



Examen des méthodes d'évaluation des effets cumulatifs du transport maritime

Rapport final

25 mars 2019

Préparé pour Transports Canada

Projet n° : T8080 - 180068



Transports
Canada

Transport
Canada



Examen des méthodes d'évaluation des effets cumulatifs du transport maritime

Préparé pour :

Transports Canada

*Personne-
ressource :*

Jeff Campagnola

Jeff.campagnola@tc.gc.ca

1.613.990.5796

Rapport final

25 mars 2019

Personne-ressource :

Darcy Pickard

dpickard@essa.com

(613) 376-9903

Citation suggérée :

Pickard, D., P. de la Cueva Bueno, E. Olson et C. Semmens. 2019. Examen des méthodes d'évaluation des effets cumulatifs du transport maritime. Rapport préparé par ESSA Technologies Ltd. pour Transports Canada. 118 pages + annexes.

Photo de couverture : L'un des nombreux cargos, Vancouver © 2010 Mat Hampton (CC BY-SA 2.0)



Table des matières

Liste des Figures	5
Liste des tableaux	8
Remerciements	9
1 Introduction	10
1.1 Objet	10
1.2 Contexte	10
1.3 Qu'entend-on par évaluation des effets cumulatifs?	12
1.3.1 Détermination de la portée	14
1.3.2 Évaluation	15
1.3.3 Gestion	16
1.3.4 Seuils	16
1.3.5 Suivi	17
1.3.6 Apprentissage itératif	17
1.4 Structure du rapport	17
2 Méthodes	19
2.1 Aperçu	19
2.2 Phase de sélection	20
2.3 Évaluation détaillée	22
2.4 Défis	24
3 Sélection des méthodologies d'évaluation	26
3.1 Aperçu	26
3.2 Conclusions générales	27
4 Évaluation détaillée des méthodologies d'évaluation	29
4.1 Structure organisationnelle	29
4.2 Méthodes spatiales	30
4.2.1 Aperçu	30
4.2.2 Critères d'évaluation	34
4.3 Méthodes analytiques	39
4.3.1 Aperçu	39
4.3.2 Critères d'évaluation	46
4.4 Méthodes de modélisation	49
4.4.1 Aperçu	49
4.4.2 Critères d'évaluation	68
5 Analyse comparative	77
5.1 Comparaison entre les méthodes d'évaluation	77



Appendice C

ESSA Technologies Ltd.

5.2	Application à l'Initiative sur les effets cumulatifs du transport maritime	83
5.2.1	Aperçu	83
5.2.2	Études de cas.....	88
6	Méthodes transversales	94
6.1	Savoir autochtone.....	95
6.1.1	Aperçu	95
6.1.2	Pertinence pour l'initiative ECTM	97
6.2	Avis d'experts	98
6.2.1	Aperçu	98
6.2.2	Pertinence pour l'initiative ECTM	98
6.3	Outils d'aide à la décision.....	100
6.3.1	Aperçu	100
6.3.2	Pertinence pour l'initiative ECTM	100
7	Méthodes d'organisation : Cadres d'analyse des effets cumulatifs	105
7.1	Aperçu	105
7.2	Exemples de cadres d'analyse des effets cumulatifs.....	105
7.2.1	Directive sur la stratégie pour le milieu marin de l'UE	105
7.2.2	Cadre des effets cumulatifs de la Colombie-Britannique	106
7.2.3	Évaluation des risques	108
8	Conclusions	112
8.1	Principaux enseignements tirés de l'examen des méthodes d'évaluation	112
8.1.1	Observations déterminantes	112
8.1.2	Perspectives spatiales	113
8.1.3	Perspectives analytiques	114
8.1.4	Perspectives de modélisation	114
8.2	Choix des méthodes d'évaluation	115
8.3	Résultats de l'atelier technique.....	118
8.3.1	Résumé de l'atelier.....	118
8.3.2	Résultats de l'atelier	118
8.3.3	Complément d'information	121
8.4	Étapes suivantes suggérées	126
8.4.1	Recommandations d'ESSA.....	126
8.4.2	Principes directeurs.....	131
9	Ouvrages cités	133
Annexe A : Effets cumulatifs et navigation maritime au Canada : Contexte général		140



Appendice C

Examen des méthodes d'évaluation des effets cumulatifs du transport maritime

Rapport final

Séquences des effets - Navigation maritime	140
Contexte régional	142
Arctique.....	142
Terre-Neuve.....	145
Nouveau-Brunswick.....	147
Québec	149
Sud de la C.-B.	151
Nord de la Colombie-Britannique	154
Résumé des données disponibles	157
Annexe B : Résumé des articles de synthèse.....	161
Annexe C : Autres indications issues de l'atelier technique.....	167
Annexe D : Document d'information préparé en vue de l'atelier technique mené les 20 et 21 février 2019	174

Liste des Figures

Figure 1.1. Phases du processus d'élaboration d'un cadre d'évaluation des effets cumulatifs tel qu'il est présenté dans l'exposé des Effets cumulatifs du transport maritime du Plan de protection des océans de Transports Canada.	12
Figure 1.2. Cette Figure illustre la façon dont l'étape d'évaluation s'imbrique dans un cadre d'EEC plus large. L'étape de détermination de la portée se déroule simultanément, elle est dirigée par Transports Canada et éclairée par des ateliers régionaux. Le présent rapport se concentre sur les éventuelles méthodes de l'étape d'évaluation. L'étape de gestion est abondamment analysée à la phase 4 de l'initiative sur les ECTM.	14
Figure 2.1. Cadre d'évaluation illustrant le débit d'information et les principaux extrants.	19
Figure 3.1. Répartition de la documentation examinée par thème.	26
Figure 3.2. Exemples de catégorisations de méthodes d'évaluation des effets cumulatifs issues de la documentation.	27
Figure 4.1. Structure organisationnelle de l'évaluation des méthodes d'évaluation des effets cumulatifs.	30
Figure 4.2. Carte thermique illustrant l'intensité du trafic maritime depuis le plateau Scotian : Atlas des activités humaines (MPO, 2005).	31
Figure 4.3. Partie de la carte de Haida Ocean & Way of Life établie dans le cadre de l'Étude sur le savoir traditionnel maritime des Haida.	33
Figure 4.4. (A) Carte des impacts humains cumulatifs mondiaux dans 20 types d'écosystèmes océaniques et quatre cartes de régions fortement touchées (extrait de Halpern et coll., 2008), et (B) Scores d'impact environnemental pour les secteurs situés le long du littoral de la Colombie-Britannique (extrait de Ban et coll., 2010).	35



Appendice C

ESSA Technologies Ltd.

Figure 4.5. Coefficient de variation (CV) résultant du modèle de simulation de Monte Carlo des quatre facteurs d'intrant utilisés dans l'analyse de l'incertitude dans Gissi et coll. (2017).	37
Figure 4.6. Exemple de l'habitat essentiel d'été de l'orque résidente du Sud estimé à l'aide de l'estimation à noyau de la densité, qui est une méthode non paramétrique (Worton, 1989), afin d'estimer les répartitions de l'utilisation (Figure reproduite de Cominelli et coll., 2018).	41
Figure 4.7. Cet organigramme illustre la valeur probante des éléments de preuve qui a servi à déterminer les chances relatives que chaque facteur de stress particulier soit la cause du déclin des saumons rouges du Fraser. Cela est repris de Marmorek et coll., 2010.	46
Figure 4.8. Méthodes de modélisation telles qu'elles s'appliquent au modèle des séquences des effets.	50
Figure 4.9. Résultat du modèle de bruit cumulatif conçu par JASCO Applied Sciences. Cette carte illustre le niveau acoustique équivalent (Leq) en décibels, par rapport aux catégories de navire confondues (source : Cominelli et coll., 2018).	52
Figure 4.10. Exemple de simulations de déversements d'hydrocarbures MEDSLIK (source : Alves et coll., 2015).	53
Figure 4.11. Arcs d'ancre basés sur les données de suivi des navires du SIA à proximité du port de Newcastle (Australie). Différentes nuances dénotent des navires individuels (source : Davis et coll., 2016).	54
Figure 4.12. Emplacement des applications du modèle EwE au Canada.	56
Figure 4.13. Modèle Ecopath utilisé dans Harvey, 2018. Les nodules représentent des groupes fonctionnels ou des organismes dans le modèle, mis à l'échelle de la biomasse de l'organisme dans l'écosystème. Les niveaux trophiques sont illustrés sur l'ordonnée (source : Harvey, 2018).	57
Figure 4.14. Surface à haute densité (à gauche) et à forte intensité (à droite); résultat de la densité des baleines et de l'intensité du trafic maritime des navires) pour le rorqual commun (source : adapté de Williams et O'Hara, 2009).	58
Figure 4.15. Exemple d'un schéma des séquences des effets d'une activité unique sur le transport maritime (source : Stephenson et Hartwig, 2009).	60
Figure 4.16: Conceptualisations du modèle DPSIR : A) Modèle DPSIR d'origine, redessiné à partir du cadre original de l'UE (CE 1999), B) Modèle DAPSI(W)R(M) récent (Elliott et coll., 2017) et C) Chronologie et élaboration/relation du modèle DPSIR et de ses dérivés (source : adapté de Patricio et coll., 2016).	61
Figure 4.17. Modèle conceptuel des facteurs de stress et des composantes valorisées et leurs liens. Ce modèle sert à éclairer la méthode d'évaluation des risques (source : Furlan, 2017).	62
Figure 4.18. Modèle conceptuel et scénario de base illustrant les principales variables utilisées pour prédire le niveau général de vulnérabilité des paysages marins du Royaume-Uni et les valeurs des probabilités (%) pour certaines catégories de nœuds respectifs (source :Stelzenmüller et coll., 2010).	64



Appendice C

Examen des méthodes d'évaluation des effets cumulatifs du transport maritime

Rapport final

Figure 4.19. Exemple de cartes de répartition de la biomasse prédites par Ecospace pour la côte de Brunei Darussalam, Asie du Sud-Est, le rouge indiquant des écarts importants et le bleu de faibles écarts par rapport à la ligne de base Ecopath de chaque groupe fonctionnel (source : Walters et coll., 1999).	65
Figure 4.20. Sorties de modèle graphique de SPRAT illustrant les répartitions de la biomasse pour les groupes fonctionnels de poissons-proies (à gauche) et les poissons fourragers (à droite) (source : Johanson et coll., 2017).	66
Figure 4.21. Valeur moyenne de la densité d'agents annoncée (par km ²), comparativement aux valeurs observées pendant la même période, exprimées en captures par unité d'effort (CPUE, en kg nmi ⁻¹) – Source : Heinänen et coll., 2018.	67
Figure 4.22. Diagramme conceptuel du modèle MARAMBS – Source : Frank Thomsen (DHI)	68
Figure 4.23. Cycles DPSIR multispaciaux : A) Cycles DPSIR distincts liés par un élément de pression commun (p. ex. pression d'abrasion attribuable aux activités de chalutage en zone benthique, de mouillage, de dragage, etc.); B) exemple de cycles DPSIR liés dans un écosystème particulier avec des pressions distinctes individuelles (P1-P3), dont chacun est associé à des types d'activité discrets (A1-A4) (source : adapté de Smith et coll., 2016).	70
Figure 4. 24. Exemple d'extrait d'un modèle monospécifique. Taille moyenne projetée des populations d'épaulards résidents du Sud (ERS) pour les scénarios avec (de haut en bas) : aucun bruit anthropique ou contaminant; abondance actuelle du saumon quinnat, bruit et BPC; réduction du saumon quinnat, bruit accru et menaces additionnelles de déversements d'hydrocarbures et de collisions avec les bâtiments, selon les estimations des incidences à faible niveau du développement industriel futur; et ces menaces accrues et additionnelles avec incidences plus graves du développement (Source : Lacy et coll. 2017).	76
Figure 6.1. Un diagramme conceptuel mettant en évidence comment un cadre peut aider à organiser la manière dont nous regroupons, évaluons et utilisons l'information pour prendre des décisions de gestion. Les cadres d'effets cumulatifs englobent toutes ces étapes et plus encore.	95
Figure 6.2. Le savoir autochtone englobe les connaissances locales, les systèmes de gestion, les institutions sociales et les visions du monde (Berkes, 2018).	96
Figure 6.3. Exemple de diagrammes de ruche représentant des réseaux de séquences d'effets de a) changement climatique et b) pêche commerciale. Ces graphiques montrent les facteurs d'effet (axe supérieur) conduisant à divers facteurs de stress (axe inférieur droit, relié par des lignes orange) et les services écosystémiques ayant un effet (axe inférieur gauche, relié par des lignes bleues). L'épaisseur de chaque ligne représente le nombre d'experts qui ont mentionné chaque lien. Les nœuds le long de chaque axe sont organisés en classant les nœuds ayant le plus grand nombre de liens au plus petit (le plus grand nombre de liens à l'extérieur). Source : Singh et coll. 2017	99
Figure 6. 4. Expertise requise pour l'utilisation des divers outils d'aide à la décision. Image tirée du Center for Ocean Solutions (2011).	101
Figure 6. 5. Exemple d'extrait du « portail de planification marine » affichant à la fois la carte SeaSketch et le rapport d'analyse intégré Marxan. Image tirée de https://www.seasketch.org/case-studies/2013/04/05/mapp.html	103



Appendice C

ESSA Technologies Ltd.

Figure 7.1. Le cadre des effets cumulatifs (gouvernement de la Colombie-Britannique, 2017).....	107
Figure 7.2. Illustration des éléments déclencheurs de la gestion définis dans le cadre des effets cumulatifs de la Colombie-Britannique, politique provisoire (gouvernement de la Colombie-Britannique, 2017).	108
Figure 7.3. Un diagramme conceptuel de la manière dont les évaluations des effets cumulatifs peuvent être intégrées dans un cadre normalisé d'évaluation des risques. Figure tirée de Stelzenmuller et coll., 2018.	109
Figure 7.4. Exemple de diagramme conceptuel de la méthode « nœud papillon ». Image extraite de Cormier et coll., 2018.	110
Figure 8.1. Représentation logique des multiples pressions exercées sur terre ou en mer sur les écosystèmes côtiers et marins, sous l'angle de la directive-cadre stratégique du milieu marin européen (source : Elliott et coll., 2018).....	122
Figure 8.2. Cadre fondé sur les analyses de type nœud papillon, utilisé pour étudier l'influence des pressions endogènes gérées et des pressions exogènes non gérées (Cormier et coll., 2019).....	124
Figure 8.3. Exemples d'images-satellite utilisées pour l'étude (à gauche) d'un panache de sédiments provenant d'un fleuve après de fortes pluies et pour la caractérisation (à droite) des habitats marins – Source : DHI GRAS.....	125
Figure 8.4. Étapes suivantes possibles pour la phase d'évaluation de l'initiative ECTM	130

Liste des tableaux

Tableau 2.1. Un extrait du tableur sommaire préliminaire de niveau 1 est montré ici pour illustrer la structure organisationnelle de l'évaluation de niveau 1.	21
Tableau 2.2. Critères d'évaluation	22
Tableau 5.1. Classement qualitatif des méthodes selon les critères d'évaluation.	77
Tableau 5.2. Évaluation comparative des méthodes d'évaluation (la coloration indique : faible = rouge, moyen = orange et élevé = vert)	79
Tableau 5.3. Aperçu de l'application des méthodes d'évaluation évaluées	84
Tableau 5.4. Sélection d'études de cas pertinentes pour l'initiative ECTM.....	89
Tableau 8.1. Principes directeurs pour la mise en œuvre de la phase Évaluation de l'initiative ECTM	131



Remerciements

Le présent rapport a été préparé par ESSA Technologies Ltd. moyennant les conseils et le soutien de membres de Transports Canada. De précieuses contributions ont été apportées par de nombreuses personnes qui ont pris la peine de s'entretenir avec nous et de nous fournir des perspectives ou des documents relatifs à l'évaluation des effets cumulatifs et aux méthodes d'évaluation. N'oublions pas non plus les participants à l'atelier technique mené à Ottawa les 20 et 21 février 2019. Leurs commentaires et leurs points de vue ont facilité la rédaction du rapport.

Nous remercions sincèrement tous ceux qui ont contribué à ce projet.



1 Introduction

1.1 Objet

L'objet de ce projet est d'analyser et de comparer les éventuelles méthodes d'évaluation des effets cumulatifs dans le contexte de l'initiative de Transports Canada sur les effets cumulatifs du transport maritime (ECTM) dans le cadre du Plan de protection des océans du Canada. Ce rapport contient des recommandations sur les catégories de méthodes qui s'appliquent à différents scénarios. Ces données contribueront à éclairer la phase de l'évaluation de l'initiative sur les ECTM.

1.2 Contexte

Le 7 novembre 2016, le premier ministre a lancé le [Plan de protection des océans](#) d'une valeur de 1,5 milliard de dollars dont le but est d'améliorer la sécurité maritime et le transport responsable, de protéger le milieu marin du Canada et d'offrir de nouvelles possibilités aux collectivités autochtones et côtières. Le Plan de protection des océans vise quatre grandes priorités :

- créer un système de sécurité maritime de calibre mondial qui améliore le transport maritime responsable et protège les eaux du Canada, notamment par de nouvelles mesures de prévention et d'intervention;
- restaurer et protéger les écosystèmes et les habitats marins, en utilisant de nouveaux outils et de nouvelles recherches, et en prenant des mesures pour régler le problème des bateaux abandonnés et des épaves;
- resserrer les partenariats et lancer des méthodes de cogestion avec les communautés autochtones, en renforçant notamment la capacité locale d'intervention d'urgence;
- investir dans les recherches et les méthodes sur le nettoyage des déversements d'hydrocarbures pour être sûr que les décisions prises en cas d'urgence reposent sur des données probantes.

L'initiative sur les ECTM relève du volet de restauration et de protection des écosystèmes marins du Plan de protection des océans. Le but de l'initiative est d'élaborer un cadre d'évaluation des effets cumulatifs axé sur les activités maritimes actuelles et futures. L'initiative a accordé la priorité à six sites pilotes¹ situés le long des trois côtes du Canada. Au cours de la première année de l'initiative, les efforts ont permis de délimiter la portée des préoccupations suscitées par les **activités** maritimes et de déterminer les **facteurs de stress** d'intérêt pour chaque site pilote.

La sensibilisation et la mobilisation sont les principes essentiels de cette initiative, à laquelle participent les communautés autochtones, les intervenants locaux et les communautés côtières. Transports Canada a eu recours à des ateliers régionaux pour déterminer les activités préoccupantes et les effets que ces activités peuvent avoir sur le milieu marin et les usages traditionnels. La détermination des **composantes valorisées** (CV), des liens entre les facteurs de stress et les composantes valorisées (c.-à-d. les séquences

¹ Nord (Colombie-Britannique); Sud (Colombie-Britannique); Saint-Laurent (Québec); Baie de Fundy (Nouveau-Brunswick); Baie Placentia (Terre-Neuve); Cambridge Bay (Nunavut).



Appendice C

Examen des méthodes d'évaluation des effets cumulatifs du transport maritime

Rapport final

des effets), et des indicateurs qui éclairent l'incidence relative des différentes séquences à actuellement lieu. Ce rapport représente la phase 2 (Figure 1.1) et il a été recommandé par Lerner 2018 pour « élaborer un ensemble d'outils d'évaluation » qui éclaireront la phase d'évaluation de l'initiative sur les ECTM dans son ensemble.

Simultanément, Transports Canada s'occupe de déterminer les éventuelles sources de données qui éclaireront les indicateurs prioritaires. Une fois arrêté, Transports Canada appliquera ce cadre aux six sites pilotes. Les renseignements recueillis dans le cadre de la mise en œuvre des projets pilotes éclaireront l'ensemble d'outils de gestion et d'intervention. L'évaluation et l'amélioration du cadre se feront à titre permanent, de même que les communications de suivi avec les communautés autochtones, les intervenants locaux et les communautés côtières.

Activité : Action qui peut entraîner un ou plusieurs facteurs de stress sur l'écosystème en cours d'évaluation. [Thornborough et coll. 2018 (MPO)]

Facteurs de stress : Tout élément physique, chimique ou biologique qui, à un niveau d'intensité donné, est susceptible d'avoir des effets négatifs sur une composante valorisée. [Thornborough et coll. 2018 (MPO)]

Composantes valorisées : Désignent des caractéristiques environnementales qui peuvent subir les effets d'une activité dont le promoteur, les organismes gouvernementaux, les communautés autochtones ou le public ont estimé qu'elles étaient préoccupantes. La valeur d'une composante n'a pas seulement un rapport avec son rôle dans l'écosystème, mais également avec la valeur que les gens lui attachent. Par exemple, la composante peut avoir été identifiée comme revêtant une importance scientifique, sociale, culturelle, économique, historique, archéologique ou esthétique. [Définition adaptée de la LCEE, 2012]



Appendice C

ESSA Technologies Ltd.

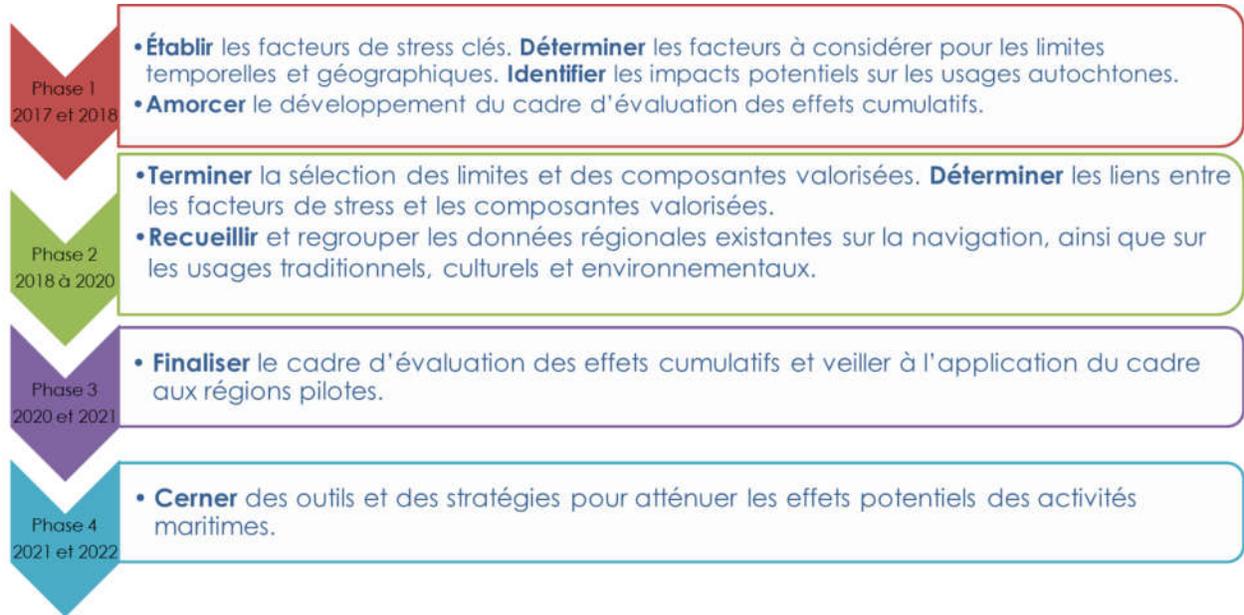


Figure 1.1. Phases du processus d'élaboration d'un cadre d'évaluation des effets cumulatifs tel qu'il est présenté dans l'exposé des Effets cumulatifs du transport maritime du Plan de protection des océans de Transports Canada.

1.3 Qu'entend-on par évaluation des effets cumulatifs?

Pour procéder à l'examen des méthodes d'évaluation, il faut commencer par définir ce que l'on entend par Évaluation des effets cumulatifs (EEC). Les définitions suivantes sont proposées par le Conseil canadien des ministres de l'Environnement (CCME) :

Un **effet cumulatif** est un changement qui survient dans l'environnement en raison d'interactions multiples entre des activités humaines et des processus naturels qui s'accumulent dans l'espace et dans le temps.

