Brooks *et al.* 2011).

Crawford *et al.* (2002) décrivent une étude menée conjointement par la Norvège et par la Suède qui consistait à examiner les effets sublétaux d'alkylphénol (un constituant naturel de l'eau produite) chez la morue (*Gadus morhua*) pour des charges corporelles de 1 à 10 mg/g (d'après une simulation de l'accumulation théorique à proximité des plateformes). Les auteurs ont observé une altération de la reproduction chez les mâles (p. ex. diminution des niveaux de testostérone et de la production de sperme) et chez les femelles (p. ex. diminution de la taille des œufs, retard du frai de trois semaines).

Le succès de la fertilisation et de l'éclosion chez la morue franche (*Gadus morhua*) était amoindri après 24 heures d'exposition à de l'eau produite à deux sites de production gazière au large de la côte est (Venture et Thebaud), tandis que les poissons aux stades biologiques précoces (larves et juvéniles) n'étaient pas affectés par une exposition à court terme à des concentrations d'eau produite pertinentes sur le plan environnemental (Courtenay *et al.* 2013). Courtenay *et al.* (2013) concluent que le rejet d'eau produite dans les eaux de la plate-forme Néo-Écossaise et sur le bord des Grands Bancs, deux zones hautement productives qui sont fréquentées par des morues affichant l'abondance la plus élevée dans les eaux canadiennes, pourrait présenter un risque pour les morues juvéniles, et que les effets d'expositions chroniques à de faibles niveaux d'eau produite sur des espèces marines d'importance comme la morue pourraient n'apparaître qu'après la surveillance des poissons à différents stades biologiques. Ils ajoutent qu'aux stades biologiques précoces (œufs, larves et juvéniles), les morues sont vulnérables, car elles n'ont que peu de contrôle sur leurs déplacements à la faveur des courants océaniques et pourraient être incapables d'éviter de se trouver piégées dans un panache d'eau produite dans un champ proche ou dans une plaque ou une poche émanant d'un champ lointain.

Il n'a pas encore été possible de documenter les effets de l'eau produite sur les populations ou les communautés, et on ne dispose de presque aucune information sur les impacts potentiels à long terme de l'eau produite sur les fonctions des populations et des communautés comme la production, la reproduction et les interactions trophiques (Bakke *et al.* 2013). En conséquence, les impacts potentiels et les risques écologiques sont prédits au moyen de modèles complexes du devenir et des effets comme le modèle d'évaluation des risques et des effets liés à la dose. Les résultats de la modélisation donnent à penser que la zone d'influence potentielle de l'eau produite traitée sur les organismes benthiques se limite à un rayon de un à deux kilomètres de l'emplacement du rejet (Cordes *et al.* 2016), et que le risque que les impacts se répandent à grande échelle et à long terme sur les populations, les communautés et les écosystèmes serait

négligeable¹³. Cependant, la modélisation exacte des risques que posent les contaminants est tributaire de l'identification et de la quantification des produits chimiques induisant des effets toxiques. Les facteurs causaux des eaux produites les plus toxiques sont inconnus, mais pourraient être liés à des concentrations extrêmement élevées de solides dissous totaux (salinité), à une modification des rapports entre les principaux ions de l'eau de mer et à des concentrations élevées d'ammoniac (Lee *et al.* 2011a).

Neff *et al.* (2011) indiquent que les effets sublétaux sur les populations et les communautés résultant d'une exposition chronique continue pourraient entraîner une diminution des communautés et de la diversité génétique, une diminution du succès reproducteur, une diminution de la croissance et de la fécondité, des problèmes respiratoires, des troubles comportementaux et physiologiques, une diminution du succès du développement et des perturbations endocriniennes. De tels impacts pourraient ne devenir évidents qu'après une surveillance à plusieurs stades biologiques, sur des générations d'espèces clés ou des effets écologiques à long terme (Lee *et al.* 2011a; Neff *et al.* 2011).

EFFETS CUMULATIFS

Les effets cumulatifs sont « les changements subis par l'environnement en raison d'une action, combinée à d'autres actions humaines passées, présentes et futures » (Hegmann *et al.* 1999). Des impacts cumulatifs peuvent résulter d'une seule activité humaine produisant plusieurs facteurs de stress, de plusieurs activités humaines produisant un facteur de stress commun ou de plusieurs activités produisant plusieurs facteurs de stress sur une série de composantes écologiques (Clarke Murray *et al.* 2014). Les principaux types d'effets cumulatifs comprennent les effets additifs (la somme des effets de deux ou plusieurs activités physiques), les effets synergiques (la combinaison résultante de deux ou plusieurs effets est supérieure ou différente de la simple somme des effets), les effets compensatoires (les effets de deux ou plusieurs activités physiques se compensent mutuellement de sorte qu'ils peuvent ne pas être mesurables) ou les effets de masque (les effets d'un projet masquent les effets d'un autre projet (Agence canadienne d'évaluation environnementale 2018).

L'évaluation des effets cumulatifs est essentielle si l'on veut comprendre comment les activités et les facteurs de stress connexes peuvent avoir une incidence sur les écosystèmes dans l'espace (aux échelles locale, régionale et mondiale) et dans le temps (activités passées, présentes et futures prévues). Les analyses portant sur les types d'effets cumulatifs comprennent des évaluations axées sur un projet et des évaluations régionales ou stratégiques. Les évaluations axées sur un projet représentent le type le plus fréquent d'évaluation des effets cumulatifs, et sont habituellement menées dans le cadre d'une évaluation de l'impact sur l'environnement d'un projet. On renvoie le lecteur aux énoncés récents des incidences environnementales des programmes de forage d'exploration proposés pour la zone située au large des côtes de Terre-Neuve et du Labrador pour des exemples d'évaluation complète des effets cumulatifs axées sur un projet¹⁴. Ce type d'évaluation tend à étudier les impacts d'activités entrant dans la portée d'un projet unique, sans que les impacts cumulatifs potentiels de toutes les activités sur toutes les composantes écologiques d'une zone donnée ne soient pris en considération.

¹³ Cependant, Bakke et ses collaborateurs (2013) mentionnent que l'on ne peut pas vérifier cette cote de risque dans la documentation publiée, car les résultats des modélisations n'ont pas encore été validés avec confiance.

¹⁴ [Registre canadien d'évaluation d'impact](#)

Les évaluations régionales permettent d'étudier les effets cumulatifs de tous les projets qui sont menés dans une zone d'intérêt, tandis que les évaluations stratégiques sont axées sur le processus décisionnel stratégique à l'appui du développement ou de la planification durables. Doelle et Sinclair (2018) décrivent la différence entre les évaluations régionales et stratégiques comme suit : « Nous sommes d'avis qu'une évaluation régionale est une évaluation dont les principales caractéristiques descriptives sont la portée régionale et l'accent mis sur la compréhension des interactions entre toutes les activités humaines passées, présentes et futures et le règne naturel dans une zone d'étude donnée. Une évaluation stratégique se distingue d'une évaluation régionale principalement du fait qu'elle est axée sur un ensemble particulier d'activités humaines, soit une politique, un plan ou un programme particulier, sur un enjeu particulier ou sur une industrie ou un secteur de l'économie particulier. Une évaluation régionale, en revanche, concerne toutes les activités humaines qui sont menées dans une zone d'étude donnée » [traduction libre]. [L'OCTNLHE](#) et [l'OCNEHE](#) ont réalisé plusieurs évaluations stratégiques des zones extracôtières de l'Atlantique canadien, et une évaluation régionale devrait être achevée en 2019.

La plupart des recherches sur le milieu marin sont axées sur l'impact de facteurs de stress distincts sur des composantes écologiques, et les recherches sur les effets cumulatifs globaux d'activités humaines sur les écosystèmes marins sont limitées (Clarke Murray *et al.* 2014). La documentation scientifique mettant l'accent sur les effets cumulatifs des activités humaines sur l'habitat benthique tend à prendre en considération plusieurs secteurs (p. ex. le pétrole et le gaz, le chalutage, le dragage, la mise en place de pipelines, les énergies renouvelables) et à évaluer l'étendue spatiale associée aux « pressions » exercées par différentes activités (p. ex. l'étouffement, l'abrasion, l'obstruction et l'enlèvement de sédiments) sur les composantes (Kenny *et al.* 2018; Foden *et al.* 2011; Eastwood *et al.* 2007). Comme le décrivent Eastwood *et al.* (2007), « notre évaluation de la pression est différente d'une évaluation de l'impact, qui nécessiterait que l'on dispose de données sur les composantes et propriétés de l'écosystème et sur la manière dont elles répondent à différentes pressions d'intensité variable. Au lieu de cela, nous avons concentré notre attention sur l'estimation des pressions, et non sur celle des impacts ».

MESURES D'ATTÉNUATION

Avant toutes activités d'exploration et de développement au large, l'exploitant doit proposer une série de mesures d'atténuation, ou de telles mesures sont requises par l'organisme de réglementation comme condition d'autorisation. Ces mesures sont dans l'idéal identifiées et mises en œuvre selon une hiérarchie largement acceptée, soit l'évitement, la réduction, la remise en état/restauration, et la compensation (Banque mondiale 2012). Le document du MPO intitulé *Énoncé de politique sur la protection des pêches* (MPO 2013) fait référence aux principes fondamentaux de la hiérarchie des mesures d'atténuation « d'éviter, de réduire et de contrebalancer » en tant que pratiques exemplaires visant à réduire les impacts sur la biodiversité. Le MPO souligne que les efforts devraient en premier être déployés pour prévenir (éviter) les impacts, puis pour réduire le plus possible (atténuer) les impacts qui ne peuvent pas être évités. Des mesures de compensation sont mises en œuvre pour contrebalancer les impacts résiduels, qui sont ceux qui demeurent après que des efforts ont été entrepris pour éviter et atténuer les impacts.

L'évitement est la mesure d'atténuation la plus efficace disponible, car il consiste à supprimer toutes les voies potentielles des effets en éliminant la possibilité d'interaction. Les stratégies de gestion peuvent comporter un aspect spatial (changement d'emplacement), temporel (changement du moment auquel une activité est menée) et toucher les activités (p. ex. en restreignant ou en interdisant certaines activités ou en modifiant des pratiques). Lorsqu'il n'est pas possible d'éviter les impacts, des mesures d'atténuation peuvent se révéler efficaces. Dans les zones ayant des objectifs de conservation définis, il peut être approprié d'établir des seuils d'impact plus bas et des attentes plus élevées en matière d'évitement et d'atténuation, conformément au principe de précaution¹⁵, étant donné qu'une vulnérabilité plus importante face aux activités anthropiques est, soit inférée, soit explicitement relevée dans ces zones. Conformément à la hiérarchie des mesures d'atténuation, les principales étapes en ce qui concerne les activités d'exploration et de production pétrolière et gazière au large comprennent l'identification et la cartographie des zones benthiques vulnérables (ZBV) au moyen de levés du fond marin à haute résolution, puis l'évitement et la plus grande réduction possible des impacts au moyen de la mise en œuvre de stratégies correspondantes de gestion des risques et de mesures d'atténuation.

Les lignes directrices de la NOROG sur la surveillance des activités de forage dans les zones où se trouvent des coraux d'eau froide (DNV 2013) détaille les nombreuses méthodes et technologies de gestion disponibles pour atténuer les risques que font peser les activités de forage sur les coraux d'eau froide (dont presque toutes peuvent également s'appliquer à d'autres zones pour lesquelles des objectifs de conservation des espèces et des habitats benthiques ont été définis). Ce document très complet se termine par une conclusion simple qui synthétise les recommandations de la NOROG à l'intention des exploitants, lesquelles peuvent être résumées comme suit :

- 1) Étudier les technologies de réduction des risques disponibles pour atténuer les impacts du forage et incorporer celles-ci, au besoin, durant les étapes de planification et de conception.
- 2) Placer la tête de puits à un endroit où elle peut avoir le moins d'impact possible sur la faune sensible préoccupante (tout en maintenant les objectifs du puits et en tenant compte des risques géologiques dans les zones peu profondes).
- 3) Tenir compte de l'impact des ancres et des chaînes d'amarrage lorsqu'on positionne la tête de puits (si l'on utilise un appareil de forage amarré) et mettre en œuvre des mesures d'atténuation supplémentaires, au besoin.

On peut raisonnablement s'attendre à ce que bon nombre de mesures d'atténuation standards, de nouvelles technologies et de stratégies de gestion qui sont actuellement mises en œuvre permettent de réduire les impacts sur les espèces et les habitats benthiques. Cependant, il existe une quantité négligeable de documents scientifiques axés tout particulièrement sur l'efficacité des mesures d'atténuation visant à éviter ou à réduire le plus possible les impacts environnementaux des activités pétrolières et gazières au large. Bien que certaines mesures d'atténuation mises en œuvre aient entraîné des réductions quantifiables et bien documentées

¹⁵ « qu'en cas de risques de dommages graves ou irréversibles à l'environnement, l'absence de certitude scientifique absolue ne doit pas servir de prétexte pour remettre à plus tard l'adoption de mesures effectives visant à prévenir la dégradation de l'environnement » *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* (1999) (L.C. 1999, ch. 33).

des impacts¹⁶, les mesures susceptibles de ne réduire que légèrement les impacts (comme la mise en place préalable des ancrages ou le recours à des sources sismiques plus faibles permettant tout de même d'atteindre les objectifs de l'exploration) n'ont pas fait l'objet d'études ou n'ont pas été documentées dans la même mesure.

La présente section et le tableau sommaire de l'annexe 1 décrivent les principales mesures d'atténuation suivantes, dont la mise en œuvre peut être envisagée pour réduire le plus possible les impacts potentiels des activités d'exploration et de production dans les zones pour lesquelles des objectifs de conservation des espèces et des habitats benthiques ont été définis :

- Atténuation au niveau des levés sismiques.
- Atténuation au niveau du battage de pieux.
- Considérations relatives à l'acquisition d'images du fond marin.
- Planification de l'infrastructure et de distances d'éloignement par rapport aux zones ayant des objectifs de conservation définis.
- Atténuation au niveau des déblais et des fluides de forage.
- Atténuation au niveau des ancrages et des chaînes.
- Atténuation au niveau des pipelines et des conduites d'écoulement.
- Atténuation au niveau de l'eau produite.
- Technologies d'atténuation au niveau du forage et de la production.

ATTÉNUATION AU NIVEAU DES LEVÉS SISMIQUES

L'utilisation de levés sismiques pour localiser des réservoirs de pétrole et de gaz commercialement viables représente un compromis : les levés sismiques ont certes un impact sur les espèces marines, mais leur utilisation permet de réduire le nombre de puits d'exploration devant être forés, ce qui réduit les impacts liés au forage (Amec Foster Wheeler Environment & Infrastructure UK Ltd. 2016).