L'**évaluation des effets cumulatifs** est un processus systématique qui consiste à reconnaître, à analyser et à évaluer les effets cumulatifs.

La **gestion des effets cumulatifs** désigne l'identification et la mise en place de mesures visant à contrôler, minimiser et prévenir les conséquences néfastes des effets cumulatifs.

Bien que ces définitions servent à clarifier ce que l'on entend par ces termes essentiels, à elles seules, elles ne contiennent pas suffisamment de détails sur ce que supposent les mesures d'évaluation. De la même façon, le processus en cinq phases de Transports Canada et les huit étapes de Lerner (2018) ne fournissent pas de précisions sur ce qui se passe dans une étape d'évaluation.



Appendice C

Examen des méthodes d'évaluation des effets cumulatifs du transport maritime

Rapport final

Idéalement, l'EEC prévoit une série de méthodes qui évaluent l'état de l'environnement, qui décrivent les liens de causalité entre les facteurs de stress et les effets cumulatifs, et qui prédisent les risques et les avantages qui se rattachent à d'autres scénarios (Jones, 2016). Bien qu'il existe un accord général quant aux étapes générales du processus d'EEC (Jones, 2016), la controverse règne au sujet des méthodes qu'il faut utiliser à chacune de ces étapes (Jones, 2016, Stelzenmüller et coll. 2018). Il est important de comprendre la structure du cadre général des effets cumulatifs dans laquelle la méthode sera appliquée (Greig et coll., 2013). En d'autres termes, quelle est la portée de l'évaluation et quelles stratégies de gestion sont éclairées par l'issue de l'évaluation?

Aucune méthode ne suffit à elle seule à traiter de tous les paramètres d'une évaluation des effets cumulatifs (Canter, 2008, Stelzenmüller et coll., 2018). En définitive, le choix d'une méthode dépend des données disponibles, de sa facilité d'utilisation et, fondamentalement, des questions auxquelles l'évaluation cherche à répondre (Greig et coll., 2013). Dans la pratique, on applique généralement diverses méthodes et des outils connexes en alternance pendant tout le processus d'évaluation des effets cumulatifs (CEQ, 1997), de manière à pouvoir répondre à certaines questions précises (Greig et coll. 2013).

Le choix des méthodes et des outils connexes, leur mode d'utilisation, tout cela peut varier d'une vision du monde à l'autre. Une évaluation des effets cumulatifs reconnaît implicitement la nature holistique et l'interconnexion des systèmes socio-écologiques complexes en jeu; il n'en reste pas moins que les méthodes d'évaluation peuvent être appliquées de différentes manières suivant la conception qu'on se fait du monde. On trouvera ici une synthèse des méthodologies existantes, suivie des points à considérer lors de leur sélection. Le rapport ne précise pas comment les différents types de savoir devraient influencer sur les méthodes en présence, ni comment celles-ci devraient être utilisées selon la vision du monde considérée.

Nous avons établi un schéma qui illustre d'importants éléments d'un cadre d'EEC pour illustrer notre compréhension de la manière dont la mesure d'évaluation appuie le cadre plus vaste du contexte de l'initiative sur les ECTM prise par Transports Canada (Figure 1.2). Cette Figure s'appuie sur les étapes générales identifiées par Jones (2016), de même que sur le guide de pratiques exemplaires plus détaillées fourni par la Société financière internationale (SFI, 2013). Les sections 1.3.1 à 1.3.5 proposent une brève analyse de chacun des éléments du cadre générique d'EEC.



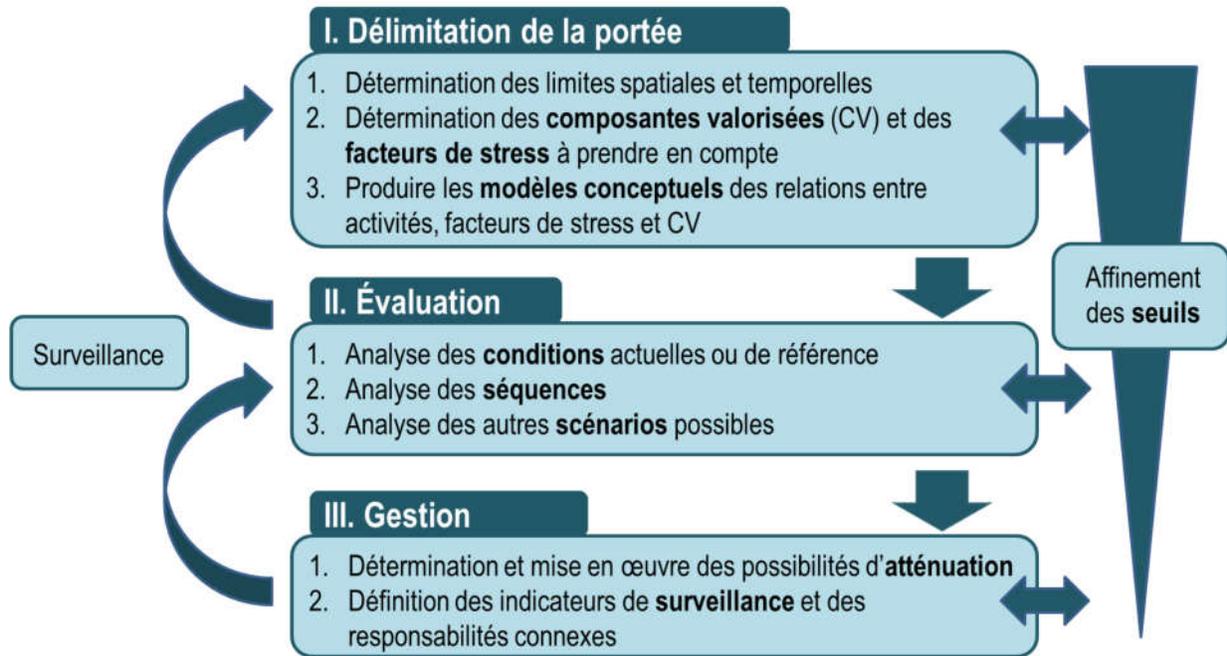


Figure 1.2. Cette Figure illustre la façon dont l'étape d'évaluation s'imbrique dans un cadre d'EEC plus large. L'étape de détermination de la portée se déroule simultanément, elle est dirigée par Transports Canada et éclairée par des ateliers régionaux. Le présent rapport se concentre sur les éventuelles méthodes de l'étape d'évaluation. L'étape de gestion est abondamment analysée à la phase 4 de l'initiative sur les ECTM.

1.3.1 Détermination de la portée

Un problème mal défini est l'une des raisons les plus courantes de l'échec d'une étude (Reynolds et coll. 2016). Dans le contexte de l'EEC, l'étape de la détermination de la portée est indispensable pour se concentrer sur un ensemble plus restreint et plus gérable de facteurs de stress critiques et de composantes valorisées prioritaires d'une étendue spatiale et temporelle bien définie. Toutefois, il est utile de commencer par une portée largement définie et de reconnaître tous les éventuels facteurs de stress et les composantes valorisées avant d'en rétrécir la portée. Cette approche permet de s'assurer que l'on n'a rien manqué par inadvertance, de faire connaître et de justifier les décisions relatives à la détermination de la portée et de permettre l'ajustement des priorités à mesure que le contexte évolue (p. ex. si les composantes prioritaires évoluent dans le temps ou que de nouvelles données incitent à penser qu'un facteur de stress différent est plus préoccupant). En pareil cas, cette étape oblige à clarifier ce que l'on entend par « transport maritime », à déterminer les éventuels facteurs de stress et les composantes valorisées qui présentent de l'intérêt, à concevoir des modèles conceptuels (c.-à-d. les séquences des effets à l'Annexe A), et enfin de classer par ordre de priorité les composantes valorisées et de déterminer les facteurs de stress et les séquences plus préoccupants.

L'échelle spatiale et temporelle de l'évaluation revêt son importance. Elle doit reposer sur l'échelle spatiale des composantes valorisées tout en tenant compte de l'échelle des activités qui ont des incidences sur les composantes valorisées et de l'échelle à laquelle les activités d'atténuation peuvent être mises en œuvre.

Appendice C

Examen des méthodes d'évaluation des effets cumulatifs du transport maritime

Rapport final

Si des échelles multiples paraissent utiles, cela signifie qu'une approche imbriquée peut l'être aussi (Rebecca Martone, communication personnelle). Par exemple, une évaluation de l'état actuel de l'estuaire du Skeena a utilisé les zones de salinité nichées dans l'estuaire plus important (Pickard et coll., 2015). Dans le cas de l'initiative sur les ECTM, les régions sont nichées au sein de l'initiative nationale plus étendue. Il se peut qu'une imbrication plus vaste soit nécessaire dans les régions. Pour ce qui est des limites temporelles, une décision difficile consiste à caractériser l'état de référence. Doit-il illustrer des états historiques ou suffit-il à évaluer l'état actuel? L'absence de données historiques est une difficulté courante tandis que la décision sur la façon de définir l'état de référence peut constituer un obstacle au lancement de l'initiative (Kelly Munkittrick, communication personnelle).

1.3.2 Évaluation

La phase d'évaluation d'un cadre d'EEC comporte trois grandes étapes : 1) évaluation de l'état actuel ou de l'état de référence; 2) évaluation des séquences des effets; et 3) évaluation d'autres scénarios. Chacune de ces étapes est importante et une association des méthodes et des outils qui s'y rattachent peut s'imposer pour franchir toutes les étapes.

Évaluation de l'état actuel ou de l'état de référence

Cette étape commence par la compilation et l'évaluation de la qualité et de la portée spatiale/temporelle des meilleures données disponibles. Dans certains cas, il se peut qu'il existe un savoir autochtone à l'appui de l'évaluation. On peut également avoir recours aux avis d'experts lorsqu'il n'existe pas de données empiriques². Il faut concevoir des indicateurs pour illustrer à la fois les facteurs de stress et les composantes valorisées. Le choix des indicateurs consiste généralement à évaluer d'autres indicateurs par rapport à un ensemble de critères comme : la pertinence, la réceptivité et la faisabilité (Pickard et coll., 2018). Enfin, l'état actuel ou l'état de référence des composantes valorisées prioritaires et des facteurs de stress préoccupants sont résumés à l'aide des meilleures données disponibles à propos de chaque indicateur retenu. C'est souvent à cette étape que l'on décèle les lacunes d'information.

Évaluation des séquences

L'objet de cette étape est de comprendre les rapports de cause à effet entre les facteurs de stress et les composantes valorisées. Cela consiste à comprendre l'ampleur des effets de même que la forme de la relation fonctionnelle entre les facteurs de stress et les composantes valorisées (p. ex. linéaire, exponentielle, portée optimale). De plus, il est utile de comprendre les séquences qui revêtent le plus d'importance (c.-à-d. quels sont les moteurs relatifs du système?).

Dans la plupart des cadres d'EEC, cette étape n'est pas ventilée séparément, mais elle constitue une étape nécessaire implicite permettant d'évaluer d'autres scénarios et de définir les seuils. Elle peut également servir à peaufiner de manière itérative la portée de l'évaluation afin de se concentrer sur les principaux catalyseurs du système. Pour les besoins du présent rapport, nous avons jugé utile d'analyser explicitement cette étape étant donné que différentes méthodes présenteront de l'utilité selon que la tâche consiste à quantifier des rapports ou à évaluer d'autres scénarios.

Évaluation d'autres scénarios

² Empirique : « issu ou provenant de l'observation ou de l'expérience » Merriam-Webster [<https://www.merriam-webster.com/dictionary/empirical>].



Appendice C

ESSA Technologies Ltd.

Compte tenu de notre compréhension de l'état actuel ou de l'état de référence et des rapports entre les facteurs de stress et les composantes valorisées, il est possible d'évaluer d'autres scénarios futurs. Cette étape peut présenter des difficultés, mais elle est ce qui rend l'EEC précieuse pour éclairer les décisions. Cette étape oblige également à comprendre le contexte de gestion qui définit les futurs scénarios utiles. Parmi ceux-ci, il peut y avoir des leviers de gestion qui existent pour atténuer les incidences des facteurs de stress, de même que le développement futur ou les scénarios climatiques.

1.3.3 Gestion

Il est important de comprendre le contexte de gestion tandis que l'on conçoit l'étape d'évaluation. Quels sont les objectifs de gestion? Quelles décisions de gestion seront éclairées par l'évaluation? Par exemple, les décisions relatives à d'autres scénarios d'évolution (p. ex. l'agrandissement d'un port) ou les décisions sur la manière d'atténuer les activités actuelles (p. ex. l'intervention en cas de déversement d'hydrocarbures, le moment/l'emplacement du déplacement des navires). Si l'un des objectifs est de minimiser les effets cumulatifs sur les composantes valorisées qui résultent de la navigation maritime, il paraît alors sensé de se concentrer sur les effets qui présentent les plus grandes possibilités d'aboutir à un changement. Cela peut différer selon la personne qui est chargée de prendre l'initiative. Une difficulté commune des EEC est que les composantes valorisées subissent les conséquences de facteurs de stress qui appartiennent à une diversité d'instances juridictionnelles (p. ex. MPO, Transports Canada, gouvernements provinciaux ou territoriaux ou administrations locales). Dans ce cas, les possibilités d'atténuation seront déterminées conjointement par tous les paliers de juridiction.

Des objectifs de gestion clairement définis aideront à déterminer la portée de l'évaluation et à éclairer le choix des méthodes d'évaluation. L'identification préalable des décisions de gestion aidera à caractériser les autres scénarios présentant de l'intérêt. De même, l'étape d'évaluation nous aidera à mieux comprendre l'état actuel, le rapport de cause à effet entre les facteurs de stress et les composantes valorisées, les catalyseurs relatifs du système et les éventuels résultats des autres scénarios, ce qui éclairera les décisions de gestion.

Enfin, il existe un autre lien entre les décisions de gestion et ce que la société juge acceptable. Cela est abordé plus en détail dans la section suivante sur les seuils.

1.3.4 Seuils

Les seuils peuvent se définir comme les niveaux auxquels un facteur de stress particulier ou une composante valorisée dépasse un niveau de préoccupation qui aboutit à un autre régime de gestion. Les seuils sont éclairés par une combinaison de compréhension technique et un niveau socialement défini de changement acceptable (Hegmann et coll., 1999). Il est impossible d'interpréter les pressions (comme le bruit) résultant d'activités (déplacement en eau libre) comme facteurs de stress sans commencer par définir les seuils. L'évaluation des séquences des effets est un intrant scientifique critique à l'élaboration de seuils utiles.

Dans la pratique, les seuils sont souvent de meilleures estimations pour commencer qui sont ensuite peaufinées tout au long du processus d'EEC. Faute de seuils, il est sans doute possible de commencer par déterminer si l'état actuel est « acceptable ou inacceptable ». À mesure que l'on quantifie les relations fonctionnelles, les seuils peuvent être éclairés par ces relations empiriques. On peut également avoir recours à des modèles pour éclairer les seuils en évaluant les chances de survie dans différentes conditions.



1.3.5 Suivi

Le suivi est indispensable pour éclairer l'évaluation des effets cumulatifs et permettre la bonne gestion des effets cumulatifs (CCME, non publié). L'un des résultats de la détermination préliminaire de la portée et de l'évaluation ultérieure est de déterminer les lacunes de connaissances. Même si des évaluations préliminaires peuvent être faites en fonction des connaissances d'experts, il est important de vérifier les hypothèses par des preuves empiriques. Il faut avoir recours au suivi pour remédier aux plus grandes incertitudes qui se rattachent aux séquences les plus importantes. De la sorte, le suivi permet l'amélioration continue du cadre.

1.3.6 Apprentissage itératif

Même s'il existe une chronologie naturelle dans le cadre générique d'EEC décrit à la Figure 1.2, dans la pratique, la mise en œuvre est itérative. Le choix d'une méthode d'évaluation dépend des résultats d'autres éléments du cadre et peut également évoluer en fonction des itérations futures du cadre (c.-à-d. à mesure que nous peaufinons la portée ou que de nouvelles données deviennent disponibles).

La première itération de l'étape d'évaluation peut contenir des données empiriques limitées. La première itération aide à définir la portée en ayant recours aux meilleures données disponibles ou aux avis d'experts et elle peut permettre de déterminer les lacunes d'information et les incertitudes cruciales. À mesure que l'on résout ces incertitudes, le niveau de compréhension s'améliore et la portée peut être rajustée ou figinée. Le choix des méthodes aura tendance à passer de simple à complexe à mesure que la portée est figinée et qu'un plus grand volume de données deviennent disponibles.

1.4 Structure du rapport

Une grande diversité de méthodes ont été appliquées à l'EEC. La plupart ne suffisent pas à elles seules à réaliser une EEC, mais elles contribuent à appuyer une EEC. Il faut généralement une série de méthodes et d'outils connexes pour accomplir une EEC, le choix dépendant du contexte. En menant cette évaluation, nous ne prétendons pas offrir un examen exhaustif de toutes les méthodes possibles, mais plutôt discuter des catégories de méthodes de niveau supérieur au moyen de renseignements sur certaines méthodes et certains outils connexes fournis à l'appui du débat. Le rapport comporte huit parties et une série d'annexes :

- La section 1 fournit un contexte général important qui précise la nature de ce rapport.
- La section 2 décrit l'approche utilisée pour procéder à l'évaluation.
- La section 3 décrit la phase de sélection de notre évaluation.
- La section 4 fournit l'évaluation détaillée, notamment une description des éventuelles méthodes et outils connexes et une évaluation de leur pertinence, de leur rigueur et de leur faisabilité.
- La section 5 propose une analyse comparée entre les méthodes et présente un certain nombre d'études de cas qui illustrent l'application de ces méthodes et la façon de les utiliser dans le contexte de l'initiative sur les Effets cumulatifs du transport maritime.
- La section 6 analyse les méthodes transversales applicables aux EEC, notamment : le savoir autochtone, les avis d'experts et les outils d'aide à la prise de décisions.



Appendice C

ESSA Technologies Ltd.

- La section 7 présente des exemples de cadres d'EEC et la façon dont l'étape d'évaluation s'imbrique dans le contexte plus large.
- La section 8 contient les conclusions générales, notamment les perceptions issues de l'évaluation et de l'atelier technique, la manière d'utiliser l'ensemble des outils d'évaluation et les prochaines étapes des ECTM.
- L'Annexe A décrit le contexte supplémentaire qui a contribué à éclairer notre évaluation. En particulier, nous donnons un bref résumé de : l'état d'élaboration du modèle des séquences des effets du transport maritime, du contexte régional des sites pilotes et de la disponibilité des données.
- L'annexe B contient des résumés – réduits à l'essentiel – des principaux articles de synthèse consacrés aux méthodes et outils d'évaluation des effets cumulatifs.
- L'annexe C contient les commentaires détaillés des participants à l'atelier technique mené à Ottawa les 20 et 21 février 2019.
- L'annexe D est le document d'information technique qui a été fourni par avance aux participants à l'atelier technique; on y résumait l'ébauche du présent rapport.



2 Méthodes

2.1 Aperçu

L'évaluation des effets cumulatifs est un problème complexe qui exige de tenir compte de facteurs, de disciplines et de points de vue d'intervenants multiples. Afin de tenir compte d'une telle complexité de manière transparente et systématique, nous avons structuré notre examen en deux phases : en premier lieu, une large sélection des méthodes d'évaluation possibles (**niveau 1**) suivie d'un examen détaillé des méthodes les plus prometteuses (**niveau 2**).

Cette démarche nous a permis de procéder à une évaluation suffisamment ample pour couvrir la majorité des méthodes qui existent dans la documentation et qui peuvent présenter un intérêt pour les activités de navigation maritime, et suffisamment approfondie pour aider Transports Canada à choisir les méthodes qui conviennent le mieux. Parallèlement au niveau 2, notre équipe a mené des recherches sur certains thèmes contextuels qui nous ont aidés à éclairer et à cadrer notre évaluation, plus particulièrement : le contexte de gestion de Transports Canada; la compréhension que nous avons actuellement des séquences des effets sur le transport maritime; les effets géographiques et cumulatifs (p. ex. les activités humaines, les composantes valorisées, les principales préoccupations), le contexte des six régions pilotes; et les sources utiles de données que Transports Canada a répertoriées jusqu'à ici. L'évaluation détaillée de niveau 2 a également été complétée par les perceptions issues d'une série d'entrevues que nous avons menées auprès d'experts clés. La Figure 2.1 illustre le cadre et le processus d'évaluation.

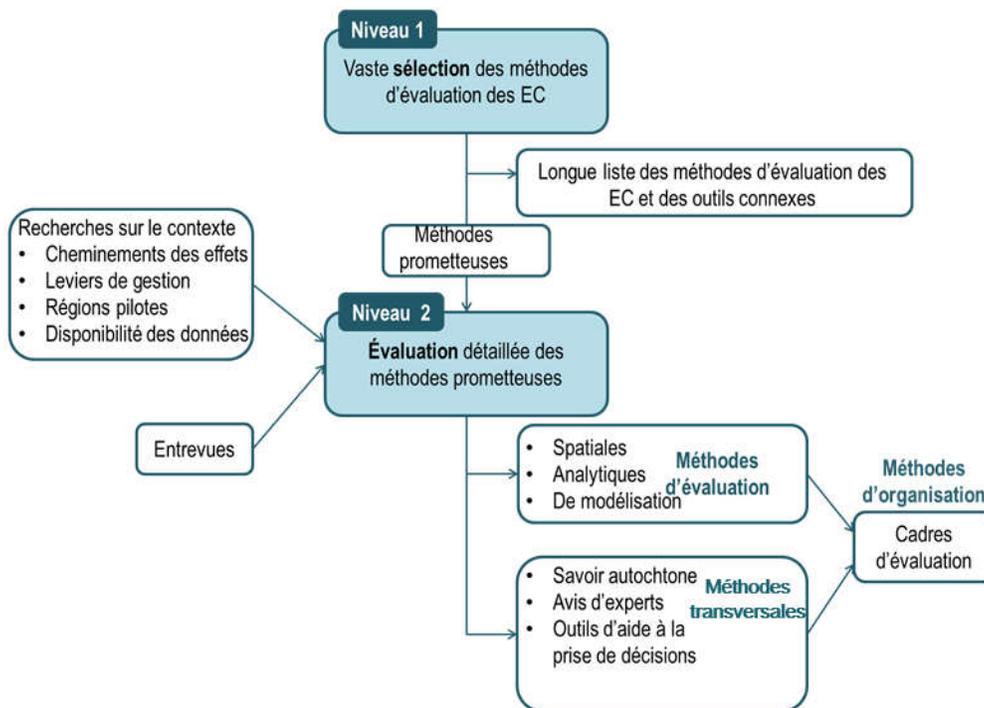


Figure 2.1. Cadre d'évaluation illustrant le débit d'information et les principaux extrants.



2.2 Phase de sélection

2.2.1.1 Examen de la documentation

À titre de première étape de l'élaboration du cadre d'évaluation, notre équipe a entrepris une vaste recherche des fichiers consacrés aux méthodes d'évaluation des effets cumulatifs et des outils connexes. Outre les références figurant dans les principaux documents généraux, comme l'examen de la documentation de Lerner (2018), nous avons mené des recherches sur ordinateur et sur le Web de niveau supérieur au sujet du transport maritime. En particulier, nous avons fait les recherches dans des sources universitaires (p. ex. Google Scholar, Science Direct) et dans d'autres bases de données grises et thématiques de la documentation (p. ex. Pêches et Océans Canada, International Association of Impact Assessment) à propos des mots clés suivants :

- « Évaluation des effets/impacts cumulatifs » + « transport (maritime) »
- « Évaluation des effets/impacts cumulatifs » + « milieu/écosystèmes/habitats marins »
- « Effets/impacts cumulatifs » + « transport (maritime) » + « modélisation »
- « Évaluation des effets/impacts cumulatifs » + « transport (maritime) » + « outils »
- « Effets/impacts cumulatifs » + « ensemble d'outils d'évaluation » + « milieu/écosystèmes/habitats marins »
- « Transport (maritime) » + « évaluation des impacts/effets »

Le but à cette étape n'était pas de faire des recherches et de documenter en profondeur une approche particulière, mais plutôt de comprendre l'éventail et les types de méthodes et d'outils d'évaluation existants des effets cumulatifs. Ces recherches préliminaires ont été complétées par un examen de la documentation résumée dans des rapports d'examen, fournis par des experts ou connus de notre équipe.

2.2.1.2 Résumé tabulaire

Le résultat de la sélection préliminaire a été une longue liste de méthodes d'évaluation des effets cumulatifs et d'outils connexes, de même que des documents ou des rapports d'examen détaillés traitant de démarches multiples. Cette liste préliminaire est illustrée dans un tableur Excel (Tableau 2.1). Le tableur organise les renseignements relevant de chaque saisie selon les rubriques suivantes :

- Citation : citation au complet
- Type de document : document, rapport, étude de cas ou outil
- Aperçu : brève description du contenu du document
- Méthode/outil EC : nous avons regroupé les saisies tabulaires en trois grandes catégories évaluées au niveau 2 : (i) spatiale, (ii) analytique, (iii) démarches de modélisation
- Portée géographique : échelle et lieu où l'évaluation s'est déroulée (p. ex. Pacifique Nord-C.-B.)
- Facteurs de stress : les facteurs de stress propres au transport maritime qui ont été inclus dans l'analyse
- Composantes valorisées : composantes valorisées qui ont été abordés dans l'analyse.



Examen des méthodes d'évaluation des effets cumulatifs du transport maritime
 Rapport final
 Tableau 2.1. Un extrait du tableau sommaire préliminaire de niveau 1 est montré ici pour illustrer la structure organisationnelle de l'évaluation de niveau 1.

	Citation	Type of document	Overview - not original writing	Website (if applicable)	Link to the file in Dropbox	Method/tool	CE assessment category	Geographic scope	Stressor (PoE)	Stressor Details	VC Categories	VC Details
4	Clarke Murray, C., Meeh, M.E., & Marone, R.G. (2014) Cumulative effects in marine ecosystems: scientific approaches for marine ecologists. WFF-Canada and Center for Ocean Solutions. 60pp.	Report	In this review we discuss four components of cumulative effects assessment approaches: (i) the identification of stressors and ecosystems and a result of multiple human activities; (ii) challenges in applying scientific knowledge in cumulative effects assessment, including defining spatial and temporal scales, baselines, reference points, indicators, and identifying significant changes in the face of unerring and natural environmental variability; (iii) models and approaches for cumulative effects assessment; and (iv) priorities for science and management of cumulative effects.		https://www.dropbox.com/home/ld_globalaff046345f1e2000c25394fEN3112201Transp220Canada/PReferences220swaves/Murray_et_al_2014/CumulativeEffectsInMarineEcosystems.pdf	Review of multiple methods/tools	Review of multiple methods/tools					
7	Center for Ocean Solutions. 2011 Decision Guide: Selecting Cumulative Effects Assessment Tools. Center for Ocean Solutions, Woods Institute for the Environment, Stanford University, California.	Report	The Decision Guide, produced by the Center for Ocean Solutions (COS), provides a framework for selecting cumulative effects assessment decision support tools (DSTs) that can help them conduct marine spatial planning in their own jurisdictions.		https://www.dropbox.com/home/ld_globalaff046345f1e2000c25394fEN3112201Transp220Canada/PReferences220swaves/Elmhurst_et_al_2011/DecisionGuideForSelectingCumulativeEffectsAssessmentTools.pdf	Review of multiple methods/tools	Review of multiple methods/tools					
12	Elmhurst, K., I. Galiprasoa, A. Bork, V. Steinhilber, C.M. Elmhurst, and M. Elmhurst. 2010. Cumulative impact perspectives. Marine Policy 33: 83-91.	Paper	We main objective of this review is to: (i) characterize and analyze the present use of cumulative impact (MSP) implementation processes around the world; (ii) identify weaknesses and gaps in existing tools; and (iii) propose new tools and processes for cumulative impact assessment. We work with 38 human activities were considered, with each broken down according to stressor types and a range of spatial influences. 4 categories of information were combined: (i) spatial data on the location of activities and their intensities; (ii) timing/cycles of activities; and (iii) intensity of activities.	http://dx.doi.org/10.1016/j.marpol.2010.05.014		Method	Spatial approaches	Exclusive economic zone (EEZ) of Canada's Pacific coast	Multiple stressors	The analyses were undertaken at the activity level. For transportation, two sub-categories.	Biological	Habitat types: benthic, shallow pelagic and deep pelagic
16	Clarke Murray, C., S. Agagiani, H.M. Medina, N.C. Bain, 2015. Canada's Pacific waters: Marine Policy 95: 71-77.	Paper	The paper describes the third iteration of cumulative effects mapping in the Canadian Pacific Coast, based on updated spatial data. The spatial location of activities was considered a VCE need to also evaluate effect following methods developed by Halpern and colleagues.		https://www.dropbox.com/home/ld_globalaff046345f1e2000c25394fEN3112201Transp220Canada/PReferences220swaves/Murray_et_al_2015/CE_Mapping-Canada_Pacific.pdf	Method	Spatial approaches	Regional (Canada's Pacific coast waters)	Multiple stressors	47 human activities including recreational boating and shipping (large vessels)	Biological	Multiple habitat types
26	Moore, S.E., Franklin, R., Reeves, B., and L. Southwell. 2014. A New Framework for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammals in a Rapidly Changing Arctic. BioScience 62: 289-295. doi:10.1622/bio.2012.62.3.10	Paper	We propose a new assessment framework that is based on the acoustic habitats that constitute the aggregate sound field from multiple sources, compiled at spatial and temporal scales consistent with the ecology of Arctic marine mammals.		https://www.dropbox.com/home/ld_globalaff046345f1e2000c25394fEN3112201Transp220Canada/PReferences220swaves/Moore_et_al_2014/EI_ArcticMarineMammals-CE_Assessment.pdf	Method	Spatial approaches	Arctic	Noise (movement underway)			
27	Cott, Maria & Pirroddi, Chiara & Albany, Camille & Laram, Frida & Cheng, William & Christensen, Will & Karpouz, Yassine & Palmares, M.L.D. & Strebek, Jeprom & Truello, Pablo & Vazson, Rog & Paul, Daniel. (2012). The Mediterranean Sea under siege: Spatial overlap between marine biodiversity, cumulative threats and marine reserves. Global Ecology and Biogeography 21: 485 - 491. 10.1111/j.1365-3113.2011.00517.x.	Paper	We first identified areas of high biodiversity of marine mammals, marine turtles, seabirds, fishes and commercial or well-documented invertebrates. We mapped potential areas of high threat where multiple threats are occurring simultaneously. Finally we quantified the overlap between high biodiversity and high cumulative threats, and we assessed the overlap with protected areas.		https://www.dropbox.com/home/ld_globalaff046345f1e2000c25394fEN3112201Transp220Canada/PReferences220swaves/Collette_et_al_2012/TheMediterraneanSeaUnderSiege.pdf	Method	Spatial approaches	Mediterranean Sea	Multiple stressors	Multiple stressors including shipping	Biological	Multiple species: mammals, turtles, seabirds, fishes and invertebrates
28	Biogeography 21: 485 - 491. 10.1111/j.1365-3113.2011.00517.x. Slieman and J.H.M. Schooban (2011) Scaling human-induced pressures to population level impacts in the marine environment: implementation of the prototype CUMLEDO-RAM model. Vageningen, Vennelijke Onderzoeksinstituut Wageningen UR, Wageningen, 265. 69 pp., 10 Figures, 7 Tables, 47 references.	Report	This report presents a generic framework for Cumulative Effect Assessment (CEA). It assumes that effects are a function of the intensity of pressures resulting from human activities and the sensitivity of ecosystem components to those pressures. The generic framework, above is implemented as the prototype CUMLEDO-RAM model.		https://www.dropbox.com/home/ld_globalaff046345f1e2000c25394fEN3112201Transp220Canada/PReferences220swaves/SliemanandSchooban2011.pdf	Method	Modeling approaches	Vadden Sea (Netherlands)	Multiple stressors	28 activities but limited the pressures to only about 10 major disturbance	Biological	Common eider, Great North Diver, Baltic herring, mussel, common cockle
29	Micheli F., Halpern, B.S., Valiades, S., Ciriaco, S., Ferretti, F., et al. (2013) Cumulative Human Impacts on Mediterranean and Black Sea Marine Ecosystems: Assessing Current Pressures and Opportunities. PLoS ONE 8(12): e79853. doi:10.1371/journal.pone.0079853	Paper	Our study assesses the cumulative impact of 22 drivers to 17 marine ecosystems reveals that 20% of the entire basin and 60-99% of the territorial waters of EU member states are heavily impacted, with high human impact occurring in all ecoregions and territorial waters. Less than 1% of these regions are relatively unaffected. This high impact results from multiple drivers: other than temperature and UV, and acidification, demersal fishing, ship traffic, and, in coastal areas, collision from land accounted for a major role.		https://www.dropbox.com/home/ld_globalaff046345f1e2000c25394fEN3112201Transp220Canada/PReferences220swaves/Micheli_et_al_2013/CumulativeImpactsOnMediterraneanandBlackSea.pdf	Method	Spatial approaches	Mediterranean and Black Sea	Multiple stressors	22 anthropogenic drivers	Biological	17 marine ecosystem types



2.2.1.3 Articles de synthèse

À part la documentation consacrée à des méthodes et outils particuliers, nous avons inclus dans notre sélection 14 articles de synthèse qui illustrent et comparent de multiples méthodes ou outils d'évaluation des effets cumulatifs. Même si le but de ces rapports diverge de l'objectif de cette évaluation (c.-à-d. méthodes d'évaluation des effets cumulatifs qui s'appliquent à la navigation maritime), l'examen et la comparaison de diverses structures d'organisation de rapports de synthèse nous ont aidés à définir notre cadre d'évaluation, et à fournir un aperçu de l'état actuel des méthodes d'évaluation des effets cumulatifs.

2.3 Évaluation détaillée

Nous avons regroupé les méthodes en trois catégories : spatiale, analytique et modélisation et avons examiné chacune par rapport à un ensemble uniforme de critères (Tableau 2.2). Ces critères illustrent les caractéristiques des méthodes qui ont revêtu une importance particulière pour le choix d'une démarche : la **pertinence** de la méthode par rapport à l'initiative sur les ECTM; la **rigueur** de la démarche pour ce qui est de la solidité de son établissement dans la pratique des EC, le niveau d'information qui appuie l'évaluation et le traitement de l'incertitude; et sa **faisabilité** à titre d'estimation générale de la facilité avec laquelle il serait possible d'adopter la démarche d'évaluation.

Tableau 2.2. Critères d'évaluation

Catégorie	Critère (cote)	Description
Pertinence (Faible/moyenne/élevée)	Échelle spatiale et temporelle	<ul style="list-style-type: none"> La méthode s'applique-t-elle à l'échelle nationale et/ou régionale? La méthode peut-elle s'appliquer à des échelles spatiales et temporelles différentes?
	Savoir autochtone ³	<ul style="list-style-type: none"> La démarche peut-elle incorporer le savoir des communautés autochtones ou des Premières Nations?
Rigueur (Faible/moyenne/élevée)	Application de la méthode	<ul style="list-style-type: none"> Existe-t-il des publications multiples des applications de la méthode? La méthode passe-t-elle pour une « pratique optimale »?
	Niveau des données/informations sous-jacentes	<ul style="list-style-type: none"> La méthode repose-t-elle sur le jugement d'experts, sur la documentation d'études réalisées dans d'autres lieux semblables, sur des données propres aux sites et provient-elle d'un modèle?
	Incertitude	<ul style="list-style-type: none"> La méthode tient-elle clairement compte des incertitudes et des hypothèses et les mentionne-t-elle?

³ Nous avons essayé de voir si la méthode pouvait être utilisée en conjonction avec le savoir autochtone. Pour le déterminer précisément et pour établir comment cela peut se faire, il faut en discuter avec les détenteurs de ce savoir et avec les communautés intéressées, à chaque étape du processus d'évaluation.



Appendice C

Catégorie	Critère (cote)	Description
Faisabilité (Faible/moyenne/élevée)	Complexité	<ul style="list-style-type: none"> Dans quelle mesure la méthode est-elle compliquée/perfectionnée (p. ex. nécessite-t-elle des ensembles de compétences spécialisées, prend-elle beaucoup de temps, etc.)?
	Données nécessaires	<ul style="list-style-type: none"> Quel volume et quels types de données ou de renseignements sont nécessaires?
	Flexibilité des données	<ul style="list-style-type: none"> La méthode peut-elle incorporer des types de données multiples? (p. ex. géospatiales et tabulaires) La méthode peut-elle incorporer des données qui ne sont pas expressément recueillies pour la méthode d'évaluation? Y a-t-il des mesures à prendre s'il n'existe pas de données? La méthode peut-elle incorporer un plus grand volume de données à mesure qu'elles deviennent disponibles?
	Accessibilité	<ul style="list-style-type: none"> Dans quelle mesure les connaissances des utilisateurs doivent-elles être approfondies pour adopter la méthode? Y a-t-il un mode d'emploi, une séance de formation, un réseau de soutien?
	Coût	<ul style="list-style-type: none"> Combien coûte-t-il d'employer la méthode? Les outils utilisés dans cette méthode sont-ils à libre accès ou faut-il les acheter?
	Interprétabilité et communicabilité	<ul style="list-style-type: none"> Avec quelle facilité les extraits peuvent-ils être interprétés? Et communiqués? Les extraits nécessitent-ils un traitement supplémentaire?

2.3.1.1 Tâches parallèles

En même temps que les recherches en ligne pour le niveau 2, nous avons mené d'autres recherches (résumées à l'Annexe A) sur un certain nombre de sujets qui donnent le contexte fondamental de l'évaluation des effets cumulatifs de la navigation maritime.

- Séquences des effets : Pêches et Océans Canada (MPO), moyennant la contribution de Transports Canada, élabore un modèle des séquences des effets qui explique les rapports de cause à effet entre les activités relatives au transport maritime et leurs effets, par le biais des facteurs de stress, sur des composantes valorisées de l'environnement. Ces renseignements sont importants étant donné que les facteurs de stress et les composantes valorisées particulières dont on tient compte peuvent influencer sur le choix de la méthode d'évaluation. Par exemple, dans le cadre de la sélection du niveau 1, nous avons cherché à traiter des méthodes d'évaluation relatives aux activités propres au transport maritime (p. ex. mouillage, déplacements en eau libre, etc.).
- Contexte de gestion : L'évaluation des effets cumulatifs s'imbrique et est éclairée par le contexte et des objectifs de gestion particuliers. Dans le cadre des recherches générales, notre équipe a analysé les documents pertinents consacrés à la portée et à la nature du mandat de gestion de Transports Canada sur les zones et les ressources marines.



- Contexte régional : Les sites pilotes diffèrent sur le plan de la géographie, des préoccupations suscitées par les effets cumulatifs, des facteurs de stress particuliers et des composantes valorisées revêtant une importance spéciale, etc. D'après les renseignements recueillis jusqu'ici par Transports Canada, notre équipe a brossé de brefs profils régionaux qui traitent de ces différences et particularités régionales.
- Disponibilité des données : Transports Canada s'occupe actuellement de déterminer les sources de données utiles qui présentent de l'importance pour l'évaluation des effets cumulatifs. Le choix d'une méthode d'évaluation dépend des types de données disponibles.

Les recherches en ligne sur chaque méthode ont également été complétées par des entrevues auprès d'experts clés. Au total, nous avons interviewé huit experts, notamment :

- Natalie Ban, professeure agrégée à l'École d'études environnementales de l'Université de Victoria (Colombie-Britannique)
- Claude Comtois, professeur de géographie à l'Université de Montréal
- Roland Cormier, président d'Ecorisk Mgmt Inc.
- Peter Duinker, professeur à l'École d'études sur les ressources et l'environnement de l'Université Dalhousie
- Mike Elliott, professeur de sciences estuariennes et côtières à l'Institut d'études estuariennes et côtières de l'Université de Hull
- Rebecca Martone, océanographe auprès de Ressources marines et côtières, gouvernement de la Colombie-Britannique
- Robert Stephenson, scientifique à la station biologique de St. Andrews du MPO et professeur invité à l'Université du Nouveau-Brunswick
- Villy Christensen, réalisatrice principale du logiciel Ecopath/Ecosim/Ecospace pour modéliser les interactions du réseau trophique

2.4 Défis

Nous nous sommes heurtés à plusieurs défis durant la réalisation de ce projet.

Comparer des pommes et des oranges. La série de méthodes d'évaluation que l'on nous a demandé d'examiner englobait une combinaison de méthodes, d'outils et d'études de cas, ce qui rend difficile toute comparaison directe. Pour les besoins du présent rapport, nous avons défini ces termes comme suit :

Méthodologie : L'ensemble collectif de méthodes employées dans un domaine particulier, en l'occurrence l'évaluation des effets cumulatifs.

Méthode : Procédure ou processus visant à atteindre un objet, en l'occurrence l'évaluation des effets cumulatifs. Dans certains cas, il peut exister des outils à l'appui de la méthode, mais une méthode peut exister sans outil.

Outil : Moyen d'arriver à une fin, instrument ou appareil utilisé pour exécuter une opération. En l'occurrence, les outils sont conçus à l'appui d'une ou de plusieurs méthodes



d'évaluation des effets cumulatifs. La spécificité des outils varie d'applications particulières (p. ex. inventaire des émissions maritimes d'EECC) à des logiciels génériques (p. ex. ArcGIS).

Étude de cas : L'application particulière d'un ou de plusieurs méthodes et outils connexes. Il peut s'agir d'exemples ponctuels qui utilisent une combinaison des méthodes analysées dans ce rapport pour parvenir à une fin particulière.

Une autre difficulté tenait au fait que les méthodologies variaient sur le plan de leur fonction, c.-à-d. de la manière dont elles peuvent appuyer l'EEC. Tout au long de la phase de sélection, nous avons élaboré une structure organisationnelle uniforme qui, à notre avis, nous aide à relever ce défi et à faire la distinction entre les méthodes (section 4.1). Nous avons également rétréci notre évaluation détaillée pour nous concentrer sur les méthodes à l'aide d'exemples d'outils connexes ou d'études de cas, chaque fois que cela était utile.

Nationale par rapport à régionale. Une difficulté courante dans le cadre des initiatives nationales réside dans la nécessité d'adopter une démarche nationale qui a néanmoins son utilité à l'échelle régionale, et qui idéalement, est assez flexible pour tenir compte du contexte régional. Il est difficile de trouver le juste équilibre. Un compromis peut consister à concevoir une démarche nationale axée sur certains paramètres d'application générale qui peuvent également être facilement intégrés dans les initiatives régionales.

Disponibilité des données. Transports Canada procède actuellement à la collecte de données existantes sur les environnements côtiers et la navigation maritime régional dans les six sites pilotes. La disponibilité des données exercera une influence sur le choix des méthodologies d'évaluation. Étant donné que cette tâche est toujours en cours, il est impossible de formuler des recommandations particulières pour l'instant.

Calendrier de détermination de la portée

L'élaboration et la mise en oeuvre de l'initiative nationale sur l'évaluation des effets cumulatifs du transport maritime sont éclairées par la mobilisation des communautés autochtones et des intervenants dans chacun des six sites pilotes à travers le Canada. À l'instar de tout projet nécessitant une mobilisation, celui-ci prendra du temps. Étant donné que Transports Canada utilise un processus concerté pour sélectionner des composantes valorisées, les composantes valorisées prioritaires n'avaient pas encore été regroupés au moment d'être mis sous presse. Cela empêche de formuler des recommandations particulières sur les méthodes qui peuvent convenir le mieux. En revanche, nous fournissons des conseils généraux sur les méthodes qui paraissent opportunes dans différentes conditions.

3 Sélection des méthodologies d'évaluation

3.1 Aperçu

La présente section présente les principales constatations du niveau 1 du processus d'évaluation, qui a consisté à procéder à une sélection de haut niveau des méthodes d'évaluation des effets cumulatifs relatifs au transport maritime. Nous avons analysé au total 181 ouvrages de référence, notamment des articles sur des méthodes/outils particuliers, des articles de synthèse, des cadres d'évaluation, des documents généraux clés, etc. Les documents analysés traitent d'une diversité de types de sources, soit des articles universitaires, des rapports, des textes, des études de cas, des sites Web et des présentations. La Figure 3.1 illustre la distribution des ouvrages de référence en fonction du thème ou du paramètre de l'évaluation qu'ils éclairent. La moitié (50 %) des ouvrages de référence sont des articles consacrés à l'une des catégories d'évaluation (c.-à-d. approches spatiales, analytiques et de modélisation). Signalons que la distinction entre les méthodes n'est pas toujours évidente et qu'il y a certaines méthodes décrites dans les ouvrages de référence qui englobent des éléments d'approches multiples. Toutefois, nous avons décidé de classer les ouvrages de référence en fonction de leur méthode d'évaluation prédominante (p. ex. si une méthode de modélisation comporte un volet d'analyse spatiale, nous la classerons dans la catégorie des « approches de modélisation »).

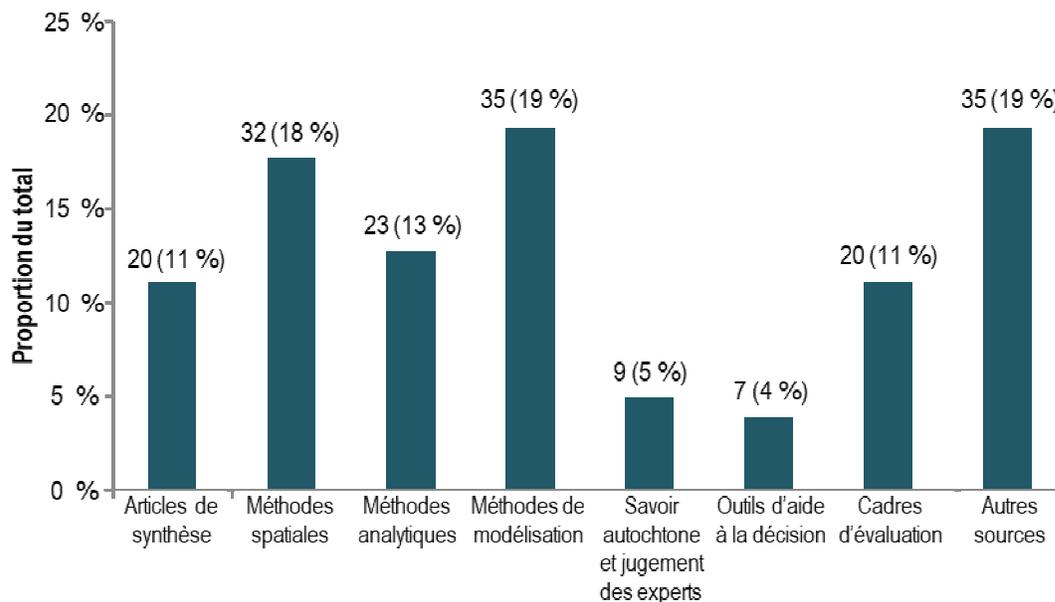


Figure 3.1. Répartition de la documentation examinée par thème.

Cette phase de sélection a contribué à déterminer les méthodes les plus pertinentes pour Transports Canada. Les perceptions issues de cet examen ont également contribué à former la structure organisationnelle employée dans l'évaluation plus détaillée de niveau 2 (section 2.3).



3.2 Conclusions générales

La présente section résume les principales constatations des rapports de synthèse qui se penchent sur les méthodes d'évaluation des effets cumulatifs. L'annexe B présente un ensemble de résumés des rapports de synthèse les plus utiles pour ce rapport.

En général, les auteurs regroupent les méthodes en fonction de leur nature méthodologique ou de la fonction que la méthode et l'outil qui s'y rattache appuie dans le processus d'évaluation. La Figure 3.2 illustre diverses catégorisations de méthodes d'EEC que nous avons trouvées dans la documentation.