Il est possible que des mesures d'atténuation puissent réduire les impacts des levés sismiques sur les espèces benthiques, comme la prise en considération de l'information biologique dans la planification (planifier la réalisation des levés de sorte à éviter les périodes de frai importantes des espèces sensibles), le changement de la source du bruit ou la diminution de l'intensité des émissions (Carroll *et al.* 2017). Cependant, on ne peut pas déterminer adéquatement l'efficacité de ces mesures si l'on ne comprend pas bien les seuils d'exposition au son (y compris les composantes de la pression acoustique et du déplacement des particules et en tenant compte des signaux de subsurface) chez les poissons et les invertébrés. En réalité, ces connaissances sont un prérequis pour déterminer si une activité produira vraisemblablement un impact (pour savoir si des mesures d'atténuation seront nécessaires et, dans ce cas, quelle forme et quelle portée elles devraient avoir pour que l'on puisse éviter ou réduire les impacts). Connaître les réponses des animaux aux stimuli potentiels pourrait faciliter la conception de mesures d'atténuation du type et du niveau appropriés. Cependant, compte tenu de l'absence de

¹⁶ Comme le passage très significatif de boues à base d'huile (BBH), qui ont des impacts sur les composantes benthiques sur des distances allant au-delà de 5 km du point de rejet (Olsgard et Gray 1995) à des boues à base synthétique (BBS) ou à base d'eau (BBE), qui affichent une zone d'influence plus faible (100 à 500 m), réduisant ainsi les impacts biologiques et diminuant la persistance (Cordes *et al.* 2016).

données nous permettant d'adopter une démarche mieux ciblée, on peut envisager de prendre les mesures d'atténuation dont le portrait est brossé à grands traits ci-après.

Les mesures d'atténuation qui s'appliquent à toutes les activités sismiques qui s'appuient sur des dispositifs à source d'air dans les eaux marines canadiennes libres de glace sont officialisées et normalisées dans le document du MPO intitulé *Énoncé des pratiques canadiennes d'atténuation des ondes sismiques en milieu marin* (MPO 2008). Tandis que la plupart des mesures décrites visent principalement à réduire les impacts potentiels sur les mammifères marins et les tortues de mer (comme l'établissement et la surveillance d'une zone de sécurité, la surveillance acoustique passive, la montée en puissance et l'arrêt prescrits), les stratégies suivantes peuvent également réduire le plus possible les impacts dans les zones ayant des objectifs de conservation définis (MPO 2008) :

- Un levé sismique doit être planifié de façon à :
 - utiliser la plus faible quantité d'énergie nécessaire pour atteindre les objectifs opérationnels;
 - éviter de disperser une agrégation de poissons reproducteurs à partir d'une aire de frai connue;
 - éviter de détourner une agrégation de poissons de leurs routes ou couloirs migratoires connus si l'on sait qu'il n'y a pas d'autres routes ou couloirs migratoires ou si, en utilisant ces autres routes ou couloirs, l'agrégation de poissons subirait des effets néfastes importants.

L'Union Internationale pour la conservation de la nature (UICN) a élaboré un outil de planification semblable pour orienter l'industrie, les organismes de réglementation et les scientifiques afin qu'ils adoptent des pratiques exemplaires pour réduire les impacts des levés sismiques sur la vie marine (Nowacek et Southall 2016). Bien qu'il soit également centré sur les mammifères marins, le guide présente aussi des mesures d'atténuation susceptibles de réduire les impacts dans les zones pour lesquelles des objectifs de conservation des espèces et des habitats benthiques ont été définis :

- Disposer de moyens systématiques, axés sur l'évaluation des risques, de mener une surveillance efficace et de prendre des mesures d'atténuation.
- Utiliser la plus petite source nécessaire (p. ex. plus faible nombre ou plus faible taille des canons à air) si l'on veut atteindre le but de l'exploration (puissance de la source mise à l'échelle de façon appropriée pour la pénétration requise dans le substrat).
- Modifier la zone faisant l'objet du levé, le moment ou la durée de celui-ci, pour éviter ou réduire les impacts sur les ZBV ou durant les périodes où des espèces formant des habitats sont à des stades biologiques sensibles (p. ex. le frai).
- Éviter les levés redondants dans la même zone (p. ex. envisager des levés menés par plusieurs exploitants – impacts réduits sans que les types et la qualité souhaités des données ne soient compromis).
- Rechercher d'autres sources à plus faible énergie (prise en considération des technologies existantes et nouvelles de levés géophysiques qui pourraient comporter des niveaux de sortie acoustique réduits).
- Assurer le libre accès aux données sur l'environnement dans un délai raisonnable (Nowacek et Southall 2016).

Les progrès des technologies sismiques ont principalement consisté à fournir des données sismiques de haute précision, tout en accroissant l'efficacité des programmes sismiques. On détermine actuellement d'autres sources sismiques marines susceptibles de réduire les impacts du bruit sismique sur le biote sensible. Contrairement au tir à haute pression d'un canon à air, l'emploi de la méthode vibrosismique marine (VM) peut se traduire par la production d'un signal d'amplitude constante, avec des modifications en temps réel de la fréquence, de la durée et de l'amplitude (Duncan *et al.* 2017). Une étude de modélisation comparant les niveaux de sons reçus dans le cadre de la méthode VM et par un dispositif de canon à air a montré que la première produisait des niveaux plus faibles d'exposition au son à large bande et un pic de pression plus bas (Duncan *et al.* 2017). Bien que ces constatations donnent à penser qu'il y aurait des impacts réduits sur les récepteurs marins, Duncan *et al.* (2017) font remarquer que des essais en laboratoire et sur le terrain devraient être menés sur un vaste éventail de taxons sensibles, et qu'on devrait étudier les conditions de propagation (idéalement en parallèle avec la conception et la mise à l'essai des unités de VM) et les réponses comportementales des récepteurs à de faibles niveaux et à des niveaux où des dommages sont probables.

Une meilleure planification et la mise en œuvre d'efforts d'exploration sismique coordonnés pourraient également représenter une stratégie d'atténuation importante. À Terre-Neuve-et-Labrador, Nalcor Energy Oil and Gaz gère les efforts d'exploration à la frontière de la province et dans les bassins d'eau profonde par l'entremise d'investissements directs dans l'acquisition de nouvelles données géoscientifiques. Le fait que cette société d'État dirige la collecte de données sismiques et la distribution de ces données à l'industrie du pétrole et du gaz permet de réduire la nécessité de mener des opérations sismiques répétées au même emplacement par plusieurs entreprises cherchant à collecter leurs propres données et, ainsi, réduit le nombre global d'opérations sismiques.

ATTÉNUATION AU NIVEAU DU BATTAGE DE PIEUX

Le battage de pieux à percussion est l'une des principales sources de bruit sous-marin associée à des activités industrielles. Il engendre des bruits impulsifs à haute énergie qui sont particulièrement préoccupants pour les animaux qui vivent à proximité du substrat ou dans celui-ci (tel que décrit dans les sections ci-devant portant sur les levés sismiques et sur le bruit sous-marin). L'Organe subsidiaire chargé de fournir des avis scientifiques, techniques et technologiques dans le cadre de la Convention sur la diversité biologique du Programme des Nations Unies pour l'environnement propose les mesures d'atténuation suivantes pour réduire les impacts sur les espèces benthiques (PNUE 2012) :

- Enrober la masse frappante d'un manteau (matière isolée acoustiquement) pourrait se traduire par une diminution du niveau de la source de cinq à 25 dB (les plus hautes fréquences sont plus touchées que les basses fréquences).
- Adopter des mesures d'atténuation spatiales et temporelles obéissant au principe de précaution (p. ex. ne pas effectuer de battage de pieux à proximité de zones abritant des espèces et des habitats sensibles, et éviter les périodes où les animaux sont à des stades biologiques sensibles, comme le frai).
- Envisager d'effectuer du battage de pieux hydraulique, car cette technique entraîne des émissions de bruit plus faibles, qui sont près des niveaux de bruit ambiant en mer (< 100 dB re 1µPa).

ACQUISITION D'IMAGES DU FOND MARIN

Les levés sont généralement effectués aux endroits où l'infrastructure d'exploration et de production peut entrer en contact avec le fond marin ou causer des impacts sur celui-ci

(p. ex. sites des puits, emplacements du mouillage des ancrs, flotteurs, pipelines) pour identifier, cartographier et quantifier les espèces, les communautés et les habitats benthiques (présence, abondance, taille et état de santé des espèces). Les profils des levés et les étendues spatiales/couloirs doivent être déterminés en tenant compte de plusieurs facteurs, comme les résultats de la modélisation de la dispersion des déblais, les seuils d'effets biologiques et l'activité ou l'infrastructure (Iversen *et al.* 2015). Bien que l'étendue spatiale des levés du fond marin (levés géotechniques et échantillonnage environnemental) soit très faible, il faudrait confirmer la présence ou l'absence d'espèces et d'habitats benthiques sensibles pour des transects couverts par des caméras ou des systèmes vidéos lestés avant d'entreprendre un échantillonnage du fond marin dans des zones protégées ou lorsqu'il y a une probabilité importante d'occurrence de coraux ou d'éponges (Amec Foster Wheeler Environment & Infrastructure 2015).

Il est possible d'acquérir des images du fond marin grâce à des technologies acoustiques (sonar à balayage latéral [SBL], échosondeur multifaisceau [SEMF]) ou visuelles (caméra à bord d'un véhicule sous-marin téléguidé ou caméra lestée). Cependant, à l'heure actuelle, les technologies acoustiques disponibles ne sont pas nécessairement considérées comme solutions de rechange à des méthodes visuelles pour identifier et cartographier des zones abritant des espèces et des habitats benthiques sensibles. Les exploitants qui exercent leurs activités dans la zone extracôtière Canada-Terre-Neuve-et-Labrador ont récemment proposé de mener des levés du fond marin préalables au forage en utilisant des SEMF et des SBL à une résolution de 0,5 m x 0,5 m d'après les lignes directrices de la NOROG (DNV 2013). Le MPO a répondu que, bien que certaines caractéristiques du fond marin puissent être détectées grâce aux SEMF et aux SBL (p. ex. les traces de labourage aboutissant à l'affouillement glacial, ou la présence de coraux), cette résolution ne permet pas de détecter tous les types de communautés de coraux et d'éponges connues dans la région (par ex. les habitats importants formés par ces espèces qui sont inférieurs à 30 cm de haut et les structures de coraux inférieures à un mètre carré) (MPO 2018). On a conseillé aux exploitants de revoir et de rajuster les critères proposés pour identifier et éviter les gisements de coraux et d'éponges, et le MPO a indiqué que les emplacements où l'équipement entre en contact avec le fond marin et a des impacts sur celui-ci devraient faire l'objet de levés au moyen d'un véhicule sous-marin téléguidé (VTG) (MPO 2018). Même si de nouvelles technologies d'imagerie capables d'une résolution plus élevée voient le jour (un radar à synthèse d'ouverture est actuellement mis à l'essai sur des récifs de *L. pertusa* dans l'Atlantique du nord-est jusqu'à une échelle de 3 cm), le Ministère (MPO 2018) fait remarquer que ces technologies devront être mises à l'essai sur des communautés représentatives de la région.

DISTANCES D'ÉLOIGNEMENT ET PLANIFICATION DE L'INFRASTRUCTURE

Lorsque des espèces et des habitats benthiques sensibles sont identifiés dans la zone d'influence potentielle, on peut envisager de prendre différentes mesures pour éviter ou réduire le plus possible les impacts, comme utiliser des technologies et de stratégies de gestion réduisant les risques (p. ex. le forage horizontal pour accéder au réservoir sous-marin) ou des méthodes permettant de produire moins de déchets de forage, déplacer le puits ou l'infrastructure ou, encore, dévier les déblais de forage grâce à un système de transport des déblais sous-marin. On peut tenir compte des emplacements des ZBV lors de la planification, en incluant ces emplacements et les distances d'éloignement applicables dans les analyses des contraintes.

L'établissement de distances d'éloignement est une mesure d'atténuation clé qui permet de réduire le plus possible les impacts dans les zones pour lesquelles des objectifs de conservation des espèces et des habitats benthiques ont été définis. Cependant, pour

déterminer ces distances efficacement, nous devons avoir une connaissance suffisante des espèces et des habitats d'intérêt. Par exemple, les zones de transition entourant les habitats sensibles comportant une biomasse élevée, comme les gisements de coraux des grands fonds et les écosystèmes de filtrage froid, peuvent s'étendre sur au moins 100 m au-delà de la bordure du site visible. Cordes *et al.* (2016) indiquent ce qui suit : « Compte tenu des sources d'incertitude inhérentes à la gestion des habitats des grands fonds, du placement imprécis de l'infrastructure du fond marin à la variabilité des distances sur lesquelles les rejets produisent des impacts, en passant par l'incertitude entourant la navigation sur le plancher océanique et l'emplacement des habitats et des espèces sensibles des grands fonds, nous recommandons fortement que des zones tampons soient incorporées dans les plans de gestion spatiale » [traduction libre].

Les États-Unis sont l'un des seuls pays ayant précisé des distances d'éloignement imposées par la loi (reposant principalement sur des études sur les récifs de *L. pertusa* dans le golfe du Mexique) : elles sont actuellement de 610 m pour les rejets de boues et de déblais de forage sur le fond marin et de 150 m (ou jusqu'à 75 m avec une dérogation) pour ce qui est des ancres et d'autre équipement d'infrastructure de fond marin (Cordes *et al.* 2016). Les exploitants, dans la plupart des provinces, territoires et pays, sont tenus d'éviter les impacts sur les espèces et les habitats sensibles, mais les chercheurs sont généralement réticents à définir des distances d'éloignement, compte tenu du nombre de variables (variabilité des seuils de tolérance des espèces, processus géophysiques, dynamique biophysique, infrastructure et activités, etc.) et de la nature complexe et changeante des écosystèmes (Blanchard *et al.* 2014). Les lacunes dans nos connaissances de base se traduisent par un degré élevé d'incertitude entourant les impacts potentiels sur les espèces et les habitats benthiques et, donc, les distances d'éloignement appropriées. Par exemple, bon nombre de qualités des coraux des grands fonds demeurent inconnues, et nous n'avons actuellement aucun moyen de mesurer les facteurs environnementaux et les processus biologiques qui régulent leur vie et leur répartition (Freiwald *et al.* 2004).

La démarche habituellement adoptée pour atténuer et éviter les effets des activités pétrolières et gazières sur les espèces sensibles formant des habitats consiste à établir des distances d'éloignement à partir des emplacements des ZBV identifiées visuellement, comme décrit ci-dessus. Des avis et lignes directrices récents du MPO visant à ce que les activités de pêche ne produisent pas de dommages graves ou irréversibles aux ZBV offrent une démarche alternative qui pourrait être envisagée dans le cas des activités pétrolières et gazières, car elle met l'accent sur la protection de l'intégrité écologique et de la fonctionnalité de l'habitat, plutôt que sur l'emplacement physique visible d'un affleurement individuel (MPO 2017a; MPO 2017b). Cordes *et al.* (2016) recommandent ce qui suit en ce qui concerne la gestion spatiale des écosystèmes des grands fonds au voisinage de secteurs où sont menées des activités pétrolières et gazières industrielles :

- 1) Établir des données de levés écologiques de référence robustes dans la zone prévue et dans des zones de référence appropriées.
- 2) Déterminer les emplacements, la taille et le type de zones d'importance écologique et biologique (ZIEB) grâce à des levés exhaustifs, incluant l'utilisation de l'imagerie.
- 3) Établir des zones protégées autour des zones abritant des communautés représentatives importantes.

-
- 4) Établir les limites des zones protégées pour définir des distances d'éloignement d'après les distances habituelles¹⁷ sur lesquelles les impacts des installations se font sentir.
 - À 200 m de l'infrastructure mise en place sur le fond marin, sans rejet attendu.
 - À deux kilomètres de tout point ou surface de rejet (c.-à-d. infrastructure flottante).
 - 5) Envisager une gestion des activités et une gestion temporelle pour réduire les impacts.
 - 6) Mettre en œuvre un programme de surveillance exhaustif et robuste qui puisse détecter de façon fiable les changements environnementaux significatifs dans les zones où se déroulent des activités d'exploration, dans les zones qui se trouvent à l'intérieur des zones établies (protégées) et aux sites de référence à l'extérieur des zones protégées ainsi que dans les zones où se déroulent des activités.