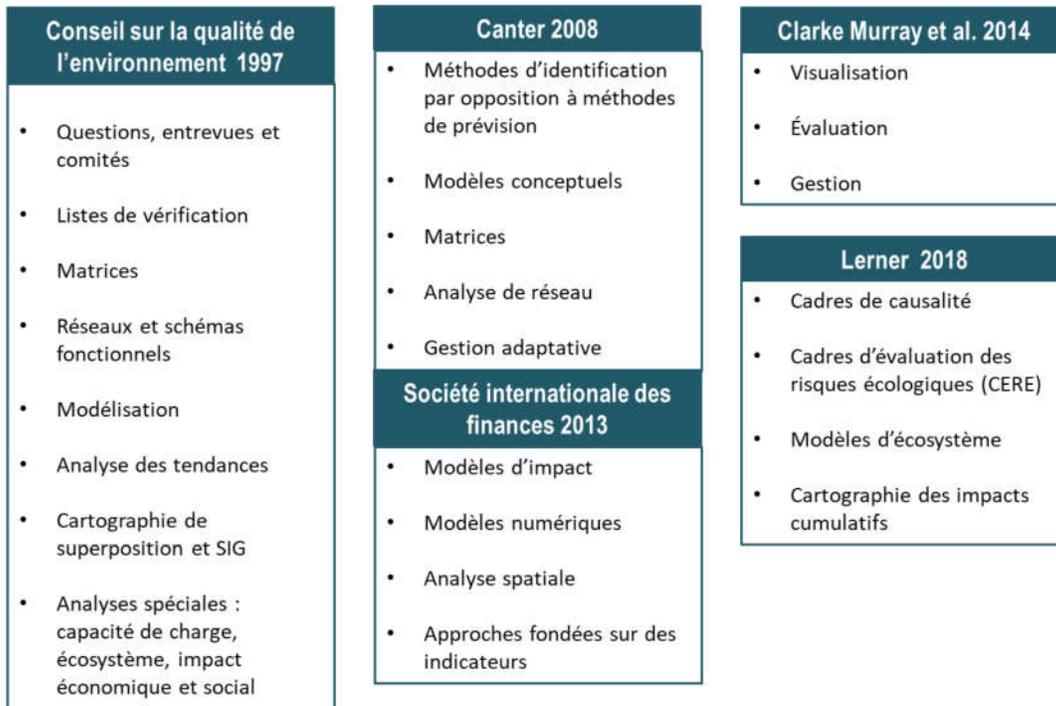


Figure 3.2. Exemples de catégorisations de méthodes d'évaluation des effets cumulatifs issues de la documentation.

Certains auteurs ont expressément analysé les méthodes utilisées pour l'EEC dans les milieux marins. Willsteed et coll. (2017) ont constaté une forte variabilité, à la fois sur le plan conceptuel et méthodologique, des démarches utilisées. Les auteurs ont constaté que cette disparité des démarches méthodologiques ne contribue pas à améliorer la compréhension par les régions des changements environnementaux cumulatifs.

D'autres défis particuliers de l'EEC dans les milieux marins (Stelzenmüller et coll., 2018) sont la conséquence de l'ouverture et de la forte connectivité des écosystèmes marins et de l'hétérogénéité et de l'incertitude des processus biophysiques, qui, dans certains cas, sont moins bien compris que dans les écosystèmes terrestres.

Parmi les principaux défis et les limites de l'EEC, mentionnons : la portée limitée des études (Korpinen et Andersen, 2016) qui n'englobe pas toutes les séquences, l'absence de points de repère ou de seuils pour

Appendice C

ESSA Technologies Ltd.

les facteurs de stress (Korpinen et Andersen, 2016) et les composantes des écosystèmes (Jones, 2016), l'incertitude (Clarke Murray et coll., 2014) et l'identification des valeurs de référence (Clarke Murray et coll., 2014, Foley et coll., 2017).

L'incertitude est inévitable dans l'EEC (Jones, 2016). Bien que l'incertitude soit reconnue dans la plupart des EEC, il est rare qu'on cherche à résoudre la façon dont elle compromet le résultat de l'évaluation (Stelzenmüller et coll., 2018). Parmi les méthodes courantes utilisées pour remédier à l'incertitude dans le contexte de ces évaluations, mentionnons l'utilisation des Réseaux de croyances bayésiennes et les avis d'experts (abordés ultérieurement à la section 4.4).

Les EEC sont des évaluations complexes et la définition des impacts, des points de référence, des échelles et de l'importance constituent toujours des défis majeurs dans l'usage des EEC, si l'on en croit Foley et coll. (2017). Malgré les progrès récents réalisés dans les sciences des EEC et dans les outils et les méthodes disponibles, les praticiens se battent toujours pour mettre en pratique les approches scientifiques (comme les évaluations quantitatives, l'utilisation de modèles numériques, etc.). Il existe également un certain manque d'uniformité dans la façon dont les points de référence sont définis et dont les effets et leur importance sont évalués.

À ce jour, la méthode prédominante d'évaluation des effets cumulatifs est une variante d'analyse spatiale (Korpinen et Andersen, 2016). Ce type de démarche consiste à combiner des données spatiales sur l'intensité des pressions/facteurs de stress avec des données sur la répartition et les caractéristiques des composantes valorisées étudiées. Même si les démarches spatiales peuvent aider à formuler le problème (Judd et coll., 2015), ce type d'analyse à lui seul ne permet pas une évaluation (quantification) des impacts.

CEQ (1997) fait valoir deux paramètres des EEC qui nécessitent une analyse spéciale, et par conséquent des méthodes spéciales : le besoin de tenir compte de la durabilité des ressources et l'importance attachée à la fois aux écosystèmes et aux communautés humaines.



4 Évaluation détaillée des méthodologies d'évaluation

4.1 Structure organisationnelle

Dès le commencement de cet exercice, nous avons employé les quatre catégories définies par Lerner (2018) dans son examen des cadres d'évaluation des effets cumulatifs : les cadres de causalité, les cadres d'évaluation des risques écologiques (CERC), les modèles d'écosystèmes, et la cartographie des impacts cumulatifs. Tandis que nous avançons dans la sélection, nous avons jugé utile de regrouper les méthodes de la documentation en trois nouvelles catégories selon la nature de l'évaluation : spatiale, analytique et de modélisation. Ces catégories correspondent à peu près aux mesures décrites à l'étape de l'évaluation (section 1.3) : les **méthodes spatiales** servent souvent à évaluer l'état des composantes valorisées et des facteurs de stress, les **méthodes analytiques** visent à quantifier les relations fonctionnelles au sujet des séquences des effets, et les **méthodes de modélisation** permettent d'évaluer d'autres scénarios. Grâce au modèle de séquence des effets (Annexe A) à titre d'ouvrage de référence, nous avons en outre subdivisé les méthodes en fonction de la portion du système sur laquelle portait l'évaluation (Figure 4.1); p. ex. les facteurs de stress, les composantes valorisées ou les séquences.

Les méthodes ne se subdivisent pas parfaitement en catégories mutuellement exclusives. Dans certains cas, une méthode peut être l'intrant d'une autre méthode. Dans d'autres cas, on constate certains chevauchements dans les démarches analysées dans deux méthodes différentes (p. ex. de nombreuses méthodes ont une composante spatiale). Nous avons subdivisé les méthodes en fonction de leurs caractéristiques principales en reconnaissant qu'il y a certains chevauchements entre elles. En outre, nous avons déterminé plusieurs méthodes d'appui (c.-à-d. le savoir autochtone, les avis d'experts et les outils d'aide à la prise de décisions) et celles-ci sont illustrées à la section 6.

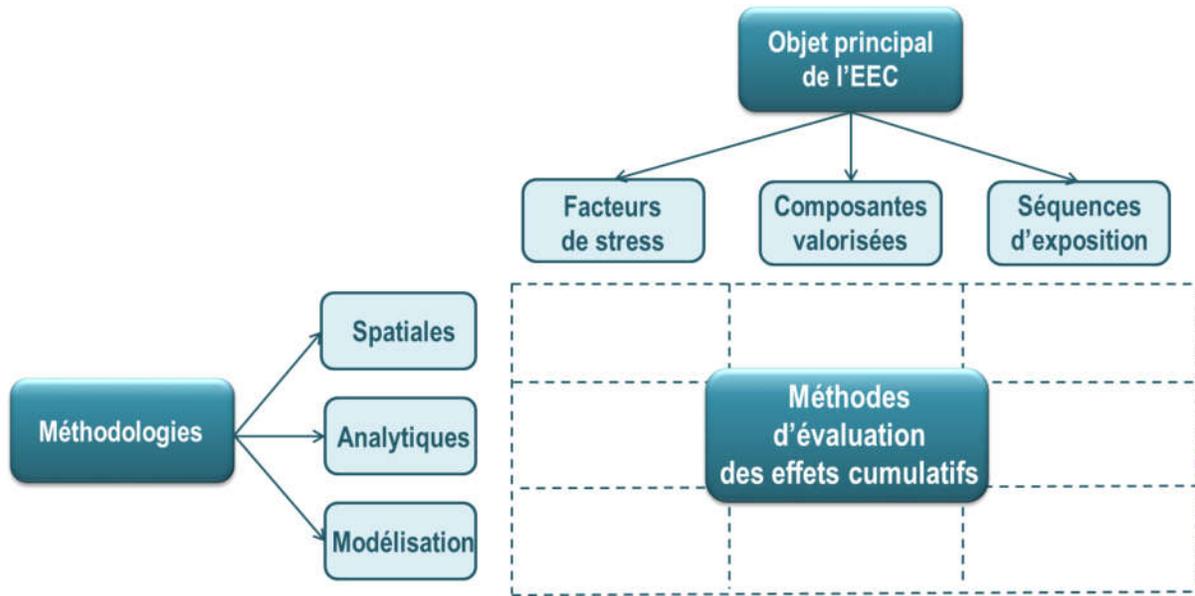


Figure 4.1. Structure organisationnelle de l'évaluation des méthodes d'évaluation des effets cumulatifs.

4.2 Méthodes spatiales

4.2.1 Aperçu

Les méthodes spatiales d'évaluation des effets cumulatifs consistent à déterminer l'emplacement des facteurs de stress et des composantes valorisées pour comprendre la façon dont les composantes valorisées sont exposées aux facteurs de stress (c.-à-d. chevauchement géographique) et la façon dont l'exposition entraîne des effets de niveaux différents. Les démarches spatiales peuvent consister à simplement cartographier les emplacements pour comprendre là où existent différents types de facteurs de stress et composantes valorisées et à utiliser les caractéristiques relatives aux facteurs de stress et aux composantes valorisées parallèlement aux démarches analytiques ou à la modélisation pour mieux comprendre l'ampleur des effets. De la sorte, les démarches spatiales ne diffèrent pas des méthodes analytiques et des méthodes de modélisation, mais leur sont plutôt complémentaires.

Les méthodes spatiales sont souvent utilisées dès le début du processus d'EEC car elles soulignent les secteurs géographiques sur lesquels il y a lieu de se concentrer (p. ex. les secteurs où de nombreux facteurs de stress agissent sur des composantes valorisées) et les séquences prioritaires (p. ex. une séquence où le facteur de stress et la composante valorisée interagissent souvent). Dans cette section, nous nous concentrons sur les démarches spatiales qui ont trait à la cartographie, qui est essentiellement une méthode qui peut être utilisée seule ou parallèlement à d'autres méthodes analytiques ou de modélisation, décrites aux sections 4.3 et 4.4.

La cartographie des activités humaines et des composantes valorisées consiste à reconnaître les emplacements et les caractéristiques connexes (c.-à-d. une représentation spatiale de l'état du facteur de stress ou de la composante valorisée). Par exemple, pour une composante valorisée d'ordre écologique, cela peut consister à reconnaître les secteurs où les espèces ont pu être observées ainsi que les niveaux de population dans chacun de ces secteurs. La cartographie d'activités multiples et/ou des composantes valorisées regroupe les cartes d'une seule activité et d'une seule composante valorisée en superposant



des activités et des valeurs afin de souligner les secteurs où différentes composantes valorisées sont exposés à différentes activités.

4.2.1.1 Facteurs de stress

La détermination des emplacements des activités humaines est souvent plus facile que pour les composantes valorisées car il est possible d'intégrer la collecte des données dans l'activité. Par exemple, le système d'identification automatique (SIA) est un système de suivi qui recueille des renseignements sur le déplacement des embarcations alors que les embarcations sont opérationnels et utilisent un récepteur du système de positionnement global (GPS) (Marine Traffic, 2018). Alors que la collecte des données se fait pendant le déplacement des embarcations, les données du SIA sont constamment recueillies et peuvent facilement servir à une diversité d'objectifs. Une façon dont les données du SIA sont souvent utilisées dans l'évaluation des effets cumulatifs consiste à produire des cartes sur la densité du trafic maritime (Figure 4.2). Les données sur la densité du trafic maritime peuvent alors être utiles parallèlement aux méthodes analytiques ou aux méthodes de modélisation pour estimer l'ampleur d'un facteur de stress (p. ex. au moyen des modèles de propagation du bruit tels qu'ils sont analysés à la section 4.4.1) et/ou l'effet définitif d'une composante valorisée (p. ex. l'effet du bruit sur les cétacés proches).

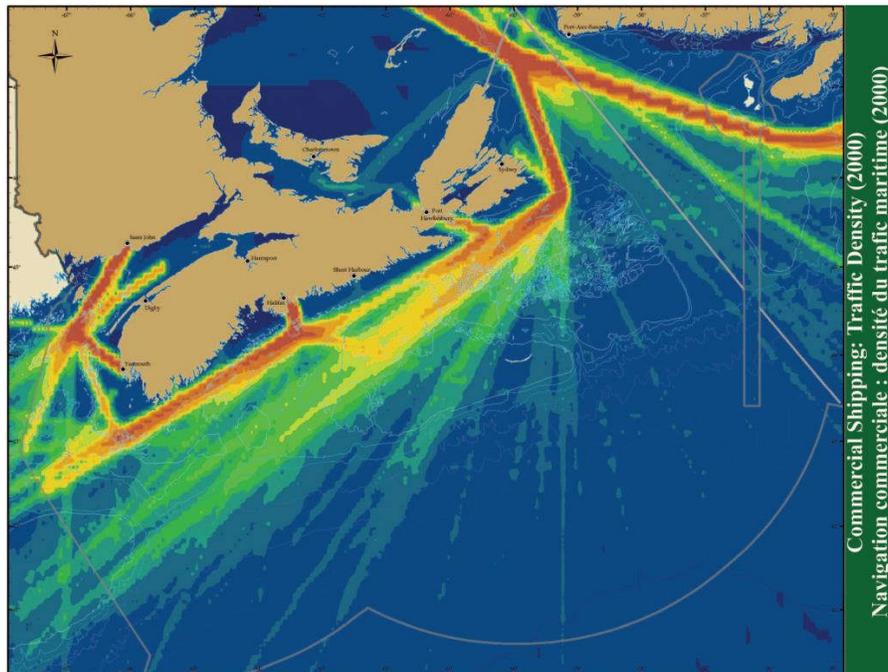


Figure 4.2. Carte thermique illustrant l'intensité du trafic maritime depuis le plateau Scotian : Atlas des activités humaines (MPO, 2005).

Dans les cas où il n'est pas possible d'intégrer la collecte des données dans l'activité, les données peuvent être recueillies sur le terrain. La collecte des données sur le terrain exige d'en assurer la surveillance à l'aide des méthodes appropriées (c.-à-d. comment recueillir les données) et des modèles d'échantillonnage (c.-à-d. où, quand et selon quelle fréquence il convient de recueillir les données). Une méthode souvent utile aux activités humaines réside dans les sondages, en vertu desquels on enregistre les observations des activités de manière systématique en consignand de façon répétée les observations le long de transects

spécifiques. En concevant ce type de surveillance, il convient de consulter un statisticien afin d'assurer une solide conception.

Néanmoins, la surveillance sur le terrain peut être coûteuse, de sorte qu'il est sans doute plus efficace de procéder à des estimations en mobilisant les gens qui participent à l'activité. Cela se fait fréquemment à l'aide de sondages dans le cadre desquels on demande aux personnes où et quand elles se trouvaient à différents endroits et ce qu'elles y faisaient. Citons à titre d'exemple les relevés des prises qui sont réalisés auprès des pêcheurs à leur retour de la pêche. Dans ces relevés, on demande aux pêcheurs où ils pêchaient, pendant combien de temps ils ont pêché et ce qu'ils ont pris, ce qui fournit des données sur l'emplacement et l'ampleur se rapportant au facteur de stress de la pêche (c.-à-d. l'emplacement et l'ampleur).

En outre, il est possible d'estimer les lieux et les caractéristiques des activités humaines en se fondant sur le savoir autochtone ou les avis d'experts, qui sont tous les deux abordés à la section 6.

4.2.1.2 Composantes valorisées

La schématisation des composantes écologiques, culturelles et socioéconomiques importantes peut se faire à l'aide de méthodes multiples, notamment le contrôle sur le terrain, la recherche d'avis d'experts et la mobilisation des détenteurs du savoir autochtone.

La schématisation des composantes écologiques importantes peut être ardue, en particulier dans les milieux aquatiques, car ces derniers peuvent être difficiles à déceler et nécessitent donc des techniques d'échantillonnage pour en déterminer l'emplacement. Le type de méthode d'échantillonnage à utiliser dépend de la composante valorisée. Même s'il est hors de question de déterminer les méthodes de contrôle de toutes les composantes valorisées potentiellement utiles, mentionnons à titre d'exemples : la surveillance des cétacés par des relevés le long de transects préétablis; et la surveillance des crabes par le déploiement de pièges à crabes. De plus, il se peut que certaines méthodes permettent de surveiller des composantes valorisées multiples (comme les relevés de plongée qui peuvent servir à recueillir des données se rapportant à des espèces différentes multiples).

L'emplacement et les caractéristiques des composantes écologiques, culturelles et socioéconomiques importantes peuvent également être estimés en dialoguant avec les détenteurs du savoir autochtone (question qui est abordée ultérieurement à la section 6.1). Dans certains cas, il se peut que les communautés autochtones aient déjà pris des initiatives pour illustrer ces données. Par exemple, à Haida Gwaii (Colombie-Britannique), le projet Haida Marine Traditional Knowledge (HMTK) a été lancé en 2007 par le Programme des pêches de Haida pour faire des recherches et pour illustrer la culture, les traditions et le savoir des Haida en ce qui concerne la zone maritime de Haida Gwaii (CHN, 2011a). Dans le cadre de ce projet, on a mené des entrevues auprès des membres de la communauté et l'on a schématisé des sites, des zones de pêche et des caractéristiques écologiques d'importance. La Figure 4.3 illustre une partie d'une grande carte qui a été établie en complément de rapports multiples (CHN, 2011b).

On peut également estimer les emplacements et les caractéristiques des composantes écologiques et socioéconomiques importantes en faisant appel aux avis d'experts. Cette méthode est analysée plus à fond à la section 6.2.

En schématisant les emplacements et les caractéristiques des composantes valorisées, il est possible de superposer les cartes sur les cartes des facteurs de stress afin de déterminer les séquences prioritaires (p. ex. ceux où une composante valorisée est fortement exposée à un facteur de stress particulier) et les secteurs géographiques prioritaires (p. ex. là où les composantes valorisées sont exposées à des facteurs de stress multiples). L'évaluation des risques qui est abordée à la section 4.3 repose sur ce type d'analyse



Appendice C

spatiale. Ces données peuvent alors servir à appuyer les méthodes d'analyse et de modélisation qui examinent plus à fond l'ampleur et la nature des effets sur différentes composantes valorisées recensées.



Figure 4.3. Partie de la carte de Haida Ocean & Way of Life établie dans le cadre de l'Étude sur le savoir traditionnel maritime des Haida.

4.2.1.3 Séquences

Une méthode qui a permis de relier les facteurs de stress et les composantes valorisées et qui dépend fortement de la schématisation est la schématisation des impacts cumulatifs (Halpern, 2008 Ban et coll., 2010, Micheli et coll., 2013, Clarke Murray et coll., 2015, Depellegrin et coll., 2017, Mach et coll., 2017, Andersen et Stock, 2013, Korpinen et coll., 2012). À son niveau le plus élémentaire, la schématisation des impacts cumulatifs est axée sur les facteurs de stress et elle consiste à identifier les multiples activités qui surviennent dans l'espace en utilisant les données relatives aux activités (c.-à-d. les types et les niveaux des facteurs de stress) pour en tirer des déductions sur les niveaux des pressions cumulatives qui s'exercent dans l'espace. Toutefois, la schématisation des impacts cumulatifs part du principe qu'en utilisant les données sur la sensibilité et la vulnérabilité des composantes valorisées provenant d'avis d'experts, on évalue les effets que les pressions cumulatives dans l'espace peuvent avoir sur les composantes valorisées (Halpern et coll., 2008). Ban et coll. (2010) ont appliqué cette démarche à la côte Ouest du Canada.

4.2.2 Critères d'évaluation

4.2.2.1 Pertinence

Utilité

Le type et l'intensité du trafic maritime diffèrent sur le plan spatial le long des côtes du Canada. Ces différences se soldent par différents types et intensités de facteurs de stress, qui agissent à leur tour sur différentes séries de valeurs. L'identification et la schématisation des séries de facteurs de stress qui surviennent dans différents espaces permettent d'identifier les points chauds préoccupants ou les secteurs sur lesquels il faut concentrer les efforts de gestion (Ban et coll., 2010). L'identification et la schématisation d'autres séries de composantes valorisées permettent de souligner les espaces où des mesures spécifiques de gestion peuvent être prises pour atténuer les effets sur certaines valeurs particulières. En outre, les activités de schématisation et les composantes valorisées peuvent être utilisées parallèlement à d'autres méthodes pour souligner les secteurs où il convient d'utiliser des méthodes plus détaillées, ou pour tirer des déductions spatialement plus explicites qui découlent des autres méthodes.

Échelle spatiale et temporelle

La schématisation des emplacements et des caractéristiques des facteurs de stress et des composantes valorisées a été réalisée à l'échelle mondiale, régionale et locale. On s'est occupé de schématiser des facteurs de stress particuliers (p. ex. PSF 2015), des composantes valorisées spécifiques (p. ex. CHN, 2011a), et d'examiner les impacts cumulatifs que les facteurs de stress peuvent avoir sur l'écosystème en recourant à la démarche de schématisation des impacts cumulatifs mise au point par Halpern et coll. (2008) (Ban et coll., 2010, Mach et coll., 2017). Des évaluations à plus petite échelle permettent de présenter les résultats à spécificité plus géographique. Par exemple, Halpern et coll. (2008) ont procédé à une évaluation mondiale et ont souligné les secteurs mondiaux de préoccupation, tandis que Ban et coll. (2010) se sont concentrés plus particulièrement sur le littoral de la Colombie-Britannique et ont souligné des secteurs propres à la Colombie-Britannique (Figure 4.4).

Bien que la schématisation des impacts cumulatifs puisse se faire à des échelles spatiales multiples, il importe de noter l'échelle spatiale des données utilisées et des hypothèses intégrées dans ces ensembles de données, afin de ne pas tirer des déductions à des échelles plus réduites que ce que permettent les ensembles de données. Afin de déterminer la meilleure échelle spatiale pour procéder à une évaluation, il faut tenir compte de l'échelle des différents types d'activités humaines et des composantes valorisées ainsi que de l'échelle spatiale de la mise en œuvre des activités de gestion. Lorsque ces paramètres aboutissent à des échelles multiples pertinentes (p. ex. différentes composantes valorisées exigent différentes échelles), il faut mener des évaluations à des échelles multiples, ce qui peut se faire à l'aide d'une approche hiérarchique (R. Martone, communication personnelle).



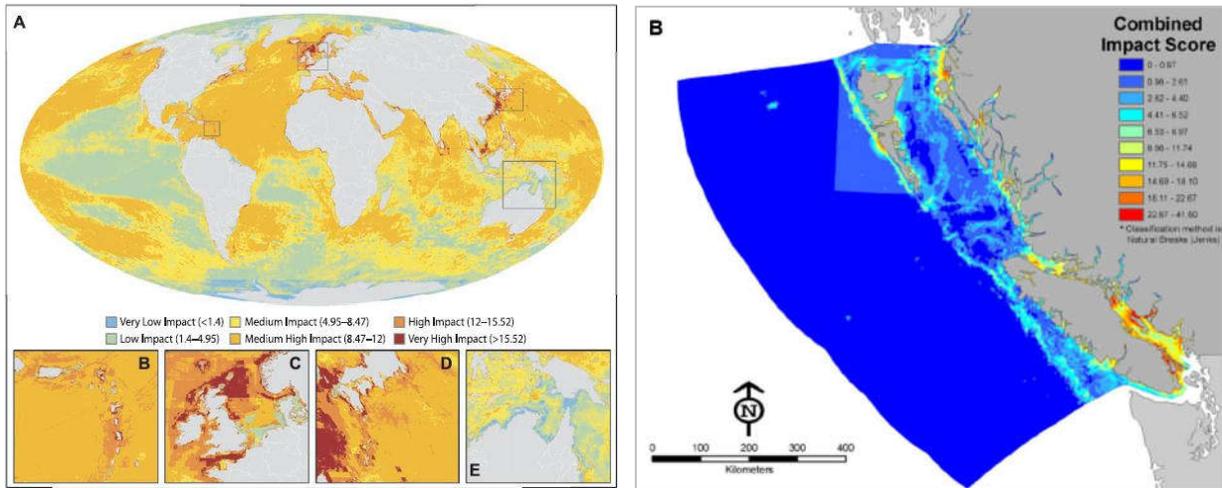


Figure 4.4. (A) Carte des impacts humains cumulatifs mondiaux dans 20 types d'écosystèmes océaniques et quatre cartes de régions fortement touchées (extrait de Halpern et coll., 2008), et (B) Scores d'impact environnemental pour les secteurs situés le long du littoral de la Colombie-Britannique (extrait de Ban et coll., 2010).

Savoir autochtone

Le savoir autochtone a abondamment servi à illustrer certaines caractéristiques relatives aux écosystèmes de même qu'aux lieux et aux usages culturels (CHN, 2011a). Pour examiner les impacts cumulatifs d'une manière spatialement explicite, le savoir autochtone permet de mieux comprendre le type et l'intensité des activités humaines de même que l'état des composantes écologiques et culturelles du passé, la façon dont elles ont évolué avec le temps et la façon dont elles pourraient changer à l'avenir selon divers scénarios (N. Ban, communication personnelle). Le savoir autochtone est analysé plus à fond à la section 6.1.

4.2.2.2 Rigueur

Application d'une méthode

Il existe quantité d'applications de la schématisation des activités humaines et des composantes valorisées (p. ex. CHN, 2011a, PSF, 2015). Pour ce qui est des activités humaines, cela consiste à documenter les empreintes d'activités permanentes, comme les industries côtières (p. ex. données sur la tutelle gouvernementale) et le suivi des activités qui évoluent spatialement dans le temps. Par exemple, la combinaison des données provenant de tous les embarcations équipées du SIA dans une zone pendant une période donnée peut fournir des renseignements spatialement explicites sur l'intensité du trafic maritime équipé du SIA dans l'espace compte tenu de la période de temps. Pour les composantes valorisées, il est possible d'identifier les emplacements et les caractéristiques en fonction des recherches scientifiques, du savoir autochtone ou des connaissances locales.

Les ensembles de données relatives à des activités humaines multiples et à des composantes valorisées sont souvent regroupés au sein de systèmes informatiques mondiaux (p. ex. ArcGIS, QGIS) afin de comprendre les relations entre les activités et les composantes des écosystèmes sur le plan spatial. Il arrive que ces renseignements soient incorporés dans une plate-forme de schématisation Web. Par exemple, le Portail du Plan maritime du Marine Planning Partnership (MaPP) est un programme interactif qui utilise la

plate-forme SeaSketch pour permettre aux usagers de visionner des couches multiples de la zone du MaPP (MaPP, 2018). Pour plus de renseignements sur ce partenariat, consulter l'étude de cas qui l'explique en détail à la section 6.3.2.

Les données spatiales superposées peuvent également être utilisées parallèlement à d'autres types de démarches pour mieux comprendre les impacts qui peuvent se produire sur des composantes valorisées. Une démarche utilisée à maintes reprises consiste à combiner des données spatialement explicites à des estimations d'experts sur la vulnérabilité des écosystèmes, en recourant à une démarche de schématisation des impacts cumulatifs (Halpern et coll., 2008,). Grâce à cette démarche, on schématise les catégories d'activités humaines et l'on a recours aux avis d'experts pour estimer les niveaux d'impact propres aux écosystèmes au sujet des catégories de manière à pouvoir estimer les impacts cumulatifs d'une manière spatialement explicite. D'autres méthodes qui peuvent être spatialement explicites ou que l'on peut compléter à l'aide de données spatialement explicites sont abordées dans les sections sur les méthodes d'analyse et de modélisation (sections 4.3 et 4.4).

Une démarche spatialement explicite contribue à comprendre la façon dont les activités humaines et les composantes valorisées sont exposés les uns aux autres, et à souligner les secteurs dont les chevauchements sont préoccupants. Le fait de combiner des données spatialement explicites à une autre démarche (comme un modèle) est bénéfique lorsqu'il est nécessaire de mieux comprendre le rapport entre les activités et/ou les composantes.

Niveau des données/reenseignements de base

La schématisation des activités humaines et des composantes valorisées peut incorporer des types de renseignements multiples, notamment les données empiriques issues de recherches scientifiques, le savoir autochtone ou les connaissances locales, de même que des renseignements fondés sur des déductions provenant de modèles ou d'estimations d'experts. Étant donné que la schématisation des effets cumulatifs exige intrinsèquement des données sur des activités humaines et/ou des composantes valorisées multiples, il est souvent difficile de recueillir ou d'acquérir des données empiriques au sujet de toutes les données requises. En outre, cela est particulièrement redoutable lorsqu'il est nécessaire d'estimer la façon dont les facteurs de stress se dissipent à mesure qu'ils s'éloignent de l'activité d'origine et l'impact que ce stress peut alors avoir sur certaines composantes valorisées. Pour cette raison, on s'en remet souvent aux données recueillies ailleurs dans le monde et/ou aux connaissances d'experts (N. Ban, communication personnelle). Ces données sont alors souvent utilisées dans le cadre d'autres analyses (voir section 4.3) ou dans l'élaboration de modèles de simulation (voir section 4.4).

Incertitude

La schématisation des activités humaines et des composantes valorisées peut devoir tenir compte de l'incertitude qui existe. Les données sur les activités humaines sont souvent fondées sur le recensement (c.-à-d. la collecte de données dont le but est de saisir la totalité de l'activité, comme c'est le cas des données du SIA (qui saisissent la totalité des déplacements des bateaux équipés du SIA). Néanmoins, lorsque les données sur l'activité humaine ou la composante valorisée sont recueillies uniquement en fonction de l'échantillonnage d'une partie de l'activité ou de la composante, il faut alors inclure les intervalles de confiance. Étant donné que les activités humaines peuvent généralement être mesurées plus facilement que les composantes valorisées, qui doivent faire l'objet d'un échantillonnage, il est généralement plus facile de recueillir des données assorties d'un niveau d'incertitude inférieur au sujet des activités par rapport aux composantes valorisées.

Lorsqu'on utilise des renseignements schématisés en association avec une autre méthode, il faut également tenir compte des incertitudes qui se rattachent à l'autre démarche. Par exemple, si l'on utilise un modèle pour estimer un niveau d'impact sur une composante valorisée résultant d'un facteur de stress particulier, les estimations du niveau d'impact incorporeront l'incertitude fondée sur les données qui servent



à éclairer ce rapport dans le modèle. Certains projets de schématisation des impacts cumulatifs permettent de tenir compte explicitement des incertitudes (Figure 4.5) (Gissi et coll., 2017). Peu importe que l'on quantifie ou que l'on réduise les incertitudes, il faut à tout prix être explicite sur là où des incertitudes existent et/ou là où des hypothèses ont été formulées (N. Ban, communication personnelle).

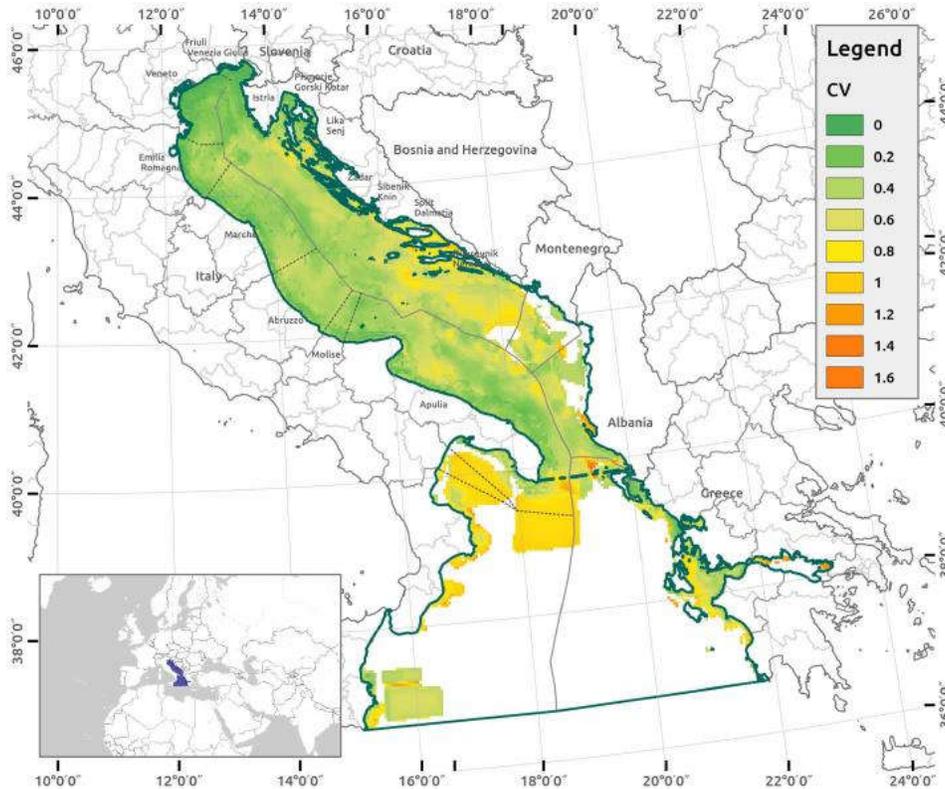


Figure 4.5. Coefficient de variation (CV) résultant du modèle de simulation de Monte Carlo des quatre facteurs d'intrant utilisés dans l'analyse de l'incertitude dans Gissi et coll. (2017).

4.2.2.3 Faisabilité

Complexité

Les approches spatiales peuvent varier sur le plan de la complexité. La schématisation qui permet d'explicitier les emplacements et les caractéristiques des activités humaines ou des composantes valorisées peut être relativement peu complexe. Ce type de schématisation et d'analyse des renseignements superposés exige une capacité SIG (p. ex. ArcGIS ou QGIS) et des connaissances se rapportant à l'analyse de différents types d'ensembles de données (p. ex. trajectoires des bateaux, utilisation des habitats d'espèces, etc.). La complexité peut augmenter lorsqu'on combine les données schématisées à d'autres méthodes d'évaluation (comme la modélisation), selon la complexité de l'autre approche.

Données/informations nécessaires

Les données ou les informations nécessaires dépendent du nombre d'activités humaines et/ou de composantes valorisées qui font partie de la portée de l'évaluation. Plus il y a d'activités humaines ou de composantes valorisées dans l'évaluation, plus il faut recueillir de données.



Afin d'évaluer les pressions cumulatives exercées par la série exhaustive d'activités humaines dans un espace, on a besoin de données spatialement explicites au sujet de la totalité des activités humaines dans l'espace qui présente de l'intérêt. Pour évaluer ensuite les facteurs de stress qui découlent de ces activités humaines, il faut des informations sur les activités qui provoquent les facteurs de stress et de quelles façons (p. ex. les données sur le bruit se dissipent avec la distance depuis le navire source; voir section 4.4 pour savoir comment un seul modèle de facteur de stress peut servir à simuler ce type d'information). Pour évaluer l'exposition des composantes valorisées aux activités et aux facteurs de stress, on a besoin de données spatialement explicites sur la répartition des composantes valorisées dans l'espace d'intérêt (voir à la section 4.3 les méthodes analytiques d'estimation des répartitions).

Une méthode d'analyse ou de modélisation complémentaire peut faciliter l'estimation des effets que les facteurs de stress peuvent avoir sur les composantes valorisées. Ce faisant, on a besoin de renseignements sur l'effet que les facteurs de stress peuvent avoir sur des composantes du système et sur la façon dont interagissent des facteurs de stress et des composantes multiples (p. ex. si l'effet de deux facteurs de stress sur une composante est additif, synergique ou antagoniste). Les données et les informations nécessaires qui se rattachent aux méthodes d'analyse et de modélisation sont analysées plus à fond aux sections 4.3 et 4.4.

Faute de données quantitatives, le savoir autochtone (section 6.1) ou les avis d'expert (section 6.2) peuvent faciliter le comblement des lacunes. À défaut de quoi, on peut se servir d'hypothèses, sous réserve que les hypothèses soient explicites (N. Ban, communication personnelle).

Flexibilité des données

Étant donné que la schématisation des activités humaines et des composantes valorisées incorpore intrinsèquement des types de données multiples, notamment des données empiriques et des données fondées sur des déductions, il existe un niveau élevé de flexibilité dans l'incorporation de données qui ne sont pas expressément recueillies dans le cadre d'une évaluation des effets cumulatifs et dans l'utilisation des données provenant de l'avis d'experts en l'absence de données empiriques. De fait, la schématisation des impacts cumulatifs est fondée sur les ensembles de données recueillis à d'autres fins (Halpern et coll., 2008, Ban et coll., 2010), ce qui peut comporter des données sur les activités humaines dont on assure le suivi à titre permanent (p. ex. les données du SIA) ou dans le cadre d'un projet de recherche spécifique (p. ex. données sur la population d'une espèce recueillies pour une thèse de doctorat). Si l'on associe la schématisation des activités et des composantes valorisées à une autre approche, on peut se heurter à d'autres limites des données en fonction de la flexibilité de l'autre approche.

Accessibilité

Étant donné que la schématisation des emplacements des activités humaines et des composantes valorisées s'est déroulée à maintes reprises, on a facilement accès à des renseignements sur les méthodes à utiliser. En outre, les systèmes logiciels SIG (comme ArcGIS, QGIS) qui servent à cette schématisation sont couramment utilisés et il existe un vaste réseau de soutien de gens qui facilitent l'utilisation de ces systèmes.

Coût

L'accomplissement d'activités de schématisation varie selon la portée de l'évaluation, la disponibilité des données et la disponibilité des logiciels et des ressources humaines. Pour déterminer la portée des projets, on peut se fonder sur la collecte de données particulières sur l'activité humaine et/ou sur une composante valorisée (p. ex. en examinant uniquement le trafic maritime lié aux traversiers et non à plusieurs types d'embarcations), et se fonder sur différentes échelles spatiales et temporelles. En outre, les coûts varieront en fonction de la disponibilité des données, car les coûts augmenteront très nettement parallèlement au besoin de recueillir des données empiriques, de se livrer à des exercices de recherche d'avis d'experts, ou de mobiliser les détenteurs du savoir autochtone.



Interprétation et communicabilité

Les cartes facilitent la communication et l'interprétation de renseignements, et cela comprend les cartes des emplacements des activités humaines et des composantes valorisées. Lorsqu'on associe des renseignements schématisés à d'autres méthodes, les résultats risquent d'être plus difficiles à communiquer, compte tenu de la complexité de l'autre méthode. En général, si la facilité de communication et d'interprétation est importante, le recours à une approche spatialement explicite permettra de présenter les résultats sur des cartes, ce qui facilite grandement la communication.

4.3 Méthodes analytiques

4.3.1 Aperçu

La présente section ne traite pas de la riche documentation sur les méthodes statistiques. En revanche, elle décrit quelques méthodes clés qui présentent un intérêt dans le contexte de l'initiative sur les ECTM. Elle diffère des autres sections en ce sens que les méthodes se concentrent sur la manière d'utiliser les **données empiriques**⁴. En particulier, nous décrivons la manière d'évaluer la répartition spatiale des composantes valorisées, de caractériser les risques et de quantifier les relations fonctionnelles au sujet des séquences supposées.

4.3.1.1 Facteurs de stress

Il est généralement possible de mesurer directement et avec une facilité relative l'état ou l'ampleur des activités (p. ex. les déplacements en eau libre) car c'est la chose sur laquelle nous exerçons un véritable contrôle. La quantification des facteurs de stress (comme le bruit) découlant d'une activité donnée est plus difficile. En général, les facteurs de stress sont quantifiés au moyen de modèles mécaniques (consulter les modèles de facteurs de stress à la section 4.4.1) en fonction des données empiriques relatives à l'activité connexe. Même s'il se peut qu'il y ait des exceptions, il est peu utile d'examiner plus à fond les méthodes analytiques pour quantifier les facteurs de stress.

4.3.1.2 Composantes valorisées

Les méthodes visant à contrôler et à évaluer l'état des composantes valorisées (p. ex. l'abondance des baleines) sont plus complexes qu'en ce qui concerne les activités. Cela s'explique par le fait que les composantes valorisées ne dépendent pas directement de notre volonté, mais qu'on les trouve en général dans de vastes échelles spatiales, ce qui oblige à adopter une approche d'échantillonnage, sans compter qu'elles sont souvent difficiles à détecter. Il existe une diversité de méthodes qui peuvent s'appliquer, notamment : les études de capture-recapture, le suivi télémétrique ou les relevés visuels. Ensemble, la combinaison de méthodes de conception d'échantillonnage et de méthodes sur le terrain s'appelle le

⁴ Empirique : « provenant de l'observation ou de l'expérience ou fondée dessus » Merriam-Webster [<https://www.merriam-webster.com/dictionary/empirical>].



schéma de surveillance, qui déborde la portée du présent rapport. En général, il convient de consulter un statisticien pour concevoir un solide programme de surveillance.

Il y a cependant quelques méthodes analytiques qui permettent d'identifier la répartition spatiale des composantes valorisées susceptibles de présenter une utilité particulière pour l'initiative sur les ECTM et qui sont analysées plus à fond dans cette section.

Estimation du domaine vital

Résumé

Désigne l'identification des domaines vitaux ou des secteurs qui revêtent le plus d'importance pour les composantes valorisées à différents stades de la vie ou moments de l'année. Ces répartitions doivent être superposées sur les cartes correspondantes des facteurs de stress pour identifier les points chauds d'exposition.

Description

Les répartitions d'utilisation peuvent se définir comme la répartition de la position d'un animal dans le plan (Worton, 1989). Il est utile d'estimer la répartition d'utilisation pour déterminer les domaines vitaux ou les habitats critiques de différentes espèces ou stades de la vie. Il existe une diversité de méthodes dans la documentation permettant d'estimer les domaines vitaux. En général, elles nécessitent des données empiriques sur là où l'on trouve l'espèce qui présente de l'intérêt. Ces données peuvent revêtir diverses formes, notamment : les animaux qui font l'objet d'un suivi télémétrique, les signes directs ou indirects de leur présence, ou les relevés visuels (Cominelli et coll., 2018). On analyse alors sur le plan spatial la fréquence des observations pour déterminer la répartition d'utilisation. Ces répartitions peuvent être tracées sur un schéma pour illustrer les zones qui sont le plus souvent utilisées par les espèces ou par le stade de vie qui présente de l'intérêt. Il existe à la fois des approches paramétriques⁵ et non paramétriques pour estimer ces répartitions. Worton (1987) propose un examen des méthodes d'estimation du domaine vital. Ces méthodes sont de conception relativement simple et il existe une diversité d'outils logiciels gratuits pour les appuyer. Il est nécessaire de combiner un SIG et une expertise statistique modérée.

⁵ Les approches paramétriques supposent une hypothèse au sujet de la répartition des données, le plus souvent selon laquelle les données sont normalement réparties. Les approches non paramétriques ne formulent pas d'hypothèses sur la répartition des données, mais en général, il est plus difficile de faire des déclarations sur la probabilité ou le degré de confiance des résultats.



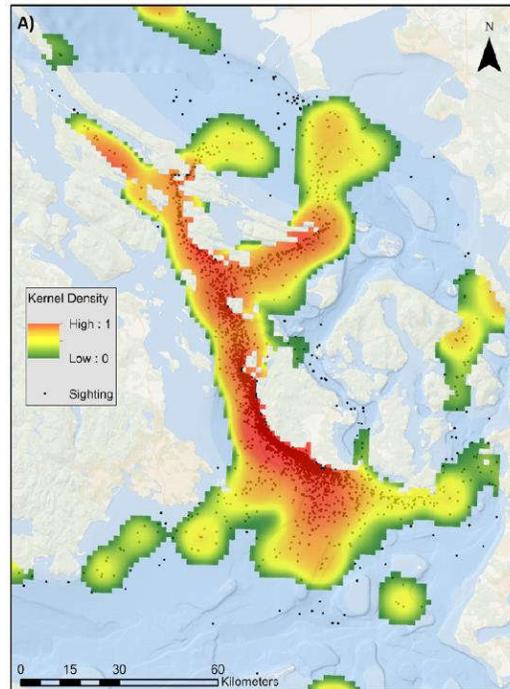


Figure 4.6. Exemple de l'habitat essentiel d'été de l'orque résidente du Sud estimé à l'aide de l'estimation à noyau de la densité, qui est une méthode non paramétrique (Worton, 1989), afin d'estimer les répartitions de l'utilisation (Figure reproduite de Cominelli et coll., 2018).

Modèles de convenance de l'habitat (MCH)

Résumé

À l'instar de l'estimation du domaine vital, les modèles de convenance de l'habitat permettent d'estimer les répartitions spatiales des composantes valorisées. L'autre avantage des modèles de convenance de l'habitat est qu'ils permettent de prévoir les répartitions futures en vertu de différents scénarios d'habitat. Les MCH sont un outil utile qui appuie les modèles de simulation spatialement explicites (section 4.4).

Description

La modélisation de la convenance de l'habitat (MCH) est une méthode qui permet de prévoir la qualité ou la convenance de l'habitat d'une espèce donnée en fonction des affinités connues avec les caractéristiques de l'habitat, comme sa structure, son type et son agencement spatial entre ses caractéristiques (p. ex. profondeur, substrat, type de couvert, etc.). Il est possible de combiner ces données avec les cartes des mêmes caractéristiques de l'habitat pour établir des schémas des répartitions escomptées des espèces et des stades de vie. Contrairement à l'estimation des domaines vitaux, les MCH réclament des données à la fois sur l'**occurrence ou l'abondance de l'habitat et de l'espèce** et les données sur l'habitat doivent être recueillies aux emplacements où l'espèce n'est pas présente de même que là où elle l'est. L'idée de base est que quand les ressources d'un habitat sont utilisées de manière disproportionnée par rapport à leur disponibilité, l'espèce choisit de préférence la ressource (Manly et coll., 2002).

Les MCH s'appuient généralement sur les techniques de régression pour quantifier la relation entre l'occurrence ou l'abondance de l'habitat et de l'espèce. Dans les situations où les données sont insuffisantes, on peut procéder à un examen de la documentation des données disponibles ou des avis

d'experts pour élaborer les modèles préliminaires. Une fois que les valeurs de l'indice de convenance ont été calculées en fonction des caractéristiques de l'habitat, au moyen de l'une ou l'autre des méthodes décrites ci-dessus, il est possible de les schématiser individuellement et de les regrouper en une carte composite. La carte qui en résulte illustrera la répartition prévue de la convenance de l'habitat pour chaque espèce et/ou stade de vie figurant dans l'analyse. Le MCH varie sur le plan de la généralité et de la précision, ce qui s'explique en partie par la nature quantitative et souvent qualitative limitée des données existantes. Une fois qu'on a quantifié la relation entre l'habitat et l'espèce présentant de l'intérêt, cette relation peut servir à prévoir les répartitions dans les emplacements où l'on ne procède à aucune observation directe de l'espèce ou à prédire les répartitions en fonction d'autres scénarios futurs.