ATTÉNUATION AU NIVEAU DES DÉBLAIS ET DES FLUIDES DE FORAGE

On peut minimiser les impacts sur les zones où des objectifs de conservation des espèces et des habitats benthiques ont été définis en réduisant le volume de fluides de forage utilisés, la quantité de déchets de forage produits et la quantité de boues et de déblais rejetés dans le trou de forage ou à la surface de l'eau. Si l'on envisage d'effectuer un forage dans une zone ayant des objectifs de conservation définis et où se trouvent des habitats benthiques sensibles, on peut utiliser un système de transport des déblais de forage (STDF) pour transporter les déblais de la tête du puits à une zone d'élimination plus appropriée. On peut aussi employer un système de récupération des boues sans tube ascenseur durant le forage en sommet de trou pour renvoyer les boues et les déblais de forage jusqu'à l'appareil de forage aux fins de séparation, de réutilisation (fluides de forage) et d'élimination (déblais).

Réduction des déchets de forage produits

Les boues et les déblais de forage sont habituellement éliminés en mer, soit directement sur le fond marin durant le forage sans tube ascenseur, soit à la surface après le traitement des déblais ou, encore, ils sont réinjectés durant les forages de développement (p. ex. Hibernia et Hebron). En conséquence, les stratégies et les technologies permettant de réduire le volume des déchets de forage produits ou le rejet de particules fines minimisent également les impacts connexes sur les zones ayant des objectifs de conservation définis.

Conformément aux *Directives sur le traitement des déchets extracôtiers* (ONE, OCTNLHE, OCNEHE 2010), en ce qui concerne les activités au large de l'Atlantique canadien, l'exploitant devrait s'efforcer de réduire ce qui suit :

- la quantité de déchets produits et évacués en mer;
- la quantité d'effluents au minimum requis;
- les teneurs en substances éventuellement préoccupantes sur le plan de l'environnement contenues dans les effluents, par la gestion des procédés et des méthodes de traitement efficaces;
- la toxicité des effluents par une maîtrise efficace à la source durant l'étape de sélection des produits chimiques, selon le processus décrit dans les Lignes directrices sur la

¹⁷ Une synthèse des études et des activités (p. ex. profondeurs de l'eau et milieux hydrodynamiques variables, puits forés en utilisant différents fluides de forage).

sélection des produits chimiques pour les activités de forage et de production sur les terres domaniales extracôtières (ONE, OCTNLHE, OCNEHE 2009).

Bien que les directives énoncent que les exploitants sont tenus de minimiser les concentrations et les volumes de déchets à rejeter dans l'environnement en adoptant des pratiques exemplaires au chapitre de la gestion et du traitement des déchets, elles ne sont pas normatives quant aux méthodes (ONE, OCTNLHE, OCNEHE 2009).

Le Tableau 3 résume l'évaluation, par la NOROG, de technologies permettant de réduire la quantité de solides produits lorsqu'on fore dans une zone où se trouvent des espèces et des habitats benthiques sensibles (DNV 2013).

Tableau 3 : Options possibles pour la réduction des solides produits durant les forages (modifié, d'après DNV 2013)

Technique	Description	Pours (pour les espèces et les habitats benthiques)	Contres (pour les espèces et les habitats benthiques)
Enfoncement du tube conducteur	Le tube conducteur (diamètre de 36 po) est enfoncé sur environ 80 m dans le plancher océanique, puis percé à l'aide d'un trépan de 26 po.	Réduction de la production et des rejets de déblais de forage Réduction du risque de sédimentation pour les espèces et les habitats benthiques sensibles	Gains marginaux Limité à des caractéristiques particulières du sol ou de la formation Risque d'échec considérable
Conception de puits à trou mince	Le diamètre de la coupe transversale de la section supérieure du trou et le volume correspondant de déblais produits sont réduits. Technique souvent utilisée sur les puits d'exploration	Réduction du rejet de matériaux fins Réduction de la production et des rejets de déblais de forage Répartition réduite des particules Risque de sédimentation réduit pour les espèces et les habitats benthiques sensibles	Pas de contres pour les espèces et les habitats benthiques Risques opérationnels (limitation possible de la disponibilité de l'équipement, limitation de la souplesse des mesures d'atténuation face aux problèmes de forage du puits, limitation de la taille maximale du puits une fois terminé)

Technique	Description	Pours (pour les espèces et les habitats benthiques)	Contres (pour les espèces et les habitats benthiques)
Nombre réduit de sections	Remplacement de la section de 26 po par une section plus longue de 17 ½ po (ou 12 ½ po) L'installation d'un tube ascenseur avant le forage sur une section de 17 ½ po élimine le rejet de déblais et de fluides de forage qui résultent du forage sur une section de 26 po.	Réduction du rejet de matériaux fins Réduction de la production et du rejet de déblais de forage Répartition réduite des particules Risque de sédimentation réduit pour les espèces et les habitats benthiques sensibles Souplesse accrue du choix de l'emplacement du puits ou du modèle	Utilisation et rejet accrus de fluides de forage comportant des spécifications spéciales (17 ½ po ou 12 ½ po) Utilisation et rejet (si autorisé) de produits chimiques « jaunes » ¹⁸ Risques opérationnels (manque de souplesse pour l'atténuation des problèmes de forage dans le puits).
Forage sans baryte/ bentonite reposant sur l'utilisation de saumure lourde et de cellulose.	On utilise la cellulose dans des pilules visqueuses pour remplacer la bentonite, et la saumure lourde comme fluide de forage pour éviter d'utiliser de la baryte.	Réduction du rejet de matériaux fins Risque réduit d'exposition à des matières en suspension Élimination de l'exposition à la baryte	Pas de contres pour les espèces et les habitats benthiques

D'autres progrès des technologies de forage facilitent le micro-forage de puits (Kamyab et Rasouli 2016). Tandis que le diamètre des trépan habituellement utilisés dans les puits classiques peut atteindre 12,25 po, les puits à trou mince et par micro-forage sont équipés (par définition) de trépan de diamètres inférieurs à 6 po et à 3 po, respectivement, pour au moins 90 % du puits (Kamyab et Rasouli 2016; Natgas 2013). Les trous de forage plus étroits, qui sont censés réduire l'empreinte environnementale d'un puits de jusqu'à 75 % (Natgas 2013), exigent moins de fluide de forage et produisent moins de déchets, ce qui réduit l'impact potentiel sur les zones pour lesquelles des objectifs de conservation des espèces et des habitats benthiques ont été définis en réduisant le volume de déblais et l'empreinte résultante des amas de déblais et en réduisant le rejet de matériaux fins, la répartition des particules et les risques de sédimentation dans les ZBV (DNV 2013).

Si l'on combine les puits à trous de forage minces ou le micro-forage à la technologie du forage sur tube d'intervention enroulé, on peut encore plus réduire l'impact et la quantité de fluides de forage requise en utilisant un train de tiges enroulé long et souple au lieu de la tige de forage rigide et articulée qui est utilisée durant les forages classiques (Natgas 2013). On peut également réduire les déblais produits en effectuant un forage dirigé, car on peut alors accéder

¹⁸ Les produits chimiques classés comme étant « jaunes » en Norvège sont des produits autres que des produits considérés comme posant peu ou pas de risques pour l'environnement et qui comportent des effets possibles « acceptables » du point de vue environnemental.

horizontalement à plusieurs réservoirs distincts à partir du puits vertical principal, ce qui élimine la nécessité de forer un grand nombre de puits verticaux classiques (Ma *et al.* 2016).

Système de transport sous-marin des déblais de forage

Lorsqu'on fore dans des zones ayant des objectifs de conservation définis, on peut éviter ou minimiser les impacts sur les espèces et les habitats sensibles en utilisant un système de transport des déblais de forage (STDF) pour collecter et transporter les déblais et les fluides de forage jusqu'à 500 m¹⁹ de la tête de puits, dans une zone de rejet convenable (DNV 2013; Enhanced Drilling 2018). Le STDF est une technologie éprouvée qui est actuellement employée au large de Terre-Neuve pour transporter des déblais à distance du centre de forage durant les forages sans tube ascenseur. La capacité de transporter les déblais peut entraîner une souplesse accrue du choix des sites des puits. La NOROG énonce que, lorsque des activités de forage sont susceptibles d'avoir un impact sur des espèces et des habitats benthiques sensibles, l'utilisation d'un STDF permet généralement de réduire l'impact à un niveau acceptable (DNV 2013). Pour que le STDF sous-marin soit efficace en tant que méthode d'atténuation, il est essentiel de pouvoir déterminer une zone d'élimination accessible située à une distance d'éloignement suffisante par rapport à la ZBV.

Le retour à la plateforme : une autre solution d'élimination/utilisation

Les systèmes de récupération des boues sans tube ascenseur permettent de renvoyer à l'appareil de forage les fluides et les déblais de forage qui sont produits durant le forage de la section supérieure du trou (sans tube ascenseur). La technologie a été principalement mise au point pour optimiser l'utilisation de systèmes sophistiqués de fluides de forage et pour réduire le volume des fluides requis durant le forage de la section supérieure, car on peut séparer les fluides de forage des déblais sur l'appareil de forage et les réutiliser dans les trous de forage (DNV 2013). Cependant, elle permet également de réduire de façon significative les impacts des rejets de fluides et de déblais de forage à la tête du puits dans les zones pour lesquelles des objectifs de conservation des espèces et des habitats benthiques ont été définis.

La NOROG a évalué plusieurs options d'élimination des fluides et des déblais de forage renvoyés à l'appareil de forage (lesquelles sont résumées au Tableau 4. Cependant, après l'évaluation de la fiabilité, de la complexité, du milieu et du rapport coût-avantage de ces technologies, elle a conclu que l'option de prédilection dans les ZBV consistait à transférer les déblais et les fluides dans des zones d'élimination appropriées par l'entremise d'un STDF sous-marin (DNV 2013).

¹⁹ Théoriquement, une distance supérieure à 3 000 m pourrait être possible, mais on a peu d'expérience pour le transfert des rejets à une distance supérieure à 1 000 m (DNV 2013).

Tableau 4 : Options pour l'élimination/l'utilisation²⁰ des déblais et des fluides de forage renvoyés à l'appareil de forage par l'entremise d'un système de récupération des boues sans tube ascenseur (modifié à partir de DNV 2013).

Technique	Description	Pours (pour les espèces et les habitats benthiques)	Contres (pour les espèces et les habitats benthiques)
Rejets non traités depuis l'appareil de forage	Rejet de déblais depuis l'appareil de forage après le passage de l'agitateur (séparation)	La dilution importante des matériaux fins réduit les risques qui pèsent sur les espèces et les habitats benthiques (par comparaison avec les rejets au trou de forage).	Les rejets de déblais à la surface sont moins maîtrisables et peuvent présenter un risque plus élevé dans les ZBV que l'utilisation d'un STDF sous-marin pour rejeter les déblais dans une zone d'élimination convenable.
Transformation en boues grossières et rejet depuis l'appareil de forage	Les déblais sont broyés en particules plus fines, mélangés avec de l'eau et rejetés en mer.	Réduction importante du risque de sédimentation des déblais ou d'exposition à des particules sur le fond marin à proximité du trou de forage.	Augmentation des risques opérationnels et goulot d'étranglement au niveau du système de gestion des déchets, ce qui pourrait se traduire par un rendement réduit.
Transformation en boues et réutilisation comme boues de forage	<p>Les déblais sont broyés en particules plus fines et mélangés avec (des volumes importants) d'eau et de produits chimiques « jaunes » pour obtenir un fluide de forage respectant les spécifications.</p> <p>Les fluides résultant de la transformation en boues peuvent être réutilisés dans la section suivante du puits et (dans certains cas) à un appareil de forage différent.</p> <p>Il n'existe pas de système de transport, de traitement et de réutilisation des déblais transformés en boues et des fluides de forage récupérés durant le forage de la section supérieure du trou.</p>	<p>Réduction importante du risque de sédimentation des déblais ou d'exposition à des particules sur le fond marin à proximité du trou de forage.</p> <p>Réduction de la production de déblais et de l'utilisation de fluides de forage en quantité égale au volume d'une section.</p>	<p>La réduction des rejets de déblais et de fluides de forage est limitée au volume égal à une section.</p> <p>Pas de système établi pour une réutilisation par l'industrie.</p> <p>Augmentation de l'utilisation des produits chimiques « jaunes ».</p>

²⁰La réinjection des déblais dans un puits d'élimination consacré à cette fin est une option supplémentaire pour les plateformes de production, et n'est pas faisable à l'heure actuelle au niveau des puits d'exploration (Buchanan *et al.* 2003).

Technique	Description	Pours (pour les espèces et les habitats benthiques)	Contres (pour les espèces et les habitats benthiques)
<p>« Sauter et expédier » les déblais de forage séparés</p>	<p>Collecte des déblais de forage séparés et transport sur le rivage aux fins d'élimination (habituellement pour les déblais produits par des BBH).</p> <p>Peuvent être significativement affectés par les conditions météorologiques (risque accru d'interruption des opérations de forage résultant de l'utilisation restreinte des grues).</p>	<p>Permettent d'éviter les impacts connexes sur les espèces et les habitats benthiques, car aucun fluide ou déblai de forage n'est rejeté en mer.</p>	<p>Augmentation du trafic maritime (et du bruit sous-marin connexe).</p> <p>Le système n'a pas été utilisé à vaste échelle pour la collecte et le transport des déblais produits par des BBE, et le rendement a été plus faible qu'escompté.</p> <p>Augmentation significative des risques opérationnels et des risques pesant sur la sécurité, des besoins en matière de ressources et des émissions atmosphériques (augmentation du trafic maritime).</p>
<p>Manutention en vrac des déchets sur un navire fournisseur pendant le forage, pour le transport et l'élimination à terre.</p>	<p>Les réservoirs de stockage en vrac permettent un forage continu et sans restriction.</p> <p>Comparable à la méthode « sauter et expédier », tous les déblais étant collectés et transportés à terre aux fins d'élimination, mais est moins sensible aux conditions météorologiques (réduction significative du nombre d'opérations de levage par grues).</p>	<p>Permettent d'éviter les impacts connexes sur les espèces et les habitats benthiques, car aucun fluide ou déblai de forage n'est rejeté en mer.</p>	<p>Augmentation du trafic maritime (et du bruit sous-marin connexe).</p> <p>Succès limité des expériences</p> <p>Risques opérationnels, besoins en matière de ressources et émissions atmosphériques accrus (augmentation du trafic maritime).</p> <p>Ne convient pas à la récupération des déblais durant le forage de la section supérieure du trou sans équipement supplémentaire.</p> <p>Limitation aux fluides inhibés (glycol).</p>

Technique	Description	Pours (pour les espèces et les habitats benthiques)	Contres (pour les espèces et les habitats benthiques)
« Soufflage » des déblais sur un navire pendant le forage, pour le transport et l'élimination à terre.	<p>Les déblais de forage sont transférés directement sur un navire à partir des agitateurs, au moyen d'un revêtement temporaire et d'air sous pression.</p> <p>Forage continu et sans restriction si le tuyau de transfert en vrac peut être raccordé.</p> <p>Comparable à la méthode « sauter et expédier », tous les déblais étant collectés et transportés à terre aux fins d'élimination, mais est moins sensible aux conditions météorologiques (réduction significative du nombre d'opérations de levage par grues).</p>	<p>Permet d'éviter les impacts connexes sur les espèces et les habitats benthiques, car aucun fluide ou déblai de forage n'est rejeté en mer.</p>	<p>Augmentation du trafic maritime (et du bruit sous-marin connexe).</p> <p>Risques opérationnels, besoins en matière de ressources et émissions atmosphériques accrues (augmentation du trafic maritime et nécessité de disposer d'un navire fournisseur dédié).</p> <p>Ne convient pas à la récupération des déblais durant le forage de la section supérieure équipement supplémentaire.</p>
Transformation en boues grossières des déblais séparés aux fins d'élimination sur le fond marin	<p>Combinaison du STDF et de techniques de récupération des boues. La transformation en boues grossières au niveau de l'appareil de forage permet le transport de déblais et de fluides de forage (avec un risque d'obstruction réduit) vers un site de dépôt optimal situé à distance du puits.</p>	<p>Réduction significative du risque de sédimentation des déblais ou d'exposition à des particules sur le fond marin à proximité du trou de forage.</p> <p>Convenable pour toutes les sections du puits (pas seulement la section supérieure).</p> <p>Impact environnemental global perçu inférieur à celui qui est associé à la méthode « sauter et expédier ».</p>	<p>Complexité élevée par rapport aux autres solutions – expérience très limitée et technologie non éprouvée.</p> <p>Risques opérationnels et besoins en ressources accrues.</p>

ATTÉNUATION AU NIVEAU DES ANCRES ET DES CHÂÎNES

Il est particulièrement important d'éviter ou de réduire l'impact potentiel des ancres et des chaînes dans les zones qui soutiennent des espèces de coraux et d'éponges formant des habitats fragiles. Avant l'arrivée sur place d'une unité mobile de forage en mer, on effectue une analyse de l'écartement et de l'amarrage des ancres pour assurer leur positionnement stable et sécuritaire et pour éviter les conflits avec l'infrastructure déjà en place sur le fond marin. On peut éviter ou réduire les impacts potentiels en établissant (en tant que contraintes durant l'analyse de l'amarrage) l'emplacement des espèces et des habitats sensibles, les distances d'éloignement applicables reposant sur des seuils écologiques (DNV 2013).

Les caractéristiques des ancrs qui sont susceptibles d'affecter l'ampleur des impacts potentiels sont la taille des ancrs, la méthode utilisée pour leur déploiement et leur récupération et les types de lignes d'amarre et d'attaches (Seibert, M.G. 2011). Les mesures suivantes peuvent réduire les impacts potentiels des ancrs et des chaînes dans les zones ayant des objectifs de conservation définis (Seibert, M.G., indéterminé) :

- Choisir des ancrs de taille appropriée d'après des levés détaillés des sites;
- Augmenter la rugosité du bas des ancrs (pour diminuer le dragage et l'affouillement du fond marin);
- Ajouter des poids pour entraîner l'enfoncement des ancrs afin de réduire les impacts des lignes d'amarre;
- Utiliser des lignes flottantes pour surélever les points de contact des ancrs ou de parties de chaînes au-dessus du fond marin.

La NOROG relève les stratégies suivantes pour atténuer les impacts potentiels des ancrs et des chaînes sur des espèces de coraux d'eau froide (DNV 2013) :

- Positionnement dynamique des appareils de forage.
- Ancres et chaînes préalablement installées.
- Bouées de ramassage.
- Câbles en fibre et flottabilité sous la surface.
- Dimension plus importante des ancrs ou des chaînes.

Positionnement dynamique (PD) des appareils de forage et des navires

Les appareils de forage et les navires qui emploient le PD pour demeurer sur place permettent d'éviter les impacts potentiels liés à l'amarrage sur les espèces et les habitats benthiques. Cependant, ces impacts peuvent ne pas pouvoir être complètement évités, car les appareils de forage à PD exigent le déploiement d'un réseau de balises ou de transpondeurs sur le fond marin, et le fonctionnement des propulseurs à PD peut entraîner des impacts liés à l'exposition chronique au bruit sous-marin. En outre, par rapport aux appareils de forage amarrés, les appareils de forage à PD consomment davantage de carburant et produisent davantage d'émissions atmosphériques (CO₂, SO₂, NOx, HC et CO) (Aalbers *et al.* 2006), un inconvénient qui pourrait être pris en considération à l'étape du choix des appareils de forage, notamment dans les zones d'où les espèces benthiques sensibles sont absentes. Des efforts visant à accroître l'efficacité et à réduire les émissions sont en cours. Toutefois, compte tenu du coût comparativement plus élevé, de la consommation de carburant et des temps d'indisponibilité associés aux appareils de forage à PD, Shinn (2018) prévoit qu'on reviendra aux appareils de forage amarrés (même en Norvège). Cela fait ressortir encore plus la nécessité d'effectuer une gestion efficace axée sur les risques et de prendre des mesures pour atténuer les impacts associés à l'amarrage dans les zones pour lesquelles des objectifs de conservation des espèces et des habitats benthiques ont été définis.

Ancres et chaînes préalablement installées avec bouées de ramassage

L'installation des ancrs et des chaînes avant l'arrivée de l'appareil de forage peut entraîner une diminution des risques d'impact sur des composantes benthiques sensibles du fait qu'elles augmentent la précision du positionnement conformément aux analyses de l'écartement des ancrs et de l'amarrage, car on utilise des véhicules sous-marins téléguidés (VTG) pour

surveiller les opérations de manutention des ancrs, optimisant ainsi leur placement (DNV 2013). L'installation de bouées de ramassage sur les ancrs préalablement installées permet de réduire encore plus les impacts potentiels, car on peut utiliser directement le VTG pour récupérer les ancrs au lieu d'un grappin pour tirer sur les chaînes d'ancre (CNV 2013).

Câbles en fibre et flottabilité sous la surface

Pour minimiser les impacts sur les composantes benthiques sensibles résultant du contact avec les chaînes d'ancre, on peut conférer de la flottabilité à celles-ci en remplaçant partiellement les chaînes par des câbles en fibre (nylon) et en fixant des bouées. Cela permet de réduire les risques de dommages aux espèces fragiles en étendant le point de contact de la chaîne d'ancre et en réduisant l'empreinte horizontale potentielle (car les déplacements latéraux diminuent au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'appareil de forage) (DNV 2013).

Dimension plus importante des ancrs ou des chaînes.

L'utilisation d'ancres et de chaînes plus lourdes (p. ex. des ancrs et des chaînes de plus grande dimension) peut permettre de réduire l'empreinte des ancrs et des chaînes en faisant en sorte que les ancrs soient positionnées plus près de l'appareil de forage, et d'accroître la souplesse du positionnement des ancrs et des chaînes, ce qui peut être utilisé pour éviter les impacts sur les entités benthiques sensibles (DNV 2013).

ATTÉNUATION AU NIVEAU DES PIPELINES ET DES CONDUITES D'ÉCOULEMENT

La principale mesure d'atténuation permettant de réduire les impacts potentiels sur les espèces et habitats benthiques des pipelines, des conduites d'écoulement, des lignes de contrôle et des câbles ombilicaux consiste à relever l'emplacement des espèces et des habitats benthiques sensibles (par l'entremise de levés effectués grâce à des VTG sur le tracé proposé) et d'inclure ces emplacements et les distances d'éloignement applicables dans l'analyse des contraintes. La NOROG (DNV 2013) recommande d'effectuer des levés sur un couloir de 200 m de largeur (c.-à-d. 100 m de chaque côté) sur le tracé prévu du pipeline avec un VTG dans les zones susceptibles d'abriter des espèces ou des habitats sensibles, et d'étendre ce couloir de levés à 500 m dans les zones abritant des espèces ou des habitats sensibles connus. L'autorité norvégienne recommande que les pipelines ne soient pas installés à moins de 50 m de gisements de coraux ou d'autres ZBV (DNV 2013). Cependant, cette recommandation a été formulée tout particulièrement pour les récifs de *L. pertusa*, en Norvège. En outre, on peut minimiser les impacts durant la mise en place des pipelines en utilisant des navires à PD, car cela permet d'éviter les effets liés à l'ancrage sur les espèces et les habitats benthiques (DNV 2013).

ATTÉNUATION AU NIVEAU DE L'EAU PRODUITE

Lee *et al.* (2011a) énoncent, en ce qui concerne la surveillance de l'eau produite et la réduction de ses effets : « Dans le cadre d'un plan de protection complet, il faut appuyer l'élaboration de protocoles de surveillance améliorés afin qu'il soit possible d'alerter très tôt sur la présence d'un problème éventuel lié aux sédiments et à la qualité de l'eau (productivité primaire), à la qualité du poisson et à l'état de santé du poisson. L'élaboration de systèmes de surveillance en temps réel (c.-à-d. capteurs propres à certains contaminants et techniques de transfert de données) pourrait améliorer notre capacité de gérer les océans et ses ressources vivantes. Compte tenu des perturbations naturelles qui se produisent actuellement dans l'océan (changements climatiques) et des impacts potentiellement associés à d'autres utilisations du milieu marin (transport maritime, pêches, etc.), il faut adopter une démarche de gestion intégrée axée sur

l'écosystème si l'on veut évaluer de façon exhaustive les risques des rejets d'eau produite dans l'océan. En outre, il faut également envisager d'adopter des démarches de rechange pour la gestion de l'eau produite. » [traduction libre]

Les stratégies de gestion suivantes doivent être envisagées et mises en œuvre consécutivement, conformément à la hiérarchie des mesures d'atténuation (Igwe *et al.* 2013) :

1. Réduction de la quantité d'eau : produire moins d'eau à partir du puits en modifiant les processus, en adaptant les technologies ou en utilisant des produits de substitution.
2. Recyclage/réutilisation de l'eau : après la mise en œuvre de stratégies de réduction de la quantité d'eau, on recycle ou on réutilise l'eau (p. ex. réinjection au large pour améliorer la production de pétrole ou pour optimiser la récupération du pétrole).
3. Traitement/élimination de l'eau : après la mise en œuvre de stratégies de réduction de la quantité d'eau et de recyclage ou de réutilisation de l'eau, on traite l'eau produite qui est destinée à être rejetée ou éliminée.

Les techniques permettant de minimiser l'eau produite comprennent le blocage mécanique de l'entrée d'eau dans le puits, l'utilisation de produits chimiques dans la formation pour bloquer les canaux ou les fractures contenant de l'eau et la séparation entre l'huile et l'eau en fond de puits (Zheng *et al.* 2016). Le fait de minimiser le volume d'eau produite permet aussi de réduire la quantité d'eau devant être traitée et la quantité de produits chimiques utilisés pour séparer l'eau de l'huile, et se traduit par un rejet en mer de plus faibles quantités d'eau produite et de contaminants connexes. Tandis que l'eau produite traitée peut être réutilisée à terre dans le cadre d'activités industrielles ou pour l'irrigation (Zheng *et al.* 2016), la seule option viable pour sa réutilisation en mer consiste à améliorer la production grâce à sa réinjection (Judd *et al.* 2014).

Le traitement de l'eau produite permet d'enlever les solides et les liquides non aqueux dispersés (huile, solides en suspension, écailles, particules bactériennes) ainsi que les hydrocarbures les plus volatils et les gaz corrosifs (p. ex. dioxyde de carbone, sulfure d'hydrogène) (Neff *et al.* 2011). L'expérience acquise par l'industrie pétrolière en mer en matière de traitement de l'eau produite aux fins d'élimination dans l'océan a montré que l'enlèvement de l'huile dispersée permet également de réduire les hydrocarbures volatils et dissous à des niveaux acceptables (Ayers et Parker 2001, tel que cités dans Neff *et al.* 2011). En conséquence, les règlements établissant des paramètres de rejet ne font généralement référence qu'aux concentrations d'huile et de graisse totales ou aux concentrations d'hydrocarbures pétroliers totaux (Neff *et al.* 2011).

- La Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du nord-est ou Convention OSPAR (Oslo-Paris) exige une norme de rendement de 30 mg/L et recommande que les exploitants de nouvelles installations ou d'installations modifiées envisagent de minimiser les rejets et d'adopter des pratiques « zéro rejet ».
- L'Environmental Protection Agency des États-Unis établit une quantité moyenne d'huile dans l'eau par mois de 29 mg/L, et un rejet quotidien maximum de 42 mg/L.
- Les *Directives sur le traitement des déchets extracôtiers* dans l'Atlantique canadien établissent une cible de rendement égale à une concentration moyenne pondérée d'huile dans l'eau ne dépassant pas 30 mg/L sur 30 jours, et une concentration moyenne d'huile dans l'eau produite rejetée ne dépassant pas 44 mg/L sur 24 heures.
- Les autorités norvégiennes et les exploitants qui opèrent sur le plateau continental norvégien ont convenu de viser zéro rejet dommageable dans la mer du Nord.

L'eau produite est le plus souvent traitée au large, par séparation par gravité. Toutefois, l'eau qui en résulte ne respecte généralement pas les limites des rejets établies. En conséquence, on utilise des techniques de traitement secondaire (comme un traitement chimique suivi d'une sédimentation ou d'une flottation à l'air dissous) pour diminuer les concentrations d'huile dissoute, émulsionnée et dispersée (Igwe *et al.* 2013). Des technologies innovantes permettant de traiter l'eau produite en sont à différentes étapes d'élaboration, de mise à l'essai et d'application. La description détaillée et l'évaluation de l'efficacité de ces technologies n'entrent pas dans la portée du présent document. Cependant, les meilleures options pour le traitement de l'eau produite dans les plateformes au large des côtes, comme la technologie des membranes, l'évaporation, l'adsorption en tour de filtration et l'échange d'ions, sont décrites de façon détaillée dans Igwe *et al.* (2013).

Jiménez *et al.* (2018) décrivent également en détail des méthodes de traitement par polissage (tertiaire) de l'eau produite à la fine pointe de la technologie (bien que toutes ces méthodes ne soient pas faisables au large) :

- Traitement physique (adsorption, cyclones, flottation améliorée).
- Traitement biologique (biodégradation microbienne).
- Traitement par membranes (membranes polymétriques, membranes inorganiques, microfiltration/ultrafiltration, osmose inverse et nanofiltration).
- Technologies thermiques (évaporation, distillation par détentes successives, distillation à effets multiples, distillation par compression de vapeur, gel-dégel/évaporation, distillation hybride à effets multiples-compression de vapeur).
- Traitement chimique (précipitation chimique, processus électrochimiques, liquides ioniques à température ambiante, démulsiants, échanges d'ions, technologie d'extraction de polymères macroporeux, processus d'oxydation avancés).
- Différents traitements commerciaux.

Les technologies de traitement et l'utilisation de substituts aux produits chimiques toxiques ont entraîné des réductions importantes de la toxicité. Des fréquences élevées de micronoyaux (qui sont des preuves de dommages chromosomiques) ont été détectées chez des moules bleues en cage jusqu'à 1,6 km de distance d'un point de rejet d'eau produite au champ Ekofisk en 2008 (Sundt *et al.* 2008). À la suite de la mise en place et de la mise en œuvre d'une nouvelle technologie de traitement de l'eau produite (C-Tour) au niveau de la plateforme, le rejet total d'huile a été réduit de 38 %, et les fréquences élevées de micronoyaux n'ont été détectées que dans les cages se trouvant à 500 m de la source (Brooks *et al.* 2009). Comme on l'a vu plus haut, il n'y a presque pas de moyens d'évaluer les impacts potentiels à long terme sur la vie marine de l'eau produite à de faibles concentrations (Meier *et al.* 2008, tel que cité dans Blanchard *et al.* 2014). En conséquence, on ne s'entend pas sur la question de savoir si le rejet en mer d'eau produite traitée respecte le principe de précaution et, si oui, à quelles concentrations (Blanchard *et al.* 2014).