Ces méthodologies sont de conception toujours simple même si l'analyse est légèrement plus complexe. À l'instar de l'estimation des domaines vitaux, il existe une diversité d'outils logiciels disponibles gratuitement à l'appui de la MCH (Guisan et coll., 2017). Il est nécessaire d'opter pour une combinaison de SIG et d'expertise statistique modérée.

4.3.1.3 Séquences

Cette section décrit les méthodes qui permettent de quantifier les relations fonctionnelles entre les facteurs de stress et les composantes valorisées (c.-à-d. les séquences du modèle SdE, Annexe A) et de déterminer l'importance relative de différentes séquences. Les relations fonctionnelles entre un facteur de stress et une composante valorisée peuvent revêtir diverses formes (p. ex. linéaires ou exponentielles). On peut procéder à l'analyse d'une seule séquence mais également simultanément de séquences multiples. Les effets de facteurs de stress multiples peuvent être additifs ou synergiques. La compréhension de la nature, de l'ampleur et de l'importance relative des différentes séquences peut contribuer à focaliser la portée de l'évaluation, à éclairer les seuils, à paramétrer les modèles et en définitive à éclairer les mesures de gestion.

Évaluation des risques

Résumé

L'évaluation des risques peut être utile à l'initiative sur les ECTM pour déterminer les emplacements où l'exposition aux facteurs de stress risque d'être la plus grande dans chaque région et également pour déterminer quels impacts sont les plus probables (p. ex. séquences entre un facteur de stress et une composante valorisée).

Description

Une évaluation des risques mesure l'exposition d'une certaine entité (comme une composante valorisée) à un facteur de stress (ou à de multiples facteurs de stress) et détermine les conséquences de cette exposition néfaste. Par exemple, une analyse comportant une évaluation des risques peut se pencher sur le chevauchement entre le domaine d'une espèce et un facteur de stress particulier, et par conséquent, sur son exposition à ce facteur de stress (Murray et coll., 2014). Le risque se définit généralement comme la probabilité de survenance d'un facteur de stress, ou **danger**, et l'ampleur de ses conséquences; le danger se définit comme quelque chose qui est susceptible de causer un tort (Manuilova, 2003). Un risque est souvent représenté le long de deux axes, l'**exposition** d'une composante valorisée à un facteur de stress étant sur l'abscisse et sa **sensibilité** à ce facteur de stress étant sur l'ordonnée.



Certaines études estiment la gravité d'une liste d'éventuels facteurs de stress présentant de l'intérêt en consultant des experts en la matière, souvent au moyen de sondages (Halpern et coll., 2007, Grech et coll., 2008, Stelzenmuller et coll., 2010). De même, certaines études ont fait usage d'un cadre de sélection progressif pour évaluer de manière itérative le risque d'exposition de composantes valorisées données en fonction de différents scénarios de stress. L'approche de sélection peut revêtir la forme d'une analyse multidimensionnelle⁶ (Stelzenmuller et coll., 2010, Hobday et coll., 2011, Furlan, 2017), ou d'un programme informatique (Manuilova, 2003, DFO, 2012, DFO, 2014).

Des **scores d'impact** peuvent être établis pour les composantes valorisées en appliquant des critères très stricts assortis de valeurs limites (Wood et coll., 2012, Lawson et Lesage, 2013, O et coll., 2015 et Herkul et coll., 2017). Les scores d'impact des risques sont le produit des scores d'exposition et de conséquence, calculés au moyen de l'analyse des données quantitatives dans les limites d'un cadre de critères qualitatifs.

Plusieurs études ont appliqué l'analyse géospatiale de la répartition des activités, des facteurs de stress et des composantes valorisées présentant de l'intérêt pour illustrer graphiquement les zones de plus haut risque, et faciliter les décisions de gestion (Halpern et coll., 2007, Grech et coll., 2008, Stelzenmuller et coll., 2010, Parravicini et coll., 2012). L'avantage des évaluations à référence géospatiale est que les zones plus importantes peuvent être analysées au niveau synoptique, ce qui permet toujours l'évaluation élargie des systèmes dont les données sont limitées. Néanmoins, un problème que posent les analyses géospatiales est que les facteurs de stress sont généralement propres à un site, et qu'il peut être difficile d'extrapoler largement leurs effets à des échelles spatiales plus importantes (Parravicini et coll., 2012).

Analyse de régression

Résumé

L'analyse de régression est une catégorie générale d'analyse qui peut servir à quantifier les relations entre les facteurs de stress et les composantes valorisées en fonction de données empiriques. Cette démarche peut servir à déterminer l'orientation, la forme et l'ampleur des relations fonctionnelles entre un facteur de stress donné et un EI. Elle peut également servir à déterminer l'importance relative de différentes séquences à propos d'une composante valorisée donnée. On peut tenir compte d'autres covariables environnementales pour faciliter la distinction entre les impacts dus au facteur de stress et ceux qui sont dus aux conditions environnementales.

Description

L'analyse de régression est un outil statistique fondamental qui sert à estimer les relations entre une ou plusieurs variables étudiées et une ou plusieurs variables explicatives à l'aide des données observées. Quiconque a suivi au moins un cours de statistique de niveau universitaire connaît vraisemblablement le concept de correspondance entre une ligne droite et les données observées. Ce concept de base peut être élargi à une diversité de scénarios plus complexes, notamment : des variables plus explicatives, des relations fonctionnelles linéaires et non linéaires, des interactions et différents types de variables étudiées (p. ex. catégoriques, binaires, continues). Les modèles linéaires généralisés (MLG) représentent la forme générique de l'analyse de régression.

⁶ **Analyse multidimensionnelle fondée sur les SIG** : désigne un outil qui génère d'autres résultats en fonction de la façon dont les paramètres d'entrée, comme l'ordre de classement du facteur de stress, sont modifiés. Tout résultat simulé de l'analyse multidimensionnelle dont on estime qu'il est assorti d'un niveau de risque plus élevé doit signaler aux décideurs que d'autres scénarios d'activité humaine doivent être pris en considération.



$$E(Y) = f(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p + Z_u) + \varepsilon \quad \text{Équation 1}$$

L'équation 1 décrit la structure de base de toute analyse MLG : Y représente la variable étudiée et la valeur escomptée de Y est indiquée par une certaine fonction f d'une combinaison linéaire des variables explicatives, X. Les β représentent les coefficients estimés à partir de l'analyse, Z_u représentant les effets aléatoires et ε représentant l'erreur résiduelle. Dans ce cas, la variable étudiée Y serait la composante valorisée, tandis que les facteurs de stress seraient les variables explicatives (X). Les effets aléatoires peuvent être appropriés dans les cas où il y a des mesures répétées des mêmes unités expérimentales (p. ex. quand la même baleine est observée à de multiples reprises dans le cadre de l'étude).

Une composante valorisée de l'analyse de régression est la sélection du modèle. Il doit être possible de faire correspondre de nombreux modèles différents⁷ si l'on dispose de suffisamment de données, et il peut être difficile de déterminer le modèle qui convient le mieux. Il y a un compromis à faire entre la correspondance du modèle et la capacité de prévision. Un modèle qui correspond extrêmement bien aux données observées peut ne pas convenir à la prévision des résultats futurs. La sélection d'un modèle consiste à examiner une diversité de modèles possibles qui varient sur le plan du nombre de variables explicatives, de la forme fonctionnelle et de si oui ou non les termes d'interaction y sont inclus. En général, le « meilleur » modèle est le plus simple qui décrit suffisamment bien les données.

Il existe un certain nombre de méthodes différentes pour sélectionner un modèle. Nous recommandons l'approche hypothétique de Burnham et Anderson (1998). Cette approche nécessite la spécification a priori de modèles probables fondés sur des hypothèses biologiques et elle s'appuie intelligemment sur les séquences conceptuelles des modèles des effets en cours d'élaboration.

Il existe de nombreuses variables de cette méthode dominante et de nombreux textes sur le sujet, en fonction des détails (Dobson, 1990; Draper et coll., 1998). Cette méthode est relativement complexe et elle nécessite une expertise statistique avancée.

Les arbres et les forêts de classification et de régression

Résumé

Ces méthodes constituent une solution de rechange non paramétrique à l'analyse de régression qui peut servir à déterminer la nature des relations fonctionnelles entre les facteurs de stress et les composantes valorisées et à identifier les séquences les plus importantes. Elles ne formulent pas les mêmes hypothèses restrictives au sujet de la répartition et sont sans doute mieux en mesure de traiter de grands nombres de séquences potentielles des facteurs de stress.

Description

Les arbres de classification et de régression (CART) sont une solution de rechange non paramétrique à l'analyse de régression. La classification renvoie au cas où la variable étudiée est catégorique et où les arbres de régression servent à d'autres utilisations. Ils constituent une forme de partitionnement récursif binaire. En commençant par l'ensemble des données, le logiciel détermine la variable qui convient le mieux au partitionnement de l'ensemble des données et à la valeur de cette variable. Maintenant, les données

⁷ Dans ce contexte, modèle désigne le modèle de régression (p. ex. la forme générique est illustrée dans l'équation 1).



sont partitionnées en deux noyaux fondés sur la règle d'une seule variable. Pour chacun des noyaux, la meilleure variable de partitionnement est sélectionnée jusqu'à ce que l'arbre complet soit construit et qu'aucun autre partitionnement ne soit possible. Il y a généralement des options disponibles pour limiter l'ampleur de l'arbre. Les critères de partitionnement sont sélectionnés pour maximiser la réduction sur le plan de l'hétérogénéité, en d'autres termes pour partitionner les données afin que les variables étudiées dans chaque noyau soient semblables. L'une des faiblesses des arbres de régression simples est qu'ils peuvent être instables (c.-à-d. lourdement tributaires de l'ensemble particulier d'observations). Les forêts de régression reproduisent essentiellement les arbres de régression à de multiples reprises en utilisant un nouveau sous-ensemble des données à chaque reprise. Les prévisions finales utilisent les constatations moyennes de tous les arbres observés. Cette méthode peut être utile lorsqu'il existe un important volume de données et des connaissances préalables limitées sur le système.

Ces méthodes sont relativement faciles à mettre en œuvre en utilisant des outils logiciels accessibles gratuitement comme : rpart ou randomForestSRC (R Core Team). Brieman et coll. (1984) fournit des directives détaillées sur la mise en œuvre.

Analyse des composantes principales

Résumé

L'analyse des composantes principales (ACP) est une méthode qui permet de déterminer les facteurs de stress ou les combinaisons de facteurs de stress qui revêtent le plus d'importance pour une composante valorisée particulière. Cela sert de point de convergence précieux pour les efforts ultérieurs d'analyse et de modélisation.

Description

La réduction et l'interprétation des données sont les principaux objectifs d'une ACP. Cela est d'autant plus utile qu'il y a un grand nombre d'éventuelles variables explicatives (dans ce cas, les facteurs de stress), dont certaines peuvent être corrélées. L'ACP est une procédure mathématique qui transforme le plus grand nombre de variables potentiellement corrélées en un plus petit nombre de variables non corrélées que l'on appelle « *composantes principales* ». Ces composantes sont des combinaisons linéaires des variables originales. La nature de la combinaison linéaire peut permettre de mieux comprendre les effets confondus de variables multiples. L'idée est de tenter de déterminer quelles composantes expliquent la majeure partie de la variabilité totale du système. Même si l'on peut avoir besoin de nombreuses variables pour décrire la totalité de la variabilité, il arrive souvent que seulement quelques composantes principales soient nécessaires pour expliquer la majeure partie de la variabilité du système (Johnson et Wichern, 2002). Cette méthode est souvent employée dans l'analyse exploratoire et peut fournir des éléments d'une analyse de régression multiple ou d'une analyse typologique.

Valeur probante des éléments de preuve

Pertinence

Le fait de comprendre l'importance relative des différentes séquences d'une composante valorisée aide à concentrer les stratégies de recherche et de gestion. Dans la pratique cependant, il est difficile de quantifier les relations fonctionnelles d'une séquence, sans parler de l'importance relative de beaucoup d'entre elles. Cela vaut d'autant plus que les données sont de nature limitée ou variée, comme c'est souvent le cas dans les évaluations des effets cumulatifs. Les méthodes de pondération des éléments de preuve utilisent des



Appendice C

éléments de preuve multiples pour faire des déclarations sur la probabilité relative de différentes hypothèses ou, dans ce cas, de différentes séquences.

Description

L'expression Valeur probante des éléments de preuve est abondamment employée dans la documentation, même s'il n'existe pas de définition convenue (Weed, 2005). Burkhardt-Holm et Scheurer (2007) soulignent une approche qui évalue : le mécanisme plausible, l'exposition, la corrélation/l'uniformité, les seuils, la spécificité et les preuves expérimentales par le biais d'une série de questions. Marmorek et coll. (2011) ont simplifié et adopté cette approche (Figure 4.7) pour déterminer les chances relatives que chacun des 13 éventuels facteurs de stress soit responsable du déclin des saumons rouges du Fraser.

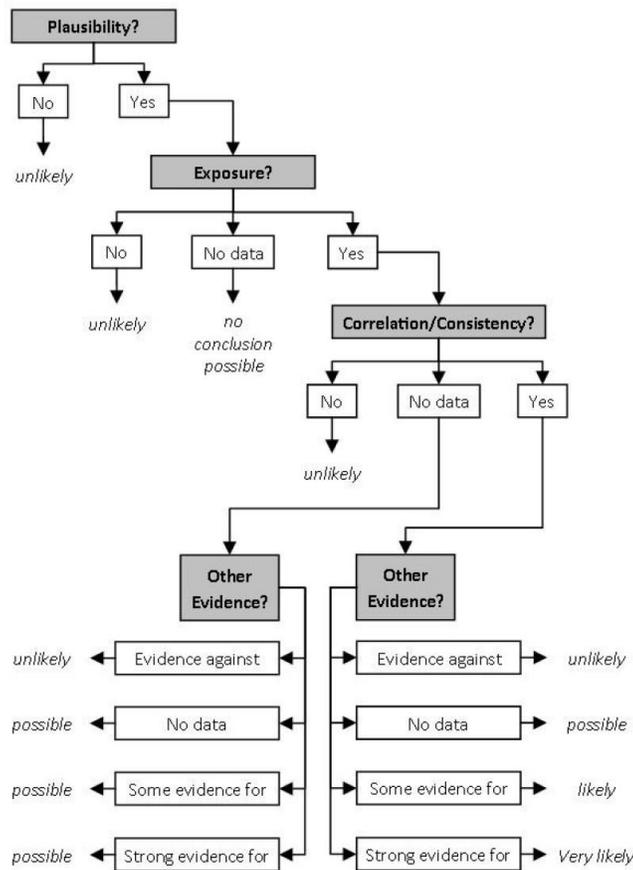


Figure 4.7. Cet organigramme illustre la valeur probante des éléments de preuve qui a servi à déterminer les chances relatives que chaque facteur de stress particulier soit la cause du déclin des saumons rouges du Fraser. Cela est repris de Marmorek et coll., 2010.

4.3.2 Critères d'évaluation

4.3.2.1 Pertinence

Utilité pour l'initiative sur les ECTM



L'écosystème marin est incroyablement complexe et il présente de nombreux inconnus. Un élément critique de l'étape de l'évaluation (Figure 1.2) consiste à quantifier et à valider les hypothèses sur les séquences des effets en utilisant des données empiriques. Ces évaluations d'ordre empirique peuvent alors servir à justifier l'évaluation d'autres scénarios en utilisant une diversité de méthodes de modélisation (section 4.4). Les méthodes analytiques dont il est question dans cette section décrivent la façon dont l'initiative sur les ECTM permet :

- De déterminer la répartition spatiale des composantes valorisées présentant de l'intérêt.
- De concevoir des modèles de convenance de l'habitat pour que les répartitions puissent être prédites en fonction des caractéristiques de l'habitat.
- De procéder à des évaluations des risques pour déterminer les secteurs ou les séquences hautement prioritaires où l'exposition et les conséquences sont élevées.
- De quantifier l'ampleur et la nature des relations fonctionnelles entre les facteurs de stress et les composantes valorisées (c.-à-d. les séquences).
- De déterminer l'importance relative de différentes séquences (c.-à-d. les catalyseurs du système).

Échelle spatiale et temporelle

Alors que les méthodes décrites ici sont d'application générale, les efforts d'analyse donnent sans doute de meilleurs résultats à l'échelle régionale ou locale. Il est sans doute possible d'analyser simultanément les données provenant de différentes régions, même si cela n'est sans doute pas vraiment utile compte tenu des différences régionales entre les composantes valorisées. En outre, la disponibilité des données diffère très nettement selon la région. Il serait sans doute plus facile d'adapter les précisions analytiques en fonction des données disponibles.

Savoir autochtone

Le savoir autochtone (SA) peut comprendre de l'information empirique susceptible de s'intégrer à une démarche analytique. Cette utilisation combinée peut faciliter, entre autres, le repérage de telle ou telle espèce (pour établissement d'un indice d'abondance), l'estimation du domaine vital, les analyses de régression et l'appréciation des risques. Par ailleurs, les approches fondées sur la valeur probante des éléments de preuve se prêtent particulièrement bien à l'incorporation de multiples sources de données, comme celles qui découlent de l'utilisation combinée du savoir autochtone et d'autres types de renseignements. Toute exploitation de ce savoir doit se faire par ou avec ses détenteurs et les communautés intéressées. Le savoir autochtone est analysé plus à fond à la section 6.1.

4.3.2.2 Rigueur

Application de la méthode

En général, les méthodes analytiques sont bien établies et elles ont un solide fondement technique. Il existe une abondante documentation sur la théorie et la pratique de méthodes quantitatives. Pour ce qui est de leur application à l'évaluation des effets cumulatifs, il existe un grand nombre d'exemples qui consistent à déterminer la répartition spatiale des composantes valorisées et à évaluer les risques. Toutefois, il existe relativement peu d'exemples de méthodes quantitatives pures servant à quantifier les relations fonctionnelles entre les facteurs de stress et les composantes valorisées. Cela s'explique sans doute par le fait que les méthodes sont sans doute intimidantes, que les relations sous-jacentes sont vraisemblablement très complexes (en particulier quand des séquences multiples sont envisagés), et que les données sont souvent limitées, ce qui permet difficilement de tirer des conclusions concrètes. Les méthodes de la valeur probante des éléments de preuve qui permettent de tenir compte d'éléments de



preuve multiples (p. ex. l'évaluation des risques, l'analyse de corrélation et le savoir autochtone) peuvent constituer un éventuel compromis.

Niveau des données/informations sous-jacentes

Ces méthodes dépendent de données empiriques. S'il n'existe pas de données, il est alors possible de générer des méthodes spatiales (section 4.2) fondées sur des avis d'experts (section 6.1) ou des modèles reposant sur les hypothèses actuelles (section 4.4), mais en fin de compte, il est nécessaire d'avoir une forme quelconque de données observées pour confirmer notre compréhension du système.

Incertitude

Un avantage des méthodes statistiques paramétriques traditionnelles réside dans le fait que les conclusions comportent toujours une mesure de confiance ou d'incertitude. Les méthodes non paramétriques ne formulent pas d'hypothèses sur la répartition sous-jacente et par conséquent, ne génèrent pas directement d'estimations de l'incertitude. Toutefois, avec les progrès de l'informatique, on peut facilement se servir de méthodes d'autoamorçage⁸ pour générer des intervalles de confiance. Les méthodes d'évaluation des risques et de la valeur probante des éléments de preuve ne traitent pas explicitement de l'incertitude, même si certains auteurs utilisent parfois des approches ponctuelles pour tenir compte de l'incertitude.

4.3.2.3 Faisabilité

Complexité

Les méthodes dont on a discutées ici peuvent sembler relativement complexes à un profane. Il existe un certain nombre de détails qui dépendent des particularités de l'ensemble de données. En général, il convient de consulter un statisticien lorsqu'on analyse des données quantitatives. La notion la plus simple est sans doute l'idée d'estimer l'exposition (c.-à-d. lorsque le facteur de stress et la composante valorisée se chevauchent). L'évaluation d'une séquence unique (c.-à-d. la corrélation entre un facteur de stress et une composante valorisée) doit être un élément connu de quiconque a suivi un cours universitaire de statistique. La valeur probante des éléments de preuve présente un attrait intuitif et est simple sur le plan conceptuel. Le reste des méthodes est sans doute nouveau pour quiconque a des antécédents analytiques limités.

Données/informations nécessaires

En général, ces méthodes sont à très forte intensité de données, car elles dépendent rigoureusement de données empiriques. Il se peut aussi que les méthodes de modélisation soient à forte intensité de données, même si nous nous fions souvent aux avis d'experts pour paramétriser les modèles jusqu'à ce que nous comprenions mieux les relations quantitatives. Dans le contexte de l'initiative sur les ECTM, il y a sans doute plus de données sur les facteurs de stress que sur les composantes valorisées. Cela limitera les analyses possibles dans chaque région.

Flexibilité des données

⁸ Le terme autoamorçage provient de l'idée de « s'en sortir par ses propres moyens ». Cette méthode dépend de la puissance informatique et elle est relativement récente [Efron et Tibshurani, 1994]. L'autoamorçage consiste essentiellement à simuler les constatations à maintes reprises pour générer une répartition des résultats à partir desquels on peut extraire des intervalles de confiance.



Comme nous l'avons vu au paragraphe précédent, ces méthodes se limitent aux données disponibles. Il se peut qu'il y ait des méthodes susceptibles d'utiliser l'avis d'experts, mais pour les besoins du présent rapport, l'objectif de cette catégorie de méthodes est expressément d'utiliser des données empiriques. Différentes analyses sont possibles si l'on dispose de renseignements sur : le facteur de stress uniquement, la composante valorisée uniquement, ou les deux. Les renseignements spatiaux autorisent d'autres options. Il faut faire preuve de circonspection lorsqu'on regroupe les données provenant de différentes études, en particulier lorsqu'on évalue les séquences. Les méthodes d'estimation des répartitions spatiales sont les plus flexibles sur le plan de la saisie des données.

Accessibilité

Comme nous l'avons vu dans la section sur la complexité, ces méthodes sont moins accessibles que certaines autres méthodes dont il est question dans le rapport. L'évaluation des risques est sans doute une exception car un certain nombre d'outils ont été conçus à l'appui de cette approche (p. ex. EcoFate et EUSUS). Pour des analystes moyennement expérimentés, R (<https://www.r-project.org/>) est un progiciel de statistiques gratuit « open source » qui fournit des outils pour toutes les méthodes statistiques dont il est question ici. Les méthodes de la valeur probante des éléments de preuve appartiennent à une classe à part, car elles nécessitent l'intégration d'idées par l'être humain, ce qui est difficile pour un ordinateur, mais relativement intuitif pour l'être humain.

Coût

L'élément le plus coûteux de l'utilisation de ces méthodes réside dans la collecte des données. Il n'est pas mauvais non plus d'engager un investissement relativement peu important dans le soutien analytique pour mettre les analyses sur pied. Nous recommandons vivement de recourir à R pour la réalisation des analyses statistiques. S'il y a lieu, R peut interagir avec d'autres logiciels (p. ex. ArcGIS, QGIS ou MS Access).

Interprétation et communicabilité

Les résultats des méthodes spatiales sont sans doute les plus faciles à communiquer. La présentation des répartitions ou de l'exposition spatiales sous forme d'une carte est extrêmement intuitive et plaît à de nombreux publics. Le reste des méthodes est plus difficile à communiquer avec efficacité, et les résultats des analyses quantitatives exigent souvent un traitement supplémentaire pour faciliter l'assimilation par le lecteur.