AUTRES MESURES D'ATTÉNUATION TECHNOLOGIQUES

Forage dirigé et en grappe

Le forage horizontal permet aux appareils de forage de forer de façon dirigée, soit depuis la terre, soit depuis un puits vertical classique au large, dans des réservoirs qui se trouvent à plusieurs kilomètres de distance. Le forage en grappe repose sur un concept semblable, plusieurs réservoirs étant exploités par des puits forés en diagonale à partir d'une plateforme

centrale. Ces méthodes de forage peuvent permettre de réduire les impacts dans les zones pour lesquelles des objectifs de conservation des espèces et des habitats benthiques ont été définis, en éliminant la nécessité de plateformes satellites, ce qui réduit l'empreinte de l'infrastructure sur le fond marin et concentre les forages opérationnels et les rejets lors de la production sur un seul emplacement (boues et déblais de forage, eau produite). On peut aussi employer le forage dirigé pour accéder à des réservoirs se trouvant sous des zones abritant des espèces et des habitats benthiques protégés ou sensibles.

Systemes de production sous-marins

La nécessité de plateformes satellites (et leurs empreintes et rejets connexes) est également réduite lorsqu'on développe des systèmes de production sous-marins actionnés à distance. La complexité des systèmes de production sous-marins va d'un seul puits satellite raccordé à une plateforme centrale fixe ou à une installation flottante par une conduite d'écoulement à plusieurs puits regroupés en grappe autour d'un collecteur et raccordés à une installation fixe ou flottante ou, encore, directement à une installation se trouvant à terre.

Installations flottantes de gaz naturel liquéfié

La combinaison d'installations de gaz naturel liquéfié (GNL) à terre et en mer en une installation de GNL flottante unique capable de capter et de stocker le gaz produit devrait permettre d'éliminer la nécessité de mettre en place un pipeline vers la rive, ce qui évite les impacts potentiels du dragage et de l'excavation au jet/enfouissement associés à la pose de pipelines dans les zones ayant des objectifs de conservation définis (Amec Foster Wheeler Environment & Infrastructure UK Ltd. 2016).

CONCLUSION

Les normes canadiennes actuelles en matière d'activités d'exploration et de développement pétrolières et gazières respectent ou dépassent les normes environnementales mondiales. Cependant, ces pratiques n'ont pas été élaborées pour les zones pour lesquelles des objectifs de conservation des espèces et des habitats benthiques ont été définis. On peut raisonnablement s'attendre à ce que bon nombre de mesures d'atténuation standards, de nouvelles technologies et de stratégies de gestion qui sont actuellement mises en œuvre permettent de réduire les impacts sur les espèces et les habitats benthiques. Les zones ayant des objectifs de conservation définis sont des zones où les vulnérabilités plus importantes face aux activités d'origine anthropique sont, soit inférées, soit explicitement relevées. Ainsi, on doit pouvoir s'attendre à ce que les activités d'exploration et de production pétrolières et gazières proposées ou menées à bien dans ces zones s'accompagnent de mesures d'évitement des impacts, de seuils d'impacts plus prudents et de mesures d'atténuation. Des incertitudes importantes demeurent concernant les impacts potentiels des activités courantes d'exploration et de production pétrolières et gazières en mer, peut-être surtout sur les espèces et les habitats benthiques. Une meilleure compréhension de la séquence des effets, des seuils et des impacts potentiels pourrait faciliter l'élaboration et la mise en œuvre de stratégies de gestion et de mesures d'atténuation à la fois efficaces et pratiques.

RÉFÉRENCES CITÉES

Aalbers, A.B., de Vries, L., and van Vugt, H. 2006. [Fuel consumption and emission predictions: application to a DP-FPSO concept. Dynamic Positioning Conference, Maritime Research Institute Netherlands \(MARIN\), Wageningen.](#)

-
- ABS. 2013. Guide for Dynamic Positioning Systems. American Bureau of Shipping. ABS Plaza. Houston, Texas. Updated July 2014.
- Agence canadienne d'évaluation environnementale. 2018. [Évaluation des effets environnementaux cumulatifs en vertu de la Loi canadienne sur l'évaluation environnementale \(2012\) : Orientations techniques intérim \(version 2\)](#). Ottawa (Ontario). En106-204/2018F-PDF. ISBN 978-0-660-24635-2.
- Almada, G.V.D.M.B., and Bernardino, A.F. 2017. Conservation of deep-sea ecosystems within offshore oil fields on the Brazilian margin, SW Atlantic, Biological Conservation. 206: 92-101. ISSN 0006-3207y, doi.org/10.1016/j.biocon.2016.12.026.
- AMEC Environment & Infrastructure. 2014. [Eastern Newfoundland Strategic Environmental Assessment](#). St. John's: Canada-Newfoundland and Labrador Offshore Petroleum Board.
- Amec Foster Wheeler. 2016. [Strategic Environmental Assessment – Sydney Basin and Orpheus Graben, Offshore Cape Breton, Nova Scotia](#). Halifax: Canada-Nova Scotia Offshore Petroleum Board.
- Amec Foster Wheeler Environment & Infrastructure UK Ltd. 2016. Study on the assessment and management of environmental impacts and risks resulting from the exploration and production of hydrocarbons. Report to the European Commission. ISBN 978-92-79-62747-7, doi:10.2779/786860
- Amec Foster Wheeler Environment & Infrastructure. 2015. [ExxonMobil Eastern Newfoundland Offshore Geophysical, Geochemical, Environmental and Geotechnical Programs 2015-2024 – Environmental Assessment](#). ExxonMobil Canada Ltd.
- Atchison, A.D., Sammarco, P.W., and Brazeau, D.A. 2008. Genetic connectivity in corals on the Flower Garden Banks and surrounding oil/gas platforms, Gulf of Mexico. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 365(1): 1-12. ISSN 0022-0981, doi.org/10.1016/j.jembe.2008.07.002
- Bakke, T., Klungsøyr, J., and Sanni, S. 2013. Environmental impacts of produced water and drilling waste discharges from the Norwegian offshore petroleum industry. Mar. Environ. Res. 92, 154–169. doi: 10.1016/j.marenvres.2013.09.012
- Banque mondiale. 2012. [Normes de performance en matière de durabilité environnementale et sociale de l'FC](#). Washington (DC) : Banque mondiale.
- Baruah, E. 2016. A Review of the Evidence of Electromagnetic Field (Emf) Effects on Marine Organisms. Research & Reviews: Journal of Ecology and Environmental Sciences. e-ISSN:2347-7830, p-ISSN:2347-7822
- Blanchard, A., Hauge, K.H., Andersen, G., Fosså, J.H., Grøsvik, B.E., Handegard, N.O., Kaiser, M., Meier, S., Olsen, E., and Vikebø, F. 2014. Harmful routines? Uncertainty in science and conflicting views on routine petroleum operations in Norway. Marine Policy, 43: 313-320. ISSN 0308-597X, doi.org/10.1016/j.marpol.2013.07.001.
- Boudreau, P.R., Harding, G.C., Lee, K., and Keizer, P.D. 2001. [The Possible Environmental Impacts of Petroleum Exploration Activities in the Southern Gulf of St. Lawrence and Sydney Bight Ecosystems](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Research Document 2001/112.
- Brooks, S., Harman, C., Zaldibar, B., Izagirre, U., Glette, T., and Marigómez, I. 2011. Integrated biomarker assessment of the effects exerted by treated produced water from an onshore natural gas processing plant in the North Sea on the mussel *Mytilus edulis*. Marine Pollution Bulletin, 62(2): 327-339. ISSN 0025-326X, doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.10.007.
-

-
- Brooks, S., Sundt, R.C., Harman, C., Finne, E.F., Grung, M., Vingen, S., Godal, B.F., Baršienė, J., and Skarphéðinsdóttir, S. 2009. [Water Column Monitoring 2009](#). 978-82-577-5567-6, Norwegian Institute for Water Research, Oslo, Norway. Report No 5882-2009.
- Buchanan, R.A., Fechhelm, R., Abgrall, P., and Lang., A.L. 2011. [Environmental Impact Assessment of Electromagnetic Techniques Used for Oil & Gas Exploration & Production](#). LGL Rep. SA1084. Rep. by LGL Limited, St. John's, NL. International Association of Geophysical Contractors, Houston, Texas. 132 p. + app.
- Buchanan, R. A., Cook, J. A., and Mathieu, A.M. 2003. [Environmental Effects Monitoring for Exploration Drilling](#). Environmental Studies Research Fund. 73 p. + appendices.
- Carroll, A.G., Przeslawski, R., Duncan, A., Gunning, M., and Bruce, B. 2017. A critical review of the potential impacts of marine seismic surveys on fish & invertebrates. *Marine Pollution Bulletin* 144(1): 9-24, doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.11.038.
- Claisse, J.T., Pondella, D.J., Williams, C.M., Zahn, L.A., and Williams, J.P. 2015a. [Current ability to assess impacts of electromagnetic fields associated with marine and hydrokinetic technologies on marine fishes in Hawaii](#). Final Technical Report, OCS Study BOEM 2015-042. U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, Golden, Colorado.
- Claisse, J.T., Pondella, D.J. II, Love, M., Zahn, L.A., Williams, C.M., and Bull, A.S. 2015b. Impacts from Partial Removal of Decommissioned Oil and Gas Platforms on Fish Biomass and Production on the Remaining Platform Structure and Surrounding Shell Mounds. *PLoS ONE* 10(9): e0135812, doi.org/10.1371/journal.pone.0135812.
- Claisse, J.T., Pondella, D.J., Love, M., Zahn, L.A., Williams, C.M., Williams, J.P., and Bull, A.S. 2014. Oil platforms among most productive marine fish habitats globally. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(43): 15462-15467. doi: 10.1073/pnas.1411477111
- Clarke Murray, C., Mach, M.E., and Martone, R.G. 2014. [Cumulative effects in marine ecosystems: scientific perspectives on its challenges and solutions](#). WWF-Canada and Center for Ocean Solutions.
- C-NLOPB. 2014. [Eastern Newfoundland Strategic Environmental Assessment](#).
- CNSOPB. 2018. A Synopsis of Nova Scotia's Offshore Oil and Gas Environmental Effects Monitoring Programs – Summary Report. Canada-Nova Scotia Offshore Petroleum Board. Updated May 2018. 31 p. In press.
- Cordes, E.E., Jones, D.O.B., Schlacher, T.A., Amon, D.J., Bernardino, A.F., Brooke, S., Carney, R., DeLeo, D.M., Dunlop, K.M., Escobar-Briones, E.G., Gates, A.R., Génio, L., Gobin, J., Henry, L-A., Herrera, S., Hoyt, S., Joye, M., Kark, S., Mestre, N.C., Metaxas, A., Pfeifer, S., Sink, K., Sweetman, A.K., and Witte, U. 2016. Environmental Impacts of the Deep-Water Oil and Gas Industry: A Review to Guide Management Strategies. *Frontiers in Environmental Science*, 4: 58. ISSN: 2296-665X, doi: 10.3389/fenvs.2016.00058
- Courtenay, S., McIntyre, C., Lyons, M., Boudreau, M., Burridge, L., and Lee, K. 2013. [Biological effects of produced water from offshore Canadian Atlantic oil and gas platforms on various life stages of marine fish](#). Centre for Offshore Oil, Gas and Energy Research (COOGER). [Environmental Studies Research Fund](#). 39 p. + appendices.
- Crawford, W., Cretney, W., Cherniawsky, J., and Hannah, C. 2002. [Modelling oceanic fates of oil, drilling muds and produced water from the offshore oil and gas industry, with application to the Queen Charlotte Basin](#). Canadian Science Advisory Secretariat. 2002/120 Fisheries and Oceans Canada.
-

-
- Currie, D.R., and Isaacs, L.R. 2005. Impact of exploratory offshore drilling on benthic communities in the Minerva gas field, Port Campbell, Australia. *Mar. Environ. Res.* 59: 217–233. doi:10.1016/j.marenvres.2004.05.001
- Day, R.D., McCauley, R.D., Fitzgibbon, Q.P., Hartmann, K., and Semmens, J.M. 2017. Exposure to seismic air gun signals causes physiological harm and alters behavior in the scallop *Pecten fumatus*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114 (40) E8537-E8546. doi: 10.1073/pnas.1700564114
- DeBlois, E.M., Kiceniuk, J.W., Paine, M.D., Kilgour, B.W., Tracy, E., Crowley, R.D., Williams, U.P., and Janes, G.G. 2014a. Examination of body burden and taint for Iceland scallop (*Chlamys islandica*) and American plaice (*Hippoglossoides platessoides*) near the Terra Nova offshore oil development over ten years of drilling on the Grand Banks of Newfoundland, Canada. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 110: 65-83. ISSN 0967-0645, doi.org/10.1016/j.dsr2.2014.10.016.
- DeBlois, E.M., Tracy, E., Janes, G.G., Crowley, R.D., Wells, T.A., Williams, U.P., Paine, M.D., Mathieu, A., and Kilgour, B.W. 2014b. Environmental effects monitoring at the Terra Nova offshore oil development (Newfoundland, Canada): Program design and overview. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 110: 4-12. ISSN 0967-0645, doi.org/10.1016/j.dsr2.2014.10.012.
- de Soto, N. A., Delorme, N., Atkins, J., Howard, S., Williams, J., and Johnson, M. 2013. Anthropogenic noise causes body malformations and delays development in marine larvae. *Scientific Reports*, 3: 2831. doi: 10.1038/srep02831
- DNV (Det Norske Veritas). 2013. [Monitoring of Drilling Activities in Areas with Presence of Cold Water Corals - Norsk Olje og Gass](#). Report No./DNV Reg No.: 2012-1691 / 12NCQKD-2. Rev 01.
- Doelle, M., and Sinclair, J. 2018. [Regional & Strategic Assessments in the Proposed Federal Impact Assessment Act \(IAA\)](#). *Dalhousie University – Environmental Law News*. February 25, 2018.
- Duncan, A.J., Weilgart, L.S., Leaper, R., Jasny, M., and Livermore, S. 2017. [A modelling comparison between received sound levels produced by a marine Vibroseis array and those from an airgun array for some typical seismic survey scenarios](#). *Marine Pollution Bulletin*, 119(1): 277-288. ISSN 0025-326X.
- Eastwood, P. D., Mills, C. M., Aldridge, J. N., Houghton, C. A., and Rogers, S. I. 2007. Human activities in UK offshore waters: an assessment of direct, physical pressure on the seabed. – *ICES Journal of Marine Science*, 64: 453–463. doi: 10.1093/icesjms/fsm001
- Edge, K. J., Johnston, E. L., Dafforn, K. A., Simpson, S. L., Kutti, T., and Bannister, R. J. 2016. Sub-lethal effects of water-based drilling muds on the deep-water sponge *Geodia barretti*. *Environ. Pollut.* 212: 525–534. doi: 10.1016/j.envpol.2016.02.047
- Edmonds, N.J., Firmin, C.J., Goldsmith, D., Faulkner, R.C., Daniel, and Wood, T. 2016. A review of crustacean sensitivity to high amplitude underwater noise: Data needs for effective risk assessment in relation to UK commercial species. *Marine Pollution Bulletin*, 108(1–2): 5-11. ISSN 0025-326X, doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.05.006
- Ellis, J.I., Fraser, G., and Russell, J. 2012. Discharged drilling waste from oil and gas platforms and its effects on benthic communities. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 456: 285–302. doi: 10.3354/meps09622
- Enhanced Drilling. 2018. [CTS – Cuttings Transport System](#).
-