4.4 Méthodes de modélisation

4.4.1 Aperçu

La caractéristique que les méthodes analysées dans cette section ont en commun est qu'elles traitent toutes de l'évaluation des effets cumulatifs dans l'optique de la modélisation. Les modèles peuvent se définir comme des outils favorisant l'abstraction et la simplification des systèmes naturels (USGS) afin de permettre l'analyse du système et d'établir des prévisions sur son comportement. Les modèles varient du tout au tout sur le plan du but, de la présentation (p. ex. les outils logiciels), du niveau de complexité, des données nécessaires, de la capacité prédictive, etc.

En particulier, dans le milieu marin, on a utilisé une vaste gamme de méthodes de modélisation pour modéliser les effets cumulatifs (Clarke Murray et coll., 2014); depuis les modèles conceptuels qui décrivent le système et les interactions entre les facteurs de stress et les composantes valorisées jusqu'aux modèles prédictifs quantitatifs complexes qui évaluent les effets de séquences ou de facteurs de stress particuliers.



Dans le cadre du processus d'évaluation des effets cumulatifs, on peut utiliser les modèles dans une diversité d'objectifs et à divers stades; depuis les modèles conceptuels qui explicitent les liens de cause à effet du système et qui contribuent à identifier les principales composantes ou les séquences jusqu'aux modèles quantitatifs qui fournissent une estimation de l'ampleur des impacts et qui peuvent servir à examiner des scénarios de gestion. Une méthode de modélisation se caractérise notamment par la facilité qu'elle offre de procéder à des simulations fondées sur des scénarios (Heinänen et coll., 2018) et d'articuler ainsi l'évaluation des effets cumulatifs aux mesures de gestion ou d'atténuation requises.

Cette section traite des méthodes pertinentes qui ont recours à une approche de modélisation pour cette gamme de fonctions en permettant de mieux comprendre la composante d'un système (c.-à-d. un facteur de stress ou une composante valorisée), des composantes multiples ou une seule séquence ou des séquences multiples (Figure 4.8).

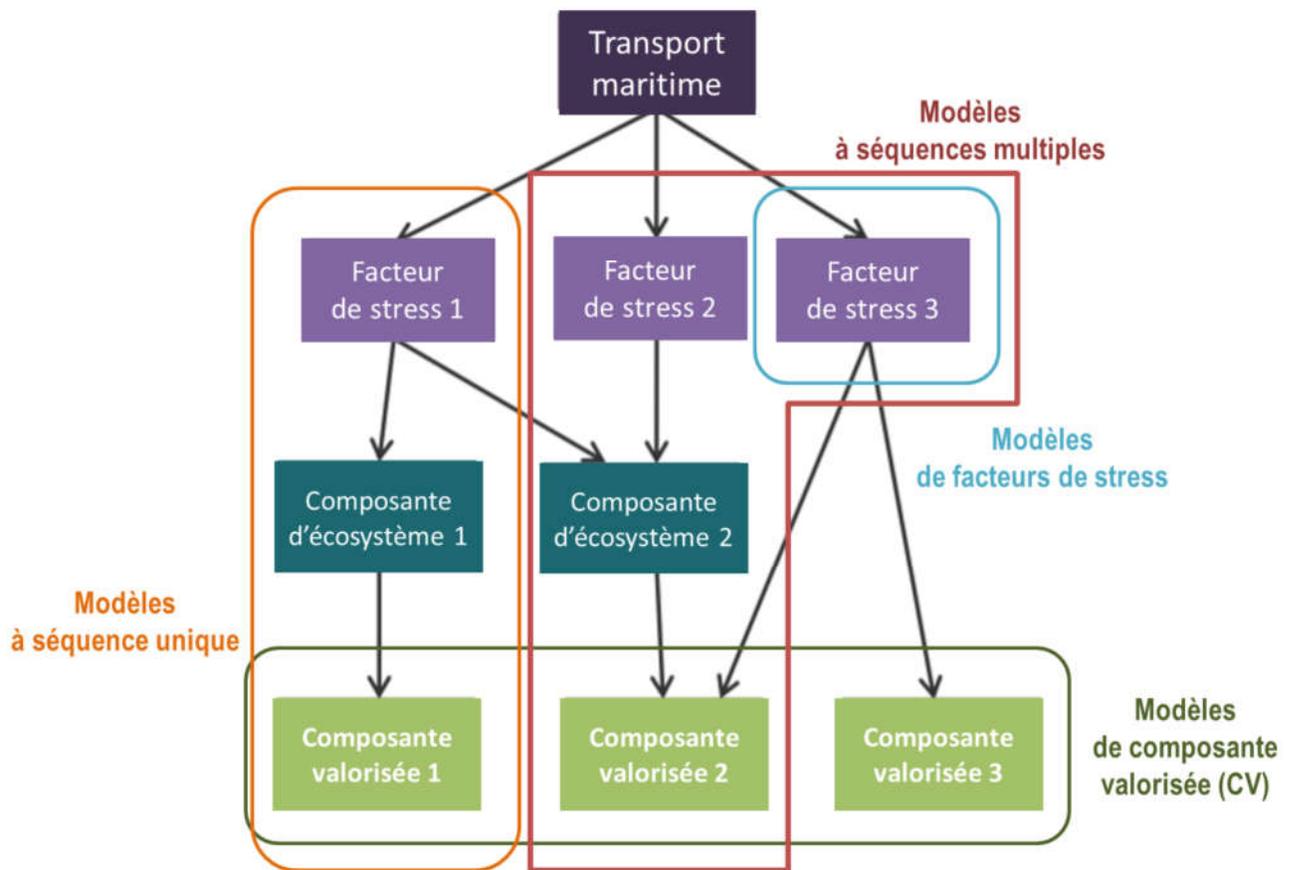


Figure 4.8. Méthodes de modélisation telles qu'elles s'appliquent au modèle des séquences des effets.

4.4.1.1 Facteurs de stress

Le modèle préliminaire des séquences des effets en ce qui concerne le transport maritime (voir l'Annexe A) comporte 35 facteurs de stress associés à 7 activités de navigation : les ouvrages en milieu aquatique, le

Appendice C

mouillage, l'échouement/le naufrage, les déversements opérationnels et accidentels, les déplacements en eau libre et les prises/récoltes.

D'après les résultats de la sélection de niveau 1, nous avons constaté que la majorité des efforts de modélisation des facteurs de stress se rapportant au transport maritime visent à quantifier les effets du bruit sous-marin, des déversements d'hydrocarbures et, dans une moindre mesure, des risques de collisions entre des cétacés et des navires.

Bruit sous-marin

Pour ce qui est du bruit sous-marin, qui est particulièrement dangereux pour les mammifères marins, on a élaboré des modèles de propagation du bruit pour la région du Pacifique (Erbe et coll., 2012, O'Neill et coll., 2017, Cominelli et coll., 2018), de l'Arctique (Aulanier et coll., 2017, Halliday et coll., 2017) et pour l'estuaire du Saint-Laurent (Chion et coll., 2017).

Toutes ces études consistent à simuler les niveaux de bruit en utilisant un modèle numérique de propagation acoustique, lequel incorpore des renseignements sur le trafic maritime (p. ex. les heures cumulatives, les types de navires, etc.), les caractéristiques de la colonne d'eau (Aulanier et coll., 2017), et les données bathymétriques (Erbe et coll., 2012), afin d'estimer de quelle façon le bruit anthropique se propage dans l'environnement marin. Les données du système d'identification automatique (SIA) sont les données relatives au trafic maritime que l'on utilise généralement dans ce modèle de prédiction du bruit. Toutefois, étant donné que ce registre ne fournit des renseignements que sur les embarcations de certaines dimensions, les zones où les petits bateaux sont le type de bateau qui prédomine sont mal représentées par les dossiers du SIA (Erbe et coll., 2012).

Des modèles acoustiques multiples ont été conçus qui pourraient être utilisés dans ce type d'évaluation : modèle acoustique qui dépend de la portée (RAM), recherche sur la directionalité du bruit ambiant (RANDI), modèle de bruit des opérations maritimes (MONM) conçu par JASCO (O'Neill et coll., 2017 sur l'outil Underwater Acoustic Simulator (UAS) conçu par DHI Group). Le modèle de bruit MONM cumulatif a été conçu par JASCO Applied Sciences pour le projet Noise Exposure to the Marine Environment from Ships ([NEMES](#)).

Le résultat de ces modèles est en général une carte d'intensité du bruit (Figure 4.9), qui peut ensuite être superposée sur les aires d'habitat ou les cartes de répartition d'espèces sensibles (section 4.3) pour procéder à l'évaluation de l'exposition à ce facteur de stress.



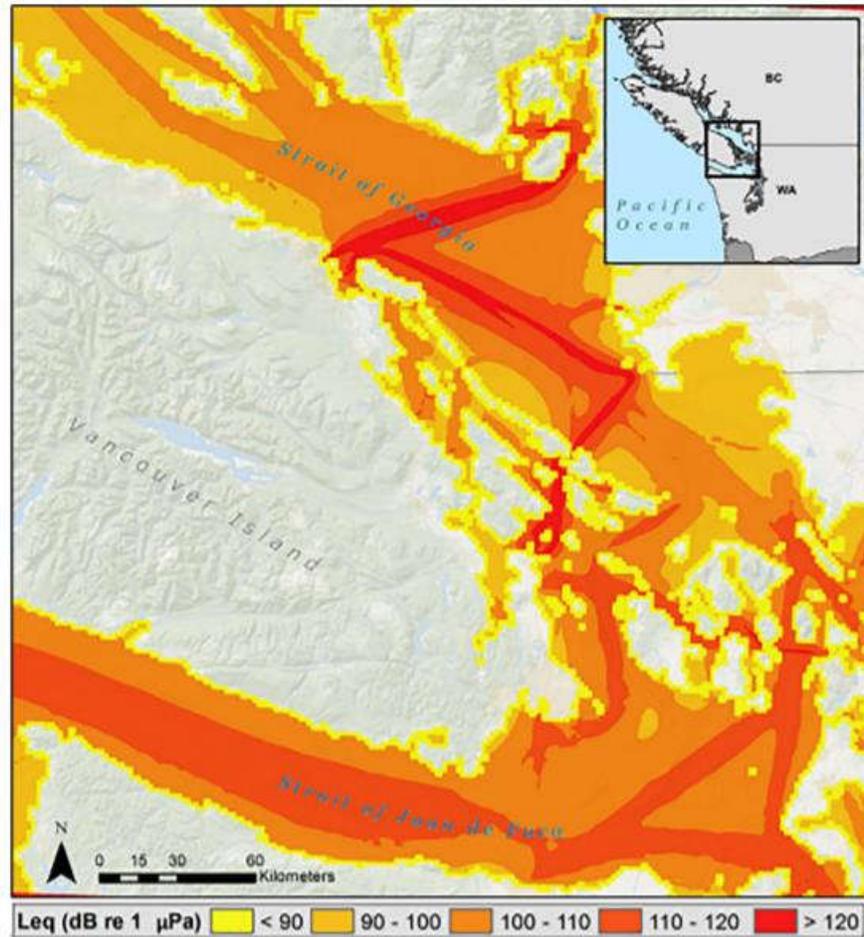


Figure 4.9. Résultat du modèle de bruit cumulatif conçu par JASCO Applied Sciences. Cette carte illustre le niveau acoustique équivalent (Leq) en décibels, par rapport aux catégories de navire confondues (source : Cominelli et coll., 2018).

Déversements d'hydrocarbures

Les modèles de déversements d'hydrocarbures servent à prévoir la trajectoire des déversements d'hydrocarbures (attribuables à des déversements accidentels, importants déversements accidentels et non pas déversements opérationnels) en mer. Ces modèles numériques complexes (Spaulding, 2017) sont à forte intensité de données, notamment des données océanographiques à haute résolution (comme les courants, les vagues) et des données météorologiques (Alves et coll., 2016), des données sur le moment et l'emplacement du déversement, et des données sur les caractéristiques des hydrocarbures. Divers modèles hydrodynamiques 3-D de dispersion d'huile ont également été conçus. Par exemple, dans la mer Méditerranée, il existe actuellement quatre modèles : MOTHY, MEDSLIK, MEDSLIK-II, POSEIDON-OSM (MEDESS, 2018).

Ces modèles revêtent généralement la forme de cartes et de graphiques (Figure 4.10) qui illustrent l'évolution spatiale du déversement d'hydrocarbures dans les jours qui suivent le déversement. Ces



modèles de dispersion d'huile s'appliquent généralement au contexte de l'analyse des risques (voir une analyse plus détaillée des cadres d'évaluation des risques à la section 7), de même que la planification des urgences et des interventions.

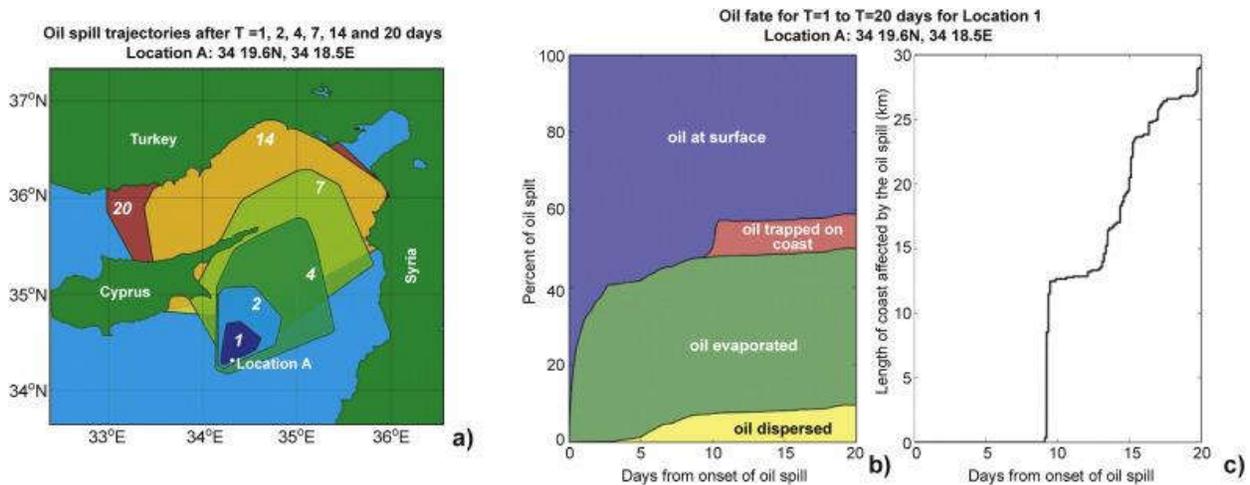


Figure 4.10. Exemple de simulations de déversements d'hydrocarbures MEDSLIK (source : Alves et coll., 2015).

Signalons que Transports Canada, dans le cadre de son programme d'évaluation des risques régionaux (ERR) de sa biorégion des baleines du Nord, renforce sa capacité interne pour mener des évaluations des risques afin d'évaluer la probabilité et les éventuelles conséquences des déversements d'hydrocarbures causés par les navires de mer. Parmi certains des outils logiciels envisagés pour ce processus, mentionnons les suivants :

- **SAMSON** (modèles d'évaluation de la sécurité pour la navigation et le forage en mer dans la mer du Nord) provenant de l'Institut de recherches maritimes des Pays-Bas (MARIN) : il s'agit d'un progiciel qui utilise une base de données sur le trafic maritime (SIA), diverses conditions environnementales comme les vents et les courants et différents modèles mathématiques pour calculer les probabilités de certains événements « dangereux » (comme des déversements d'hydrocarbures). Ses fonctions de modélisation peuvent faciliter la prise de décisions (p. ex. l'emplacement des ports).
- **H3D** (modèle hydrodynamique tridimensionnel) est un modèle tridimensionnel élaboré par Tetra Tech pour calculer le transport et la diffusion de la température, la salinité et divers contaminants introduits comme fractions d'huile dissoutes.
- **SPILLCALC**, également élaboré par Tetra Tech, est un modèle à progression temporelle qui calcule le mouvement et l'altération des déversements d'hydrocarbures liquides.

Perturbation du substrat

On comprend mal l'impact du mouillage sur le biote sous-marin, en particulier dans les eaux plus profondes là où les évaluations biologiques sont coûteuses (Davis et coll., 2016). Selon les données du SIA, Davis et coll. (2016) ont cherché à évaluer l'impact du mouillage au large de la côte de la Nouvelle-Galles du Sud (en Australie). Les changements qui se produisent dans les courants, les marées et les vents font se

balancer les navires sur leurs ancres, ce qui crée des formes d'arc distinctives sur le fond marin. Ces arcs délimitent les secteurs du fond marin qui font l'objet d'une évaluation et ils représentent les empreintes des activités de mouillage. Dans les zones portuaires qui accueillent des navires depuis des décennies, il peut y avoir d'importants secteurs faisant l'objet d'une évaluation répétée.

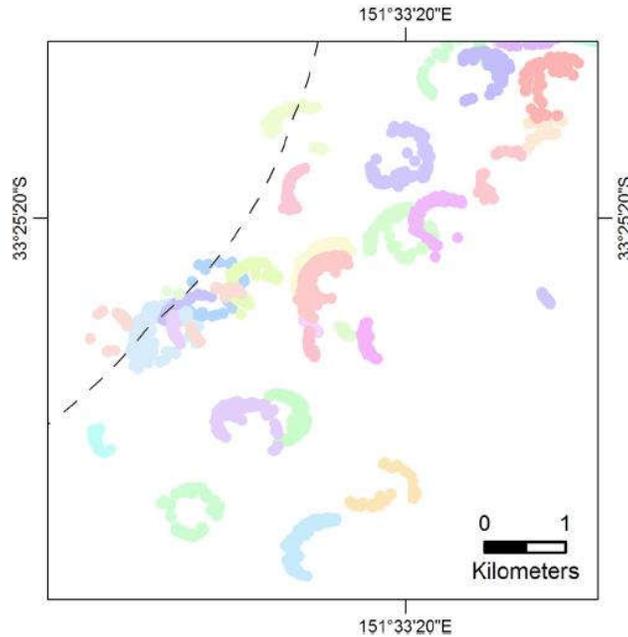


Figure 4.11. Arcs d'ancre basés sur les données de suivi des navires du SIA à proximité du port de Newcastle (Australie). Différentes nuances dénotent des navires individuels (source : Davis et coll., 2016).

Émissions

Les navires marchands sont une importante source de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre. L'Outil d'inventaire des émissions des navires (OIEN) est la principale source de données sur les émissions maritimes au Canada⁹ et il peut servir à évaluer les changements qui surviennent dans les émissions maritimes (et la consommation de mazout). Les données de l'OIEN peuvent éclairer les modèles sur la qualité de l'air, les projections de GES et les inventaires d'émissions.

4.4.1.2 Composantes valorisées

Ces modèles cherchent à évaluer l'état et les rapports entre les composantes écologiques¹⁰ de l'environnement. La principale application de ces modèles est l'analyse du statut et des réactions possibles des CV écologiques aux changements environnementaux.

⁹ <https://www.green-marine.org/wp-content/uploads/2018/06/Monica-Hilborn.pdf>

¹⁰ Il importe de signaler que même si cette section est axée sur les modèles écologiques, les composantes valorisées peuvent également être d'ordre culturel ou socioéconomique.

Soulignons ici que les CV écologiques peuvent être conceptualisées et modélisées à différents niveaux, suivant qu'on a affaire à une seule espèce (p. ex. la loutre de mer), à plusieurs espèces (les mammifères marins d'un secteur donné) ou à un écosystème complet (l'estuaire). La présente section traite de ces options de modélisation.

Modèles à espèce unique

Les modèles à espèce unique ont été jusqu'ici la méthode de modélisation prédominante dans l'évaluation des pêches (Plagányi, 2007). Les modèles de simulation individuels (MSI) et OSMOSE sont des exemples de modèles à espèce unique qui étudient les règles trophiques ou de prédation à l'échelle individuelle avec les répercussions à l'échelle des populations.

Un autre exemple utilisé à l'extérieur du secteur des pêches est l'**analyse de viabilité des populations** (AVP), qui se sert de modèles démographiques pour évaluer les effets au niveau des populations tandis que l'on fait varier un ou plusieurs paramètres démographiques (comme la fécondité) (Lacy et coll., 2017). Les modèles détaillés d'AVP dépendent : de la disponibilité d'estimations des taux démographiques (ex. : fécondité, survie et variabilité de ces taux); la conviction que les taux passés sont des facteurs de prévision de la démographie en cours, ou que les tendances sont prévisibles; les données de quantification des effets des menaces sur les taux démographiques; et un modèle de population qui saisit de manière exacte les principaux processus démographiques, sociaux, génétiques et environnementaux qui alimentent la dynamique de la population en question.

L'AVP peut servir à étudier les effets que des facteurs de stress multiples peuvent avoir sur une population faunique. Là où les facteurs de stress peuvent être liés à des variables démographiques particulières, l'AVP peut servir à évaluer les risques qu'un ou plusieurs facteurs de stress présentent pour les populations fauniques. Lacy et coll. (2017) ont appliqué une méthode d'AVP à la population d'orques résidentes du Sud afin d'analyser l'effet cumulatif de facteurs de stress humains multiples, notamment le bruit, les collisions avec des navires et les déversements d'hydrocarbures causés par les navires.

Modèles à espèces multiples

Les modèles à espèces multiples cherchent à comprendre les interactions trophiques entre des espèces ou des groupes fonctionnels (Piroddi et coll., 2015). En particulier, ils traitent des interactions entre proies et prédateurs dans les communautés marines. Ces modèles ont souvent été conçus dans le contexte de la gestion des pêches, même si certains ont également servi à simuler les changements qui surviennent dans l'environnement (p. ex. température et pH de l'eau, concentration des éléments nutritifs, etc.). De nombreux modèles multi-espèces ont été conçus (Plagányi, 2007, Piroddi et coll., 2015) qui traitent de différents groupes d'espèces et d'interactions trophiques. Parmi ceux-ci, mentionnons le modèle opérationnel multi-espèces spatial (SMOM), le modèle multi-espèces stochastique (SMS) et le modèle de comparaison dynamique des populations (PDMM).

Modèles d'écosystèmes

Les modèles d'écosystèmes portent sur l'ensemble de l'écosystème et décrivent les relations entre les groupes fonctionnels d'un système en se fondant sur des hypothèses fondamentales sur le bilan massique d'un système sur une période de temps donnée. Ces dernières années, compte tenu de l'évolution vers la gestion fondée sur les écosystèmes, les modèles d'écosystèmes retiennent davantage l'attention (Smith et coll., 2016).

Il existe un éventail de modèles d'écosystèmes dont le degré de complexité est variable (Smith et coll., 2016) et que l'on peut appliquer au niveau d'une séquence ou de séquences multiples. Certains modèles sont axés sur un élément particulier des écosystèmes marins, comme les pêches (Plagányi, 2007), alors que d'autres modèles de conception plus récente traitent de la totalité du système socioécologique (c.-à-d. modèles de « bout en bout »).



Appendice C

ESSA Technologies Ltd.

ECOPATH assorti d'ECOSIM (EwE) et d'ATLANTIS sont des cadres de modélisation d'écosystèmes trophiques qui évaluent les flux trophiques à l'échelle de tout un écosystème. Ces modèles ont essentiellement été appliqués à la gestion des pêches. Par rapport à EwE, ATLANTIS est à nettement plus forte intensité de données, il exige plus d'efforts à régler et à étalonner, et son interface utilisateur n'est pas simple.

EwE a été abondamment utilisé au Canada (Figure 4.12) avec des exemples sur les côtes de l'Arctique, du Pacifique et de l'Atlantique. Bien que son application primordiale soit dans le domaine de la gestion des pêches, EwE est de plus en plus appliqué à différents types d'écosystèmes et sujets, notamment la pollution, l'aquaculture et les aires marines protégées (Colleter et coll., 2014). Par exemple, Vasslides et coll. (2016) se sont penchés récemment sur la documentation consacrée à l'utilisation d'EwE pour évaluer les impacts de l'eutrophication et d'autres facteurs de stress qui affectent les écosystèmes côtiers.