-
- Fisher, C.R., Demopoulos, A.W.J., Cordes, E.E., Baums, I.B., White, H.K., and Bourque, J.R. 2014. Coral communities as indicators of ecosystem-level impacts of the Deepwater Horizon spill. *Bioscience*, 64: 796–807. doi.org/10.1093/biosci/biu129
- Foden, J., Rogers, S. I., and Jones, A. P. 2011. Human pressures on UK seabed habitats: a cumulative impact assessment, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 428: 33–47. doi: 10.3354/meps09064
- Freiwald, A., Fosså J.H., Grehan A., Koslow T., and Roberts J.M. 2004. [Cold-water coral reefs: out of sight-no longer out of mind](#). Cambridge, UK: UNEP-WCMC, Cambridge, UK.
- Gates, A.R., and Jones, D.O.B. 2012. Recovery of benthic megafauna from anthropogenic disturbance at a hydrocarbon drilling well (380 m Depth in the Norwegian Sea). *PLoS ONE* 7: e44114. doi: 10.1371/journal.pone.0044114
- Griffiths, J. R., Kadin, M., Nascimento, F.J., Tamelander, T., Törnroos, A., Bonaglia, S., Bonsdorff, E., Brüchert, V., Gårdmark, A., and M. Järnström. 2017. The importance of benthic–pelagic coupling for marine ecosystem functioning in a changing world. *Global Change Biology* 23:2179-2196. doi: 10.1111/gcb.13642
- Haggarty, D. R., McCorquodale, B., Johannessen, D. I., Levings, C. D., and Ross, P. S. 2003. [Marine environmental quality in the central coast of British Columbia: A review of contaminant sources, types and risks](#). Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 2507. Fisheries and Oceans Canada.
- Hawkins, A.D., Pembroke, A.E., and Popper, A.N. 2014. Information gaps in understanding the effects of noise on fishes and invertebrates. *Rev. Fish Biol. Fish.* 25, 39e64. doi: 10.1007/s11160-014-9369-3
- Hawkins, A. D., and Popper, A. N. 2017. A sound approach to assessing the impact of underwater noise on marine fishes and invertebrates. *ICES Journal of Marine Science*, 74(3): 635–651. doi:10.1093/icesjms/fsw205
- Hegmann, G., Cocklin, C., Creasey, R., Dupuis, S., Kennedy, A., Kingsley, L., Ross, W., Spaling H., and D. Stalker. 1999. [Cumulative Effects Assessment Practitioners Guide](#). AXYS Environmental Consulting Ltd. and CEA Working Group for the Canadian Environmental Assessment Agency, Hull, Quebec.
- Hendrick V.J., Hutchison Z.L., and Last K. 2016. Sediment burial intolerance of marine macroinvertebrates. *PLOS ONE*. 11(2): e0149114. doi: 10.1371/journal.pone.0149114
- Henry, L-A., Harries, D., Kingston, P., and Roberts, J.M. 2017. Historic scale and persistence of drill cuttings impacts on North Sea benthos. *Marine Environmental Research*, 129: 219-228. ISSN 0141-1136, doi.org/10.1016/j.marenvres.2017.05.008
- Husky Energy. 2012. [White Rose Extension Project – Project Description](#). Husky Oil Operations Limited.
- Hutchison, Z.L., Hendrick, V.J., Burrows, M.T., Wilson B., and Last, K.S. 2016. Buried alive: the behavioural response of the mussels, *modiolus modiolus* and *mytilus edulis* to sudden burial by sediment. *PLOS ONE*: 11(3): e0151471. doi: 10.1371/journal.pone.0151471
- Igwe, C.O., Saadi, A.A.L., and Ngene, S.E. 2013. Optimal Options for Treatment of Produced Water in Offshore Petroleum Platforms. *J. Pollut. Eff. Cont.* 1: 102. doi:10.4172/jpe.1000102
- IPIECA. 2010. [Alien invasive species and the oil and gas industry: Guidance for prevention and management](#). OGP Report Number 436.
-

-
- Iversen, P., Lind, M., Ersvik, M., Rønning, I., Skaare, B., Green, A., Bakke, T., Lichtenthaler, R., Klungsøyr, J., and Hylland, K. 2015. [Environmental monitoring of petroleum activities on the Norwegian continental shelf](#). Norwegian Environment Agency.
- Järnegren, J., Brooke, S., and Jensen, H. 2017. Effects of drill cuttings on larvae of the cold-water coral *Lophelia pertusa*. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 137: 454-462. ISSN 0967-0645, doi.org/10.1016/j.dsr2.2016.06.014
- Jiménez, S., Micó, M.M., Arnaldos, M., Medina, F., and Contreras, S. 2018. State of the art of produced water treatment. *Chemosphere*, 192: 186-208. ISSN 0045-6535, doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.139
- Jones, D.O.B., A.R. Gates, and B. Lausen. 2012. Recovery of deep-water megafaunal assemblages from hydrocarbon drilling disturbance in the Faroe-Shetland Channel. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 461: 71-82. doi: 10.3354/meps09827
- Judd, S., Qiblawey, H., Al-Marri, M., Clarkin, C., Watson, S., Ahmed, A., and Bach, S. 2014. The size and performance of offshore produced water oil-removal technologies for reinjection. *Separation and Purification Technology*, 134: 241-246. ISSN 1383-5866, doi.org/10.1016/j.seppur.2014.07.037
- Kamyab, M. and Rasouli, V. 2016. Experimental and numerical simulation of cuttings transportation in coiled tubing drilling. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 29: 284-302. ISSN 1875-5100, doi.org/10.1016/j.jngse.2015.11.022
- Kenny, A.J., Jenkins, C., Wood, D., Bolam, S.G., Mitchell, P., Scougal, C., and Judd, A. Edited by S. Degraer. 2018. Assessing cumulative human activities, pressures, and impacts on North Sea benthic habitats using a biological traits approach. *ICES Journal of Marine Science*, 75(3): 1080-1092. doi.org/10.1093/icesjms/fsx205
- Lalli, C.M., and Parsons, T.R. 1997. Chapter 5 – Energy Flow and Mineral Cycling. In *Biological Oceanography: An Introduction (2nd Edition)*, Butterworth-Heinemann, Oxford. pp. 112-146. ISBN 9780750633840, doi.org/10.1016/B978-075063384-0/50061-X
- Lanzén, A., Lekang, K., Jonassen, I., Thompson, E. M., and Troedsson, C. 2016. High-throughput metabarcoding of eukaryotic diversity for environmental monitoring of offshore oil-drilling activities. *Molecular Ecology*, 25: 4392-4406. doi10.1111/mec.13761
- Leckie, S.H.F., Mohr, H., Draper, S., McLean, D.L., White, D.J., and Cheng, L. 2016. Sedimentation-induced burial of subsea pipelines: Observations from field data and laboratory experiments. *Coastal Engineering*, 114: 137-158. ISSN 0378-3839, doi.org/10.1016/j.coastaleng.2016.04.017
- Lee, K., Boufadel, M., Chen, B., Foght, J., Hodson, P., Swanson, S., and Venosa, A. 2015. Expert Panel Report on the Behaviour and Environmental Impacts of Crude Oil Released into Aqueous Environments. Royal Society of Canada, Ottawa, ON. ISBN: 978-1-928140-02-3
- Lee, K., Armsworthy, S.L., Cobanli, S.E., Cochrane, N.A., Cranford, P.J., Drozdowski, A., Hamoutene, D., Hannah, C.G., Kennedy, E., King, T., Niu, H., Law, B.A., Li, Z., Milligan, T.G., Neff, J., Payne, J.F., Robinson, B.J., Romero, M., and Worcester, T. 2011a. [Consideration of the Potential Impacts on the Marine Environment Associated with Offshore Petroleum Exploration and Development Activities](#). DFO. Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2011/060: xii + 134 p.
-

-
- Lee, K., Cobanli, S., Robinson, B., and Wohlgeschaffen, G. 2011b. Application of microbiological methods to assess the potential impact of produced water discharges. In *Produced Water, Environmental Risks and Advances in Mitigation Technologies 1*. Edited by K. Lee, and J.M. Neff. Springer, New York. pp. 353-373. doi: 10.1007/978-1-4614-0046-2_19
- Li, Z., Lee, K., Robinson, B., and Ma, X. 2009. [Biodegradation of synthetic-based drilling muds in marine sediments](#). In *Proceedings of the 10th International In situ and On-site Bioremediation Symposium*. May 5-8, 2009, Baltimore, Maryland. Batelle (ed.). Batelle, Columbus, Ohio.
- LGL Limited. 2014. Environmental Assessment EMGS East Canada CSEM Survey, 2014–2018 Addendum. LGL Rep. SA1248. Rep. by LGL Limited, St. John's, NL, for Electromagnetic Geoservices Americas Inc., Vancouver, BC. 23 p. + appendices.
- Ma, T., Chen, P., and Zhao, J. 2016. Overview on vertical and directional drilling technologies for the exploration and exploitation of deep petroleum resources. *Geomechanics Geophys. Geo-Energy Geo-Resources*, 2(4): 265-395. doi 10.1007/s40948-016-0038-y
- Martin, N. and Radford, A. 2018. [Response to North Carolina Coastal Management Request for Supplemental Consistency Certification](#). Spectrum Geo Inc. Houston, Texas.
- Mathieu, A., Hanlon, J., Meyers, M., Melvin, W., French, B., DeBlois, E.M., King, T., Lee, K., Williams, U.P., Wight, F.M., and Janes, G. 2011. Studies on fish health around the Terra Nova oil development site on the Grand Banks before and after release of produced water. In *Produced Water: Environmental Risks and Mitigation Technologies*. Edited by K. Lee and J. Neff. Springer Publishing. doi: 10.1007/978-1-4614-0046-2_20
- McCauley, R.D., Day, R.D., Swadling, K.M., Fitzgibbon, Q.P., Watson, R.A., and Semmens, J.M. 2017. Widely used marine seismic survey air gun operations negatively impact zooplankton. *Nat Ecol Evol*. Jun 22;1(7): 195. doi: 10.1038/s41559-017-0195
- McLean, D.L., Partridge, J.C., Bond, T., Birt, M.J., Bornt, K.R., and Langlois, T.J. 2017. Using industry ROV videos to assess fish associations with subsea pipelines. *Continental Shelf Research*, 141: 76-97. ISSN 0278-4343, doi.org/10.1016/j.csr.2017.05.006
- Morris, C.J., Cote, D., Martin, B., and Kehler, D. 2018. Effects of 2D seismic on the snow crab fishery. *Fisheries Research* 197: 67-77. doi.org/10.1016/j.fishres.2017.09.012
- MPO. 2018. [Examen des énoncés des incidences environnementales pour le projet de forage exploratoire au large des côtes de la passe Flamande et de l'est de Terre-Neuve-et-Labrador](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Réponse des Sciences. 2018/026.
- MPO. 2017. [Délimitation des zones importantes de communautés dominées par les coraux et les éponges d'eau froide dans les eaux marines du Canada atlantique et de l'est de l'Arctique et chevauchement avec les activités de pêche](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2017/007.
- MPO. 2017b. [Orientation sur le niveau de protection des zones importantes de communautés dominées par les coraux et les éponges d'eau froide dans les eaux de Terre-Neuve-et-Labrador](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Réponse des Sciences. 2017/030.
- MPO. 2013. [Énoncé de politique sur la protection des pêches](#). MPO Can. MPO/13-1904. ISBN : 978-1-660-21436-8..
- MPO. 2011. [The Marine Environment and Fisheries of Georges Bank, Nova Scotia: Consideration of the Potential Interactions Associated with Offshore Petroleum Activities](#). Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2945 : xxxv + 492 pp.
-

-
- MPO. 2008. Énoncé des pratiques canadiennes d'atténuation des ondes sismiques en milieu marin. MPO Can. Accès : <http://www.dfo-mpo.gc.ca/oceans/publications/seismic-sismique/index-fra.html>.
- MPO. 2004. [Évaluation des renseignements scientifiques sur les impacts des bruits sismiques sur les poissons, les invertébrés, les tortues et les mammifères marins](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Rapp. sur l'état des habitats 2004/002.
- Muschenheim, D.K., and Milligan, T.G. 1996. Flocculation and accumulation of fine drilling waste particulates on the Scotian Shelf (Canada). *Marine Pollution Bulletin*. 32: 740-745. [doi.org/10.1016/0025-326X\(96\)00020-3](https://doi.org/10.1016/0025-326X(96)00020-3)
- Natgas. 2013. [Natural Gas and Technology](#). September 13, 2013.
- NEB, C-NLOPB and CNSOPB. 2010. Offshore Waste Treatment Guidelines.
- NEB, C-NLOPB and CNSOPB. 2009. Offshore Chemical Selection Guidelines for Drilling and Production Activities on Frontier Lands.
- Nedelec, S.L., Radford, A.N., Simpson, S.D., Nedelec, B., Lecchini, D., and Mills, S.C. 2014. [Anthropogenic noise playback impairs embryonic development and increases mortality in a marine invertebrate](#). *Sci. Rep.*, 4: 5891
- Neff, J., Lee, K., and DeBlois, E.M. 2011. Produced water: overview of composition, fates, and effects. In *Produced Water*; Springer: New York, NY, US. pp. 3-54, ISBN 9781461400455
- Nguyen, T.T., Cochrane, S.K.J., and Landfald, B. 2018. Perturbation of seafloor bacterial community structure by drilling waste discharge. *Marine Pollution Bulletin*, 129(2): 615-622. ISSN 0025-326X, doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.10.039
- Nowacek, D.P., and Southall, B.L. 2016. [Effective planning strategies for managing environmental risk associated with geophysical and other imaging surveys](#). Gland, Switzerland: IUCN. 42 p. ISBN: 978-2-8317-1805-7.
- Olsgard, F., and Gray, J. S. 1995. A comprehensive analysis of the effects of offshore oil and gas exploration and production on the benthic communities of the Norwegian continental shelf. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 122: 277–306. doi: 10.3354/meps122277
- ONE, C-NLOPB et OCNEHE. 2010. Directives sur le traitement des déchets extracôtiers.
- ONE, C-NLOPB et OCNEHE. 2009. Lignes directrices sur la sélection des produits chimiques pour les activités de forage et de production sur les terres domaniales extracôtières.
- OSPAR. 2001. [OSPAR Recommendation 2001/1 for the Management of Produced Water from Offshore Installations \(Consolidated Text\)](#). OSPAR Recommendation 2001/1 adopted by OSPAR2001 (OSPAR01/18/1, Annex 5). Amended by OSPAR Recommendation 2006/4 (OSPAR 06/23/1, Annex 15) and OSPAR Recommendation 2011/8 (OSPAR 11/20/1, Annex 19).
- Paine, M. D., DeBlois, E. M., Kilgour, B. W., Tracy, E., Pocklington, P., Crowley, R. D., Williams, U.P., and Janes, G.G. 2014. Effects of the Terra Nova offshore oil development on benthic macro-invertebrates over 10 years of development drilling on the Grand Banks of Newfoundland, Canada. *Deep Sea Res. II*, 110:38–64. doi: 10.1016/j.dsr2.2014.10.015
- Payne, J.F., Andrews, C.D., Hanlon, J., Lawson, J., Mathieu, A., Wadsworth, A., and French, B. 2015. [Effects of Seismic Air-Gun Sounds on Lobster \(*Homarus americanus*\): Pilot Laboratory Studies with \(i\) a Recorded Track from a Seismic Survey and \(ii\) Air-Gun Pulse Exposures over 5 Days](#). *Environmental Studies Research Fund*. Natural Resources Canada. Report No. 197. St. John's, NL. 38 p.
-

-
- Payne, J., Fancy, L., Andrews, C., Meade, J., Power, F., Lee, K., Veinott, G., and Cook, A. 2001. [Laboratory exposures of invertebrate and vertebrate species to concentrations of IA-35 \(Petro-Canada\) drill mud fluid, production water and Hibernia drill mud cuttings](#). Can. Ms. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2560: iv + 27 p.
- Popper, A.N., and Hawkins, A.D. 2018. The importance of particle motion to fishes and invertebrates. The Journal of the Acoustical Society of America. 143: 470. doi: 10.1121/1.5021594
- Popper, A.N., Hawkins, A.D., Fay, R. R., Mann, D.A., Bartol, S., Carlson, T.J., Coombs, S., Ellison, W.T., Gentry, R.L., Halvorsen, M. B., Lokkeborg, S., Rogers, P.H., Southall, B., Zeddies, D., and Tavolga, W.A. (2014). ASA S3/SC1. 4 TR-2014 Sound Exposure Guidelines for Fishes and Sea Turtles: A Technical Report prepared by ANSI Accredited Standards Committee S3/SC1 and registered with ANSI. Springer, New York. doi: 10.1007/978-3-319-06659-2
- Przeslawski, P., Huang, Z., Anderson, J., Carroll, A.G., Edmunds, M., Hurt, L., and Williams, S. 2018. [Multiple field-based methods to assess the potential impacts of seismic surveys on scallops](#). Marine Pollution Bulletin, 129(2): 750-761. ISSN 0025-326X,
- Richardson, A.J., Matear, R.J., and Lenton, A. 2017. [Potential impacts on zooplankton of seismic surveys](#). CSIRO Oceans and Atmosphere, Australia. The Australian Petroleum Production and Exploration Association. 34 pp.
- Roberts, L., Cheesman, S., Elliott, M., and Breithaupt, T. 2016. Sensitivity of *Pagurus bernhardus* (L.) to substrate-borne vibration and anthropogenic noise. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 474: 185-194. ISSN 0022-0981, doi.org/10.1016/j.jembe.2015.09.014
- Seibert, M.G. 2011. [Determining anchoring systems for marine renewable energy devices moored in a western boundary current](#). Thesis (M.Sc.) Florida Atlantic University, College of Engineering and Computer Science, Boca Raton, Florida. 123 p.
- Seibert, M.G. (n.d.). [Comparing benthic impact of anchor systems for marine renewable energy systems off the coast of Southeast Florida](#) [PowerPoint slides].
- Sheehy, D.J., and Vik, S.F. 2010. The role of constructed reefs in non-indigenous species introductions and range expansions. Ecological Engineering, 36(1): 1-11. ISSN 0925-8574, doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.09.012
- Shinn, D.C. 2018. [Green oil: offshore rig technology disruption in Norway continues](#). Bassoe Offshore. 5 April 2018.
- Solan, M., Hauton, C., Godbold, J.A., Wood, C.L., Leighton, T.G., and White, P. 2016. Anthropogenic sources of underwater sound can modify how sediment-dwelling invertebrates mediate ecosystem properties. Scientific Reports 6:20540. doi:10.1038/srep20540
- Sundt, R.C., Brooks, S., Ruus, A., Grung, M., Arab, N., Godal, B.F., Barsiene, J., and Skarphedinsdottir, H. 2008. [Water Column Monitoring 2008](#). International Research Institute of Stavanger, Stavanger, Norway. Report 7151832.
- Tait, R.D., Maxon, C.L., Parr, T.D., and Newton, F.C. 2016. Benthos response following petroleum exploration in the southern Caspian Sea: Relating effects of nonaqueous drilling fluid, water depth, and dissolved oxygen. Marine Pollution Bulletin, 110(1): 520-527. ISSN 0025-326X, doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.02.079
-

-
- Trannum, H.C. 2017. Drilling discharges reduce sediment reworking of two benthic species. *Marine Pollution Bulletin*, 124(1): 266-269. ISSN 0025-326X, doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.07.044
- Trannum, H.C., Setvik, Å., Norling, K., and Nilsson, H.C. 2011. Rapid macrofaunal colonization of water-based drill cuttings on different sediments, *Marine Pollution Bulletin*, 62(10): 2145-2156. ISSN 0025-326X, doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.07.007
- UNEP. 2012. [Scientific Synthesis on the Impacts of Underwater Noise on Marine and Coastal Biodiversity and Habitats](#). United Nations Environment Programme. Subsidiary Body on Scientific, Technical and Technological Advice, Convention on Biological Diversity. Sixteenth meeting, Montreal, 30 April-5 May 2012.
- Vad, J., Kazanidis, G., Henry, L-A., Jones, D.O.B., Tendal, O.S., Christiansen, S., Henry, T.B., and Roberts, J.M. 2018. Potential impacts of offshore oil and gas activities on deep-sea sponges and the habitats they form. *Advances in Marine Biology*, Academic Press. ISSN 0065-2881, doi.org/10.1016/bs.amb.2018.01.001
- Wale, M.A., Simpson, S.D., and Radford, A.N. 2013. Size-dependent physiological responses of shore crabs to single and repeated playback of ship noise. *Biol Lett* 9:20121194. doi:10.1098/rsbl.2012.1194
- Wareham, V. 2010. [Identification, distribution, & conservation of deep-sea corals in Canada's Northwest Atlantic](#). MSc. Thesis, Memorial University, St. John's, NL, Canada.
- Worcester, T. 2006. [Effects of Seismic Energy on Fish: A Literature Review](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Research Document 2006/092.
- Zheng, J., Chen, B., Thanyamanta, W., Hawboldt, K., Zhang, B., and Liu, B. 2016. Offshore produced water management: A review of current practice and challenges in harsh/Arctic environments. *Marine Pollution Bulletin*, 104(1–2): 7-19. ISSN 0025-326X, dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.004

ANNEXE 1 : MESURES D'ATTÉNUATION VISANT À RÉDUIRE LES IMPACTS POTENTIELS DES ACTIVITÉS PÉTROLIÈRES ET GAZIÈRES EXTRACÔTIÈRES DANS LES ZONES POUR LESQUELLES DES OBJECTIFS DE CONSERVATION DES ESPÈCES ET DES HABITATS BENTHIQUES ONT ÉTÉ DÉFINIS

Répercussions possibles	Mesures d'atténuation
<p>Bruit sous-marin associé aux levés sismiques (2D, 3D, tous azimuts, HR2D)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mortalité directe • Dommages tissulaires ou physiologiques (mortalité indirecte) • Déficience auditive • Effet de masque • Changements dans la réponse comportementale • Changements de l'habitat à la suite d'un remaniement de sédiments altérés 	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliser la source la plus petite (nombre et taille des canons à air) et la quantité minimale d'énergie nécessaire à l'atteinte des objectifs opérationnels. • Réduire la surface faisant l'objet de levés pour n'inclure que les zones pour lesquelles il est essentiel d'obtenir des données. • Modifier la zone des levés, le moment et la durée pertinents pour éviter ou réduire les impacts potentiels sur des espèces et des habitats sensibles et protégés clés durant les périodes sensibles (p. ex. évitement des principales périodes de frai des coraux et d'autres espèces d'importance écologique). • Éviter la dispersion d'agrégations de poissons reproducteurs à partir d'une aire de frai connue ou le déplacement d'agrégations de poissons en dehors des routes ou couloirs migratoires connus. • Envisager l'utilisation d'autres sources et technologies, à plus faible niveau d'énergie, qui pourraient réduire les niveaux de sortie acoustique (p. ex. méthodes vibrosismiques marines). • Éviter les levés redondants dans la même zone ou envisager que les levés soient menés par plusieurs exploitants. • Mettre en œuvre une meilleure planification et des efforts coordonnés (p. ex. gestion centralisée de la collecte de données et répartition des efforts d'exploration). • Certaines de ces mesures peuvent également permettre de réduire la probabilité et l'ampleur des impacts des levés électromagnétiques sur les espèces benthiques sensibles (les impacts potentiels sont méconnus).
<p>Bruit/vibrations résultant des activités à impact élevé menées sur le fond marin (p. ex. installation de têtes de puits/de conducteurs, battage de pieux)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mortalité directe 	<ul style="list-style-type: none"> • Enclore l'amas de battage avec un matériau insonorisé (couverture). • Éviter de mener à bien des activités à impact élevé sur le fond marin à proximité²¹ de zones où se trouvent des espèces et des habitats benthiques sensibles et durant les périodes sensibles du cycle biologique (p. ex. frai, migration). • Envisager l'enfoncement hydraulique des pieux, ce qui entraîne moins d'émissions sonores, qui se situent près des niveaux de bruit ambiant en mer.

²¹ Nous ne disposons pas de suffisamment de données scientifiques pour établir les distances de propagation du son ou les impacts potentiels et les seuils de tolérance des espèces.

Répercussions possibles	Mesures d'atténuation
<ul style="list-style-type: none"> • Dommages tissulaires ou physiologiques (mortalité indirecte) • Déficience auditive • Effet de masque • Changements dans la réponse comportementale • Changements de l'habitat à la suite d'un remaniement de sédiments altérés 	
<p>Dépôt de boues et de déblais de forage et mise en place de l'infrastructure</p> <ul style="list-style-type: none"> • Impacts directs (écrasement, enfouissement, fragmentation) • Sédimentation (étouffement, obstruction des structures d'alimentation et d'échange gazeux) • Toxicité chimique (effets d'enrichissement, effets physiques sur les tissus, déstabilisation des habitats) 	<ul style="list-style-type: none"> • Acquérir des images du fond marin pour identifier, cartographier et quantifier les espèces, les communautés et les habitats benthiques sensibles là où des activités ou l'infrastructure peuvent entrer en contact avec le fond marin ou avoir des incidences sur celui-ci (p. ex. levés géotechniques, échantillonnage environnemental, sites des puits, emplacements d'amarrage, flotteurs, conduites d'écoulement) : <ul style="list-style-type: none"> ○ S'assurer que les technologies d'imagerie acoustique aient une résolution adéquate pour pouvoir détecter des espèces et des habitats benthiques sensibles qu'on sait présents dans la région. ○ Déterminer les profils des levés et les étendues spatiales/couloirs en tenant compte des résultats de la modélisation de la dispersion des déblais, es seuils d'effets biologiques et de l'activité ou de l'infrastructure. ○ Confirmer la présence ou l'absence d'organismes et d'habitats benthiques sensibles selon les transects couverts par des caméras ou des systèmes vidéo lestés dans les zones protégées ou dans celles qui affichent une probabilité élevée d'occurrence d'espèces et d'habitats benthiques sensibles. • Ajuster la planification des puits et les emplacements de l'infrastructure pour éviter les espèces et les habitats benthiques sensibles en incluant leurs emplacements et les distances d'éloignement applicables dans les analyses des contraintes : <ul style="list-style-type: none"> ○ Déterminer des distances d'éloignement suffisantes pour tenir compte des facteurs biologiques touchant les organismes et les habitats benthiques sensibles. ○ Distances d'éloignement proposées minimales pour les espèces et habitats benthiques sensibles (Cordes <i>et al.</i> 2016) : <ul style="list-style-type: none"> ▪ à 200 m de l'infrastructure mise en place sur le fond marin, sans rejet attendu;

Répercussions possibles	Mesures d'atténuation
	<ul style="list-style-type: none"> <ul style="list-style-type: none"> ▪ à deux kilomètres de tout point ou surface de rejet (par ex. infrastructure flottante). ○ On peut utiliser un système de transport des déblais de forage (STDF) pour transférer les boues et les déblais de forage dans une zone de rejet située à une distance d'éloignement suffisante par rapport aux ZBV. • Réduire le volume des fluides de forage requis et les déblais de forage produits en envisageant d'utiliser des méthodes et des technologies de rechange (en tenant compte des pous et des contres)²² : <ul style="list-style-type: none"> ○ enfoncement du tube conducteur; ○ puits à trou mince ou micro-forage; ○ réduction du nombre de sections de puits; ○ forage sans baryte/bentonite reposant sur l'utilisation de saumure lourde et de cellulose; ○ tube de production enroulé; ○ forage dirigé; ○ combinaison de méthodes pour accroître l'efficacité (p. ex. utilisation d'un trou mince avec une technologie de tube enroulé). • Envisager d'utiliser un système de récupération des boues durant le forage sans tube ascenseur (section supérieure du trou) pour renvoyer les boues et les déblais de forage vers l'appareil de forage, où ils seront utilisés différemment ou éliminés (en tenant compte des pous et des contres) : <ul style="list-style-type: none"> ○ rejet de déblais de forages des BBE non traités depuis l'appareil de forage; ○ transformation en boues grossières et rejet depuis l'appareil de forage; ○ transformation en boues et réutilisation comme boues de forage; ○ procédé « sauter et expédier » pour l'élimination à terre des déblais de forage séparés; ○ manutention en vrac des déblais sur un navire fournisseur pendant le forage, pour le transport et l'élimination à terre; ○ « soufflage » des déblais sur un navire pendant le forage; ○ transformation en boues grossières des déblais séparés aux fins d'élimination sur le fond marin. • On peut envisager la réinjection des déblais à partir des plateformes de production. • On peut envisager un forage en grappe ou un forage dirigé pour minimiser la nécessité de plateformes satellites, concentrer les rejets dans un emplacement ou accéder aux réservoirs qui se trouvent sous

²² Par exemple, l'enfoncement du conducteur peut se traduire par la production (de façon marginale) de moins de déblais, mais accroître les impacts sur les espèces benthiques par la production d'ondes sonores d'interface :

Répercussions possibles	Mesures d'atténuation
	<p>des zones abritant des espèces et des habitats benthiques protégés ou sensibles.</p> <ul style="list-style-type: none"> • On peut utiliser des systèmes de production sous-marins pour minimiser la nécessité de plateformes satellites.
<p>Mise en place et récupération des ancrés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Impacts directs (écrasement, enfouissement, fragmentation) • Sédimentation (étouffement, obstruction des structures d'alimentation et d'échange gazeux) 	<ul style="list-style-type: none"> • Éviter l'ancrage en utilisant un appareil de forage à positionnement dynamique (PD). • Choisir des ancrés et des chaînes qui présentent des caractéristiques propices à la réduction des impacts : <ul style="list-style-type: none"> ○ choisir des ancrés de taille appropriée d'après des levés détaillés des sites; ○ utiliser des fonds d'ancre plus rugueux pour diminuer le dragage et l'affouillement du fond marin; ○ ajouter des poids pour entraîner l'enfoncement des ancrés afin de réduire les impacts des lignes d'amarre; ○ utiliser des lignes flottantes pour surélever les points de contact des ancrés ou de parties de chaînes au-dessus du fond marin; ○ installer des bouées de ramassage pour permettre la récupération des ancrés par un VTG. • Installer préalablement les ancrés et les chaînes au moyen d'un VTG pour accroître la précision du positionnement. • Récupérer les ancrés au moyen d'un VTG pour éviter d'utiliser un grappin. • Utiliser un câble en fibre et des bouées pour conférer de la flottabilité aux chaînes. • Augmenter les poids des ancrés et des chaînes pour réduire l'écartement des ancrés, permettre leur mise en place plus près de l'appareil de forage et ajouter de la souplesse à leur positionnement.
<p>Mise en place et enrobage des pipelines</p> <ul style="list-style-type: none"> • Impacts directs (écrasement, enfouissement, fragmentation) • Sédimentation (étouffement, obstruction des structures d'alimentation et d'échange gazeux) 	<ul style="list-style-type: none"> • Mener un levé au moyen d'un VTG sur le tracé proposé du pipeline : <ul style="list-style-type: none"> ○ ménager un couloir de 200 m de largeur aux endroits où des espèces ou habitats sensibles sont susceptibles de se trouver; ○ ménager un couloir de 500 m de largeur dans les zones connues pour abriter des espèces ou des habitats sensibles. • Ajuster le tracé prévu du pipeline pour éviter les espèces et les habitats benthiques sensibles en incluant leur emplacement et les distances d'éloignement applicables dans les analyses des contraintes : <ul style="list-style-type: none"> ○ déterminer des distances d'éloignement suffisantes en tenant compte de facteurs biologiques touchant les organismes et les habitats benthiques sensibles; ○ la NOROG (DNV 2013) recommande que les pipelines soient situés à plus de 50 m de coraux et d'autres espèces et habitats benthiques sensibles; ○ Cordes <i>et al.</i> (2016) proposent des distances d'éloignement par rapport aux espèces et habitats benthiques sensibles de 200 m

Répercussions possibles	Mesures d'atténuation
	<p>de l'infrastructure sans rejet prévu mise en place sur le fond marin (c.-à-d. les pipelines).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utiliser des navires à positionnement dynamique (PD) pour la pose du pipeline. • La technologie des installations flottantes de GNL (en cours de mise au point) pourrait éliminer la nécessité de poser des pipelines jusqu'au rivage.
<p>Traitement et rejet d'eau produite et de composants dissous :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toxicité directe • Effets sublétaux découlant d'une exposition chronique • Chaîne alimentaire et amplification trophique 	<ul style="list-style-type: none"> • S'accompagne d'une diminution de l'eau produite en modifiant les processus de forage, en adaptant les technologies ou en utilisant des produits de substitution (tout en tenant compte des pous et des contres) : <ul style="list-style-type: none"> ○ blocage mécanique de l'entrée de l'eau dans le puits; ○ utilisation de produits chimiques dans la formation pour bloquer les canaux ou les fractures contenant de l'eau; ○ emploi des techniques de séparation de l'huile et de l'eau au fond du puits. • Recycler/réutiliser l'eau produite en la réinjectant pour améliorer la production de pétrole ou pour optimiser la récupération du pétrole. • Employer des méthodes de traitement innovantes (p. ex. technologie des membranes, évaporation, adsorption en tour de filtration et échange d'ions).

ANNEXE 2 : GLOSSAIRE

Puits abandonné

Un puits foré qui a été converti dans un état tel qu'on peut le laisser indéfiniment sans devoir y accorder une attention particulière.

Espèce exotique envahissante

Une espèce qui n'est pas indigène à une zone et qui a été introduite intentionnellement ou accidentellement par l'homme.

Anthropique

Créé par l'homme.

Encrassement biologique

Une accumulation de microorganismes, de plantes, d'algues ou d'animaux sur une surface mouillée.

Benthique

Définit un habitat ou un organisme qui se trouve au fond d'un cours d'eau ou de la mer (par comparaison avec pélagique).

Benthos

L'ensemble des organismes (plantes et animaux) qui vivent sur le fond d'une étendue d'eau, notamment l'océan, ou qui lui sont étroitement associés.

Bioaccumulation

La concentration de composés à longue durée de vie dans la chair et les organes d'organismes qui ingèrent des proies ayant elles-mêmes ingéré ces composés.

Biodiversité

La variété des organismes qui sont pris en considération à tous les niveaux, depuis les variantes génétiques au sein d'une même espèce jusqu'aux groupements de genre, en passant par les groupements d'espèces; familles et niveaux taxonomiques supérieurs; cela comprend la variété d'écosystèmes, qui comportent à la fois des communautés d'organismes au sein d'habitats particuliers et les conditions physiques dans lesquels elles vivent.

Bioindicateur

Un organisme dont la situation dans un écosystème est analysée en tant qu'indication de la santé de l'écosystème.

Coraux

Les coraux sont des invertébrés marins qui peuvent exister sous forme de polypes coralliens individuels, de colonies de formes diverses qui contiennent de nombreux polypes de la même espèce et de récifs comportant de nombreuses colonies constituées d'une ou de plusieurs espèces. Les coraux d'« eau froide » ou des « grands fonds » obtiennent l'énergie et les éléments nutritifs dont ils ont besoin pour survivre en piégeant de minuscules organismes dans les courants qui passent. En raison de la régénération continue de nouveaux polypes, certains récifs coralliens des grands fonds ont affiché une croissance active durant quelque 40 000 ans.

Conservation

L'utilisation durable et la protection, l'entretien, la réhabilitation, la restauration, le rétablissement et l'aménagement des écosystèmes, des habitats naturels et de populations viables d'espèces dans leur milieu naturel.

Déblais

Éclats et petits fragments de roches qui sont produits par le forage et qui sont acheminés vers le haut depuis le trépan jusqu'à la surface par les boues de forage.

Puits de délimitation

Un puits foré après un puits de découverte pour déterminer l'étendue aréale d'un réservoir.

Puits de développement

Un puits foré dans un champ ou sur une zone dans laquelle des hydrocarbures ont été trouvés aux fins de l'achèvement de la production désirée.

Démersal

Une partie de l'océan ou d'un lac qui comprend la colonne d'eau et qui se trouve près du fond marin et du benthos (et qui est significativement affectée par ceux-ci). La zone démersale se situe juste au-dessus de la zone benthique. Le terme peut également renvoyer à toutes les espèces qui vivent sur le fond marin ou à proximité de celui-ci.

Forage dirigé

Forage de puits non verticaux. Plusieurs puits peuvent être regroupés (40 puits ou plus) et étalés en éventail par rapport à une plateforme. On peut accéder aux réservoirs qui ne sont pas facilement accessibles à partir des emplacements disponibles à la surface en pratiquant des forages dirigés.

Tube de forage

Les sections de tube en acier, qui mesurent environ neuf mètres de longueur et qui sont vissées ensemble pour former un tube continu qui s'étend de l'appareil de forage jusqu'au trépan situé au fond du trou. La rotation du tube de forage et du trépan permet à ce dernier de creuser la roche.

Train de tiges

Un ensemble de tubes de forage jointés qui s'étend du trépan jusqu'au kelly (et qui est utilisé pour transmettre le mouvement rotatoire de la table rotative jusqu'au train de tiges). Le train de tige transporte les boues jusqu'au trépan, et imprime à celui-ci un mouvement de rotation.

Fluide de forage

Des fluides circulent de façon continue vers le bas du trou de forage pour refroidir et lubrifier le trépan, lubrifier le tube de forage, transporter les déblais rocheux vers la surface et contrôler la pression du trou.

Boue de forage

Terme communément utilisé pour désigner les fluides de forage.

Écosystème

Un complexe dynamique des organismes (incluant les humains) et de l'environnement physique (type de sol/de fond, eau, géologie, etc.) qui interagissent en tant qu'unité fonctionnelle. Les écosystèmes peuvent présenter des variations considérables pour ce qui est de leur taille et de

leur composition, et présentent des relations fonctionnelles au sein des systèmes et entre ceux-ci. Ils peuvent être relativement vierges ou modifiés à vaste échelle par les activités et les utilisations humaines. Ils peuvent être aquatiques ou terrestres, et être stériles ou hautement productifs.

Épifaune

L'ensemble des organismes qui exercent la plus grande partie de leur activité d'alimentation au-dessus de la surface benthique.

Puits d'exploration

Un puits foré dans une zone où l'on n'a pas précédemment trouvé de pétrole ou un puits ciblé pour atteindre les formations qui se trouvent au-dessus ou en dessous de réservoirs connus.

Conduite d'écoulement

Un pipeline sous-marin qui raccorde des puits satellites ou des plateformes à une plateforme de production centrale.

Formation

Un terme utilisé pour désigner l'unité primaire de la stratigraphie qui consiste en une succession de strates utiles à la cartographie ou à la description et qui possède certaines caractéristiques distinctives, lithologiques et autres.

Levé géophysique

Recherche et cartographie de la structure de la subsurface de la croûte terrestre au moyen de méthodes géophysiques (p. ex. sismiques) visant à localiser des structures de réservoir probables capables de produire des quantités commerciales d'hydrocarbures.

Habitat

Une zone fonctionnelle utilisée par des organismes en tant que système de maintien de la vie. La taille et la composition des habitats peuvent varier considérablement. Un habitat comprend des caractéristiques biotiques et abiotiques. Parfois, il peut être étroitement lié à un écosystème.

Substrat dur/matériaux inertes

Les organismes sessiles et les algues doivent se fixer sur un matériau de base solide et dur. Les organismes sédentaires utilisent du substrat dur comme site de résidence temporaire ou permanent. Le substrat dur renvoie aux matériaux durs qui se trouvent le long du fond marin, tandis que les matériaux inertes renvoient aux matériaux durs qui se trouvent dans la colonne d'eau.

Forage horizontal

Un sous-terme du terme plus général de « forage dirigé », qui est utilisé lorsque l'inclinaison du trou de forage par rapport à la verticale dépasse environ 80 degrés.

Hydrocarbure

Un composé organique ne contenant que du carbone et de l'hydrogène.

Indigène

Un organisme originaire d'une région, mais que l'on peut également trouver ailleurs.

Endofaune

Ensemble des espèces benthiques vivant sur le fond marin.

Injecter

Injection d'eau ou de gaz dans un réservoir en production pour maintenir la pression au sein du réservoir, optimiser la récupération et conserver la ressource.

Injection

Processus de pompage du gaz ou de l'eau dans un réservoir en production pour induire un mécanisme d'entraînement afin d'accroître la production.

Espèces clés

Les espèces qui revêtent une importance cruciale pour le maintien des processus écologiques ou la diversité de leurs écosystèmes.

Effet de masque

L'effet de masque se produit lorsque le bruit interfère avec la capacité d'un animal de percevoir (détecter, interpréter ou discriminer) un son. Des sources sonores tant naturelles (p. ex. crevettes) que d'origines anthropiques (p. ex. bruit des navires) peuvent se traduire par une augmentation du bruit dans l'environnement. L'ampleur de l'effet de masque dépend du niveau, de la bande de fréquences et de la durée du bruit, par rapport au son d'intérêt.

Aire de croissance

Une zone dans laquelle la densité des organismes subadultes est plus importante que dans d'autres habitats, et dans laquelle l'habitat confère des avantages qui entraînent une meilleure survie de ces organismes et l'atteinte de la classe suivante de plus grande taille.

Zone extracôtière

Une zone qui se situe au large de la Nouvelle-Écosse ou de Terre-Neuve-et-Labrador et qui relève de la compétence des offices, tel que défini à l'annexe 1 de la *Loi de mise en œuvre de l'Accord atlantique Canada*.

Boues à base d'huile

Boues de forage au sein desquelles la phase continue est l'huile minérale.

Exploitant

Le titulaire d'une autorisation de réaliser des activités pétrolières dans la zone extracôtière.

Pélagique

Terme définissant un habitat ou un organisme qui fréquente la haute mer ou la colonne d'eau, à l'écart du fond marin (par comparaison avec benthique).

Plancton

Terme collectif désignant des plantes et des animaux de faible taille qui flottent et dérivent à la faveur des courants. Le phytoplancton est la composante végétale, et le zooplancton est la composante animale.

Phytoplancton

Organismes végétaux microscopiques en suspension.

Pipeline

Un pipeline sous-marin (aussi appelé pipeline marin ou extracôtier) et un pipeline qui est posé sur le fond marin ou sous celui-ci dans une tranchée, et qui sert principalement à transporter du pétrole ou du gaz. Une conduite d'écoulement est un pipeline qui se trouve à l'intérieur d'un champ (c.-à-d. qui est utilisé pour raccorder des têtes de puits sous-marines, des collecteurs et la plateforme dans un champ en développement donné), tandis qu'un pipeline (parfois appelé un pipeline d'exportation) est utilisé pour transporter la ressource à terre.

Population

Un groupe d'organismes se reproduisant entre eux et occupant un espace donné; le nombre de créatures vivantes dans une zone désignée.

Eau produite

L'eau produite à partir d'un trou de forage de pair avec le pétrole et le gaz, qui est composée de substances organiques et inorganiques émanant de formations géologiques, et qui contient divers additifs et produits chimiques de traitement introduits durant les processus d'extraction et de production. Les caractéristiques de l'eau produite sont variables, et on compte au nombre des constituants l'eau de mer, les sels organiques dissous, les hydrocarbures dissous et dispersés, les minéraux dissous, les métaux à l'état de traces, les substances radioactives naturelles, les produits chimiques de production et les gaz dissous.

Production

Écoulement de pétrole ou de gaz à partir d'un puits vers les systèmes de production.

Plateforme de production

Structure extracôtière équipée pour produire et traiter du pétrole ou du gaz.

Puits de production

Un puits foré et achevé permettant de produire du pétrole brut ou du gaz naturel.

Réservoir

Une formation rocheuse poreuse et perméable qui forme un piège dans lequel s'accumulent les hydrocarbures.

Résistivité

Résistance électrique d'une formation.

Puits satellites

Des puits sous-marins se trouvant à distance de l'installation de production et qui sont raccordés à celle-ci par des conduites d'écoulement.

Organismes sessiles

Organismes fixes (non mobiles) (p. ex. coraux). Pour maintenir leur croissance et leur reproduction, ces organismes ont acquis des techniques spéciales pour assurer leur survie, la plus fréquente consistant à déployer leurs tentacules dans les courants d'eau qui passent pour capturer des organismes.

Envasement

Dépôt de sédiments à grains fins (boue et sable). Plus les sédiments sont fins, plus leur établissement demande du temps, et plus ils sont facilement perturbés.

Espèce

1. Une agrégation d'organismes se reproduisant entre eux qui sont isolés sur le plan de la reproduction, qui présentent des propriétés communes et qui sont habituellement désignés par un nom commun. 2. Un organisme appartenant à une telle catégorie.

Éponges

Animal aquatique de l'embranchement Porifera, comportant des pores sur sa paroi corporelle et un squelette rigide. Les éponges sont des animaux très primitifs, qui forment des colonies et qui ont évolué très tôt au cours de l'histoire de la Terre. Elles se fixent au substrat et s'alimentent en filtrant l'eau pour obtenir du phytoplancton.

Développement durable

Développement qui répond aux besoins actuels sans compromettre la possibilité pour les générations futures de satisfaire les leurs.

Boues à base synthétique

Boues de forage au sein desquelles la phase continue est un fluide synthétique.

Toxicité

Le degré de nocivité d'une toxine.

Toxine

Toute substance qui, en quantité suffisante, est nocive pour le biote.

Viscosité

La résistance à l'écoulement, ou « adhésivité » d'un fluide.

Boues à base d'eau

Boues de forage au sein desquelles la phase continue est de l'eau.

Trou de forage

Le trou foré par un trépan.

Tête de puits

Une pièce d'équipement en acier qui est installée à la surface du puits et qui contient un ensemble d'organes de dépôt et de joints d'étanchéité robustes (on utilise la tête de puits pour soutenir le poids des colonnes de tubage qui y sont suspendues et pour contenir la pression du puits).

Zooplancton

Animaux de faible taille (parfois microscopiques) qui dérivent dans l'océan, y compris des protozoaires, des crustacés, des méduses et d'autres invertébrés qui dérivent à différentes profondeurs dans la colonne d'eau.