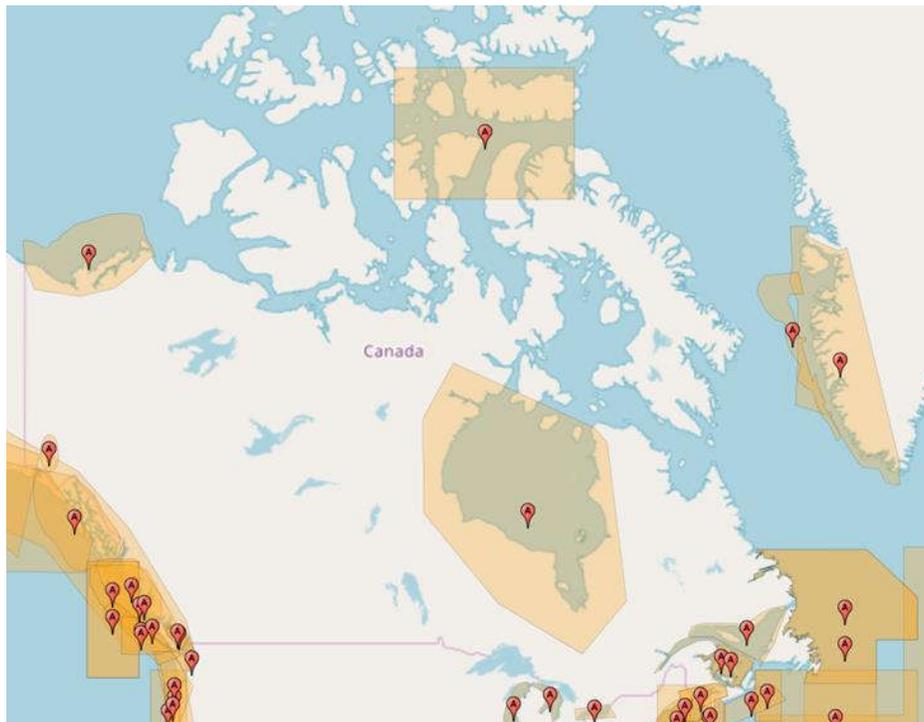


Figure 4.12. Emplacement des applications du modèle EwE au Canada.

Raoux et coll. (2017) ont utilisé EwE pour évaluer les conséquences de l'aménagement de parcs éoliens sur la structure trophique de la communauté benthique; séquence qui pourrait convenir à l'évaluation des effets du mouillage ou du naufrage.

Une récente étude de Harvey (2018) s'est penchée sur les éventuelles fonctions de réaction au bruit anthropique sur une population de marsouins communs à l'aide du modèle EwE. Fondée sur une méthode de modélisation spatialement explicite dotée d'Ecospace (voir d'autres précisions dans les modèles de simulation spatialement explicites dans la section ci-après), cette étude a schématisé les répartitions spatiales de la densité de trafic maritime et a répertorié les points chauds où coïncident les populations de cétacés et la navigation maritime. Elle a ensuite modélisé l'impact que les niveaux de bruit ont sur le



comportement de prédation de ces espèces de cétacés et la façon dont ces effets peuvent se manifester dans leur biomasse et dans leurs interactions trophiques avec d'autres espèces de la communauté.

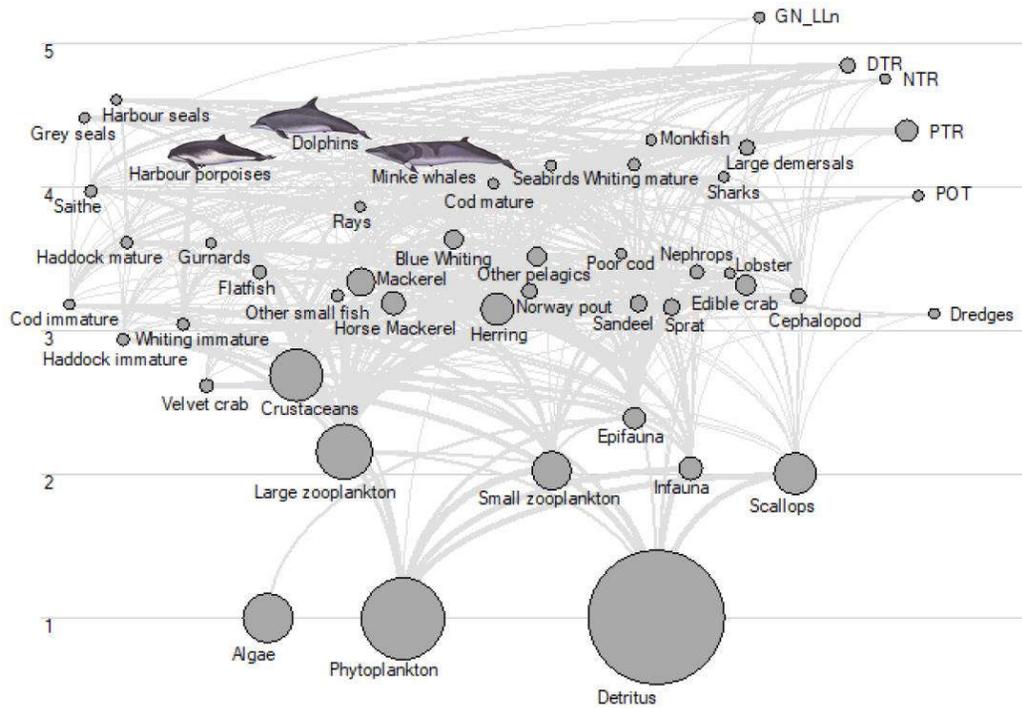


Figure 4.13. Modèle Ecopath utilisé dans Harvey, 2018. Les nodules représentent des groupes fonctionnels ou des organismes dans le modèle, mis à l'échelle de la biomasse de l'organisme dans l'écosystème. Les niveaux trophiques sont illustrés sur l'ordonnée (source : Harvey, 2018).

4.4.1.3 Séquence unique

Ces modèles établissent un lien entre les facteurs de stress et certaines composantes valorisées en simulant le processus par lequel les effets se produisent entre un lien et le suivant le long d'une séquence spécifique.

Bruit sous-marin

Pour évaluer les séquences liées au **bruit**, on a combiné les résultats des modèles de prédiction du bruit aux renseignements sur l'abondance et la répartition des espèces préoccupantes. Ce type d'évaluation peut se faire à propos d'une espèce, comme l'étude de Cominelli et coll. (2018) qui s'est penchée sur l'exposition des orques résidentes du Sud au bruit cumulatif dans la mer de Salish, ou d'espèces multiples, comme l'évaluation que Erbe et coll. (2014) ont réalisée sur 11 espèces de mammifères marins que l'on trouve au large des côtes de la Colombie-Britannique. Le fait de comprendre la vulnérabilité d'une espèce donnée à divers niveaux de bruit est un élément clé de ces modèles. Par exemple, Erbe et coll. (2014) ont conçu des cartes pondérées par audiogramme qui reflètent le seuil de bruit pour les espèces étudiées, en fonction de la documentation existante.

Les modèles de bruit peuvent également être intégrés dans d'autres modèles qui simulent les interactions entre les navires et la faune. Par exemple, Chion et coll. (2017) ont utilisé un sous-modèle acoustique sous-marin (c.-à-d. le modèle de recherches sur la directionalité du bruit ambiant – RANDI) dans le modèle

3MTSim fondé sur des agents pour évaluer l'efficacité de diverses mesures de protection (p. ex. réduction de la vitesse des navires, délimitation des zones interdites) pour la population de bélugas en péril du Saint-Laurent.

Collisions avec des navires

Les mammifères marins, en particulier les cétacés, sont les espèces qui courent le plus de risques d'entrer en collision avec des navires. On éprouve des difficultés à quantifier le taux de mortalité en fonction des collisions déclarées, et à quantifier les effets des collisions à la fois létales et sub-létales au niveau des populations. En raison de la concentration de cétacés le long de la côte du Pacifique, plusieurs études (William et O'Hara, 2009, DFO, 2017) ont tenté d'évaluer les risques de collision entre des navires et les populations de baleines en Colombie-Britannique. Ces approches sont des modèles spatialement explicites qui associent des données spatiales sur l'abondance des espèces à des données sur la navigation (en utilisant le SIA ou d'autres ensembles de données sur le trafic maritime) afin d'estimer la probabilité relative de collisions entre des baleines et des navires en utilisant des modèles additifs généralisés (MAG). Bien que ce type de modèle ne permette pas de prédire les effets quantitatifs de la mortalité des collisions au niveau des populations, il peut être utile pour répertorier les points chauds qui associent une forte densité de cétacés à un trafic maritime très dense (Figure 4.14) (Williams et O'Hara, 2009).

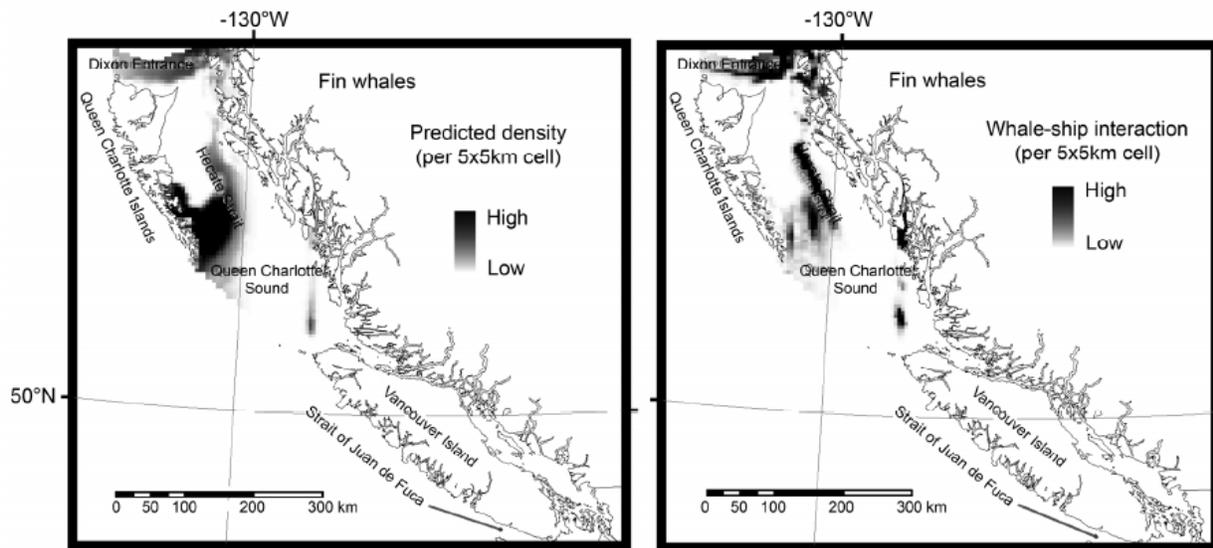


Figure 4.14. Surface à haute densité (à gauche) et à forte intensité (à droite); résultat de la densité des baleines et de l'intensité du trafic maritime des navires) pour le rorqual commun (source : adapté de Williams et O'Hara, 2009).

Le modèle 3MTSim est un modèle socioécologique, conçu pour l'estuaire du Saint-Laurent (Chion et coll., 2017), qui simule les mouvements des navires pris individuellement (2D) et des mammifères marins (3D). La principale application de ce modèle a pour but d'évaluer l'impact que d'autres scénarios de gestion du trafic peuvent avoir sur les mammifères marins et les activités de navigation dans la région. Pour ces autres scénarios, le modèle calcule les temps de passage, la fréquence des rencontres entre les mammifères marins et les bateaux et le risque de collisions mortelles avec des navires.

Déversements d'hydrocarbures



Comme nous l'avons vu plus haut, un grand nombre de modèles d'hydrocarbures ont été conçus ces dernières années pour prédire la trajectoire et le sort (c.-à-d. l'évolution des hydrocarbures dans le milieu marin) des déversements d'hydrocarbures en mer. En associant ces modèles à une évaluation des effets des déversements d'hydrocarbures sur les composantes de l'environnement, il est possible d'évaluer leur séquence. Le progiciel d'application du modèle d'impact des déversements, SIMAP™, est un logiciel commercial qui comporte deux sous-modules : un modèle physique qui simule la trajectoire et le sort des hydrocarbures, et un modèle des effets biologiques qui englobe des algorithmes pour quantifier l'impact des hydrocarbures sur les habitats, les organismes aquatiques (poissons, invertébrés, plantes aquatiques, plancton) et les espèces fauniques (oiseaux, mammifères, reptiles). French-McCay (2004) donne un aperçu de ce modèle et l'applique au déversement d'hydrocarbures de l'Exxon Valdez comme étude de cas de validation. Cette étude a révélé que ce modèle fournit dans l'ensemble des résultats raisonnables. La composante physique du modèle exige des renseignements sur les vents et les courants. L'estimation des effets biologiques comporte un plus haut niveau d'incertitude étant donné qu'on connaît mal la sensibilité aux hydrocarbures de pétrole pour toutes les espèces (French-McCay, 2004) et que les modèles de mouvement ainsi que les comportements migratoires de certaines espèces (comme les oiseaux de mer) viennent compliquer l'évaluation de l'exposition des populations fauniques aux hydrocarbures.

4.4.1.4 Séquences multiples

Modélisation conceptuelle : séquences des effets

La compréhension des liens de causalité entre les activités et les facteurs de stress et leurs effets sur les composantes de l'environnement sous-tend, dans des mesures variables, la majeure partie des méthodes et des outils d'évaluation des effets cumulatifs dont il est question dans ce rapport.

On peut définir les modèles conceptuels comme des descriptions ou des abstractions des relations fonctionnelles générales entre les composantes essentielles d'un écosystème (Fischenich, 2008). Dans le contexte de l'évaluation des effets cumulatifs, les modèles conceptuels sont des représentations des liens ou des relations de causalité entre les activités et les facteurs de stress et leurs incidences sur les composantes du système socio-environnemental analysé (Canter, 2008, Antony et coll., 2013). Les modèles conceptuels revêtent généralement la forme d'un exposé descriptif et/ou d'une représentation graphique des liens de cause à effet recensés au sujet du système. Les modèles conceptuels sont une condition préalable de tous les modèles numériques (Smith et coll. 2016).

Les modèles conceptuels peuvent être assimilés à des méthodes d'identification (Canter, 2008) qui aident à déterminer la portée des composantes valorisées, à établir les limites spatiales et temporelles, à choisir les indicateurs et à déterminer les séquences les plus utiles.

Les modèles de séquences des effets constituent un type de modèle conceptuel qui consiste en une représentation graphique des relations prévues entre les activités, les pressions ou les facteurs de stress et les composantes valorisées. En illustrant visuellement la complexité des écosystèmes et leurs interactions avec les activités humaines, les séquences des effets sont d'excellents outils de communication (Stephenson et Hartwig, 2009).

Stephenson et Hartwig (2009) se servent d'un modèle de séquences des effets pour déterminer quelles activités sont susceptibles d'avoir des effets néfastes sur les écosystèmes marins de la mer de Beaufort sur le versant nord du Yukon. Dans ce cas, l'application du modèle de séquences des effets a permis de déterminer que l'exploitation pétrolière et gazière constituait la principale menace planant sur les écosystèmes marins de cette région. Des modèles conceptuels des séquences des effets en ce qui concerne le transport maritime sont en cours d'élaboration par le MPO, et ils serviront de composante fondamentale à l'initiative sur les ECTM dirigée par Transports Canada (Annexe A).



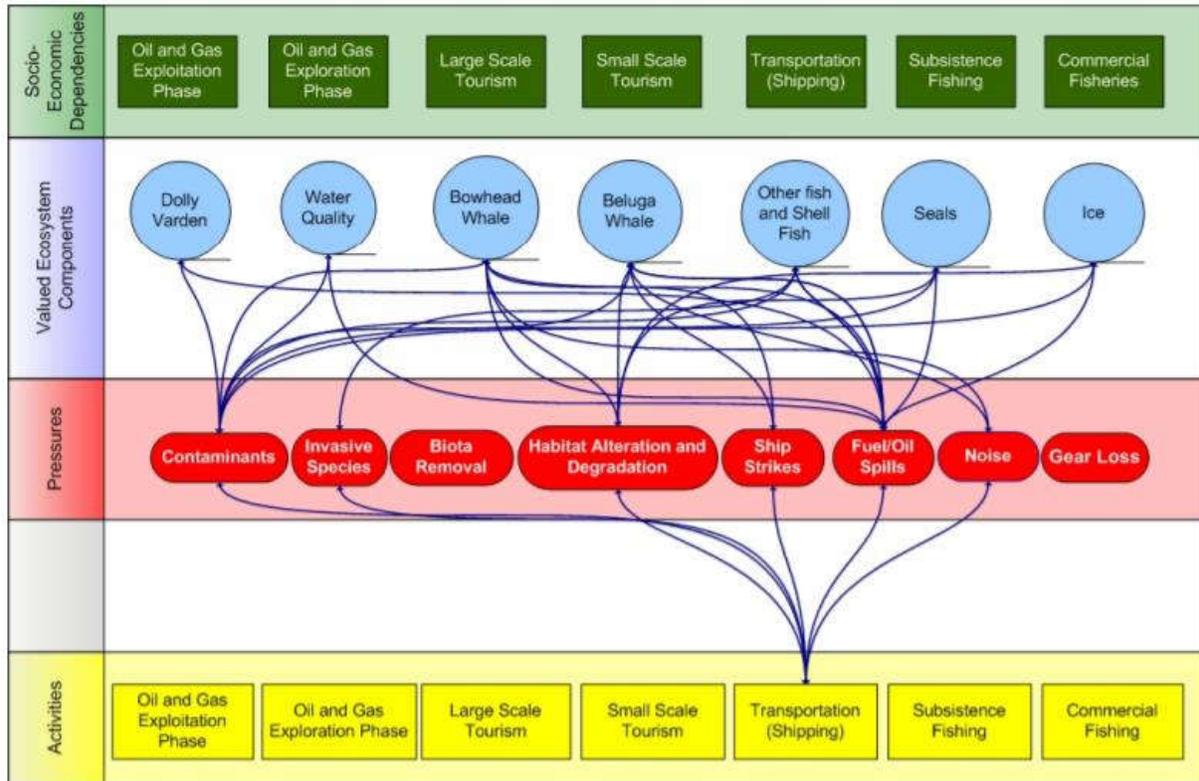


Figure 4.15. Exemple d'un schéma des séquences des effets d'une activité unique sur le transport maritime (source : Stephenson et Hartwig, 2009).

Modèles forces motrices-pressions-états-impacts-réponses (DPSIR)

L'approche DPSIR (forces motrices-pressions-états-impacts-réponses) est un cadre de structuration des problèmes qui peut servir à évaluer les causes, les conséquences et les réactions face aux changements (Elliott et coll., 2017). Cette approche est issue des cadres de conceptualisation pression-état-réponse (PER) qui sont utilisés dans l'analyse et la gestion des risques des écosystèmes marins depuis les années 1990 (Patrício et coll., 2016).

Le modèle DPSIR est à orientation politique (Patrício et coll., 2016), étant donné qu'il décrit le système en fonction des forces motrices (p. ex. les activités d'exploitation et les activités économiques) qui exercent des pressions (p. ex. abrasion, augmentation du bruit marin, surpêche) qui, à leur tour, affectent l'état des écosystèmes (comme la qualité des habitats, la taille des populations, etc.) et qui exigent une réponse sous la forme d'une mesure de gestion.

Destiné aux écosystèmes côtiers et marins, le modèle DPSIR d'origine a été adapté et modifié en 23 approches dérivées (Figure 4.16) (Patrício et coll., 2016). Certaines de ces approches modifiées cherchent à inclure l'évaluation des services des écosystèmes dans le cadre DPSIR. Kelble et coll. (2013) ont conçu un modèle conceptuel force motrice, pression, état, service écosystémique et réponse (EBM-DPSER) et l'a appliqué aux Keys de Floride et à l'écosystème marin des Dry Tortugas.



Appendice C

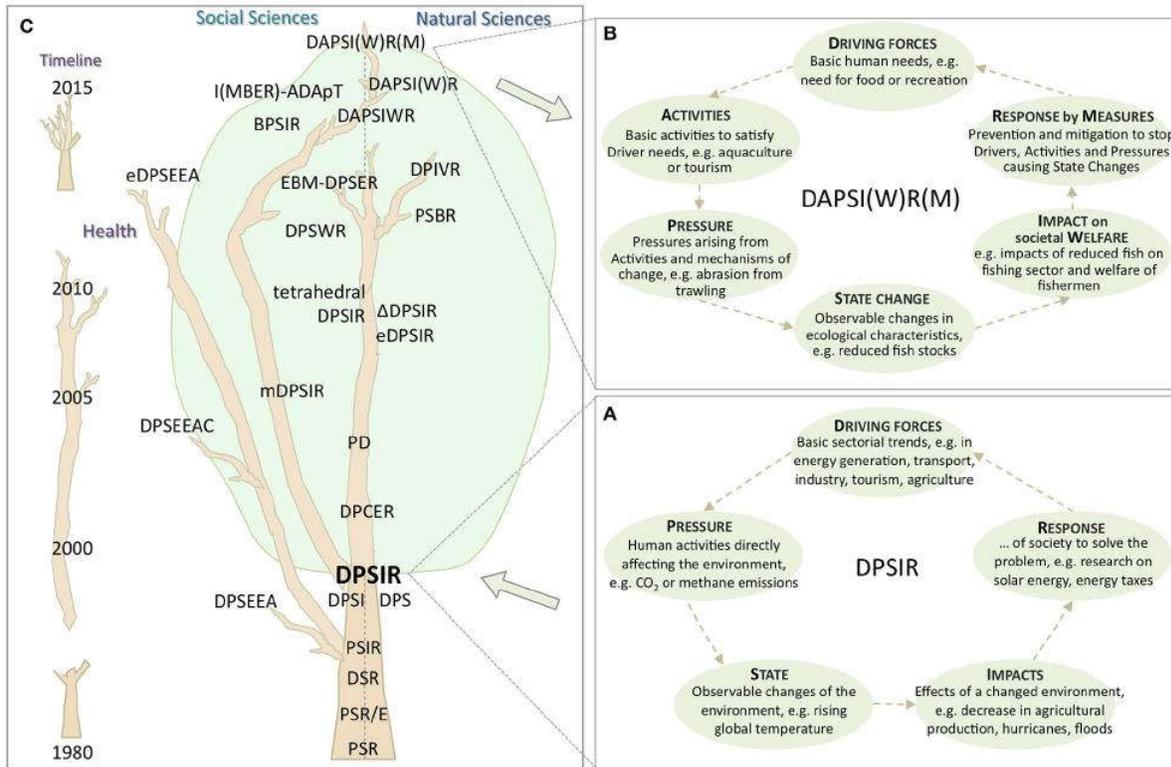


Figure 4.16: Conceptualisations du modèle DPSIR : A) Modèle DPSIR d'origine, redessiné à partir du cadre original de l'UE (CE 1999), B) Modèle DAPSI(W)R(M) récent (Elliott et coll., 2017) et C) Chronologie et élaboration/relation du modèle DPSIR et de ses dérivés (source : adapté de Patricio et coll., 2016).

Au cœur des cadres DPSIR, il y a la compréhension des interactions et des relations entre les facteurs de stress et les composantes valorisées. Furlan (2017) a utilisé le cadre DPSIR pour délimiter les rapports entre les sources des facteurs de stress et leurs conséquences sur les composantes valorisées et les habitats et il a subdivisé les pressions et les incidences en quatre catégories de danger : les incidences biologiques, les incidences physiques, les incidences chimiques et les incidences climatiques (Figure 4.17).

L'un des reproches que l'on adresse couramment aux modèles DPSIR a trait à la variabilité de l'interprétation et de l'utilisation des principales composantes de la méthode (c.-à-d. forces motrices-pressions-changement d'état-impact-réponse) (Patricio et coll., 2016). Cela se reflète dans les multiples dérivés du modèle qui ont fait leur apparition ces dernières décennies.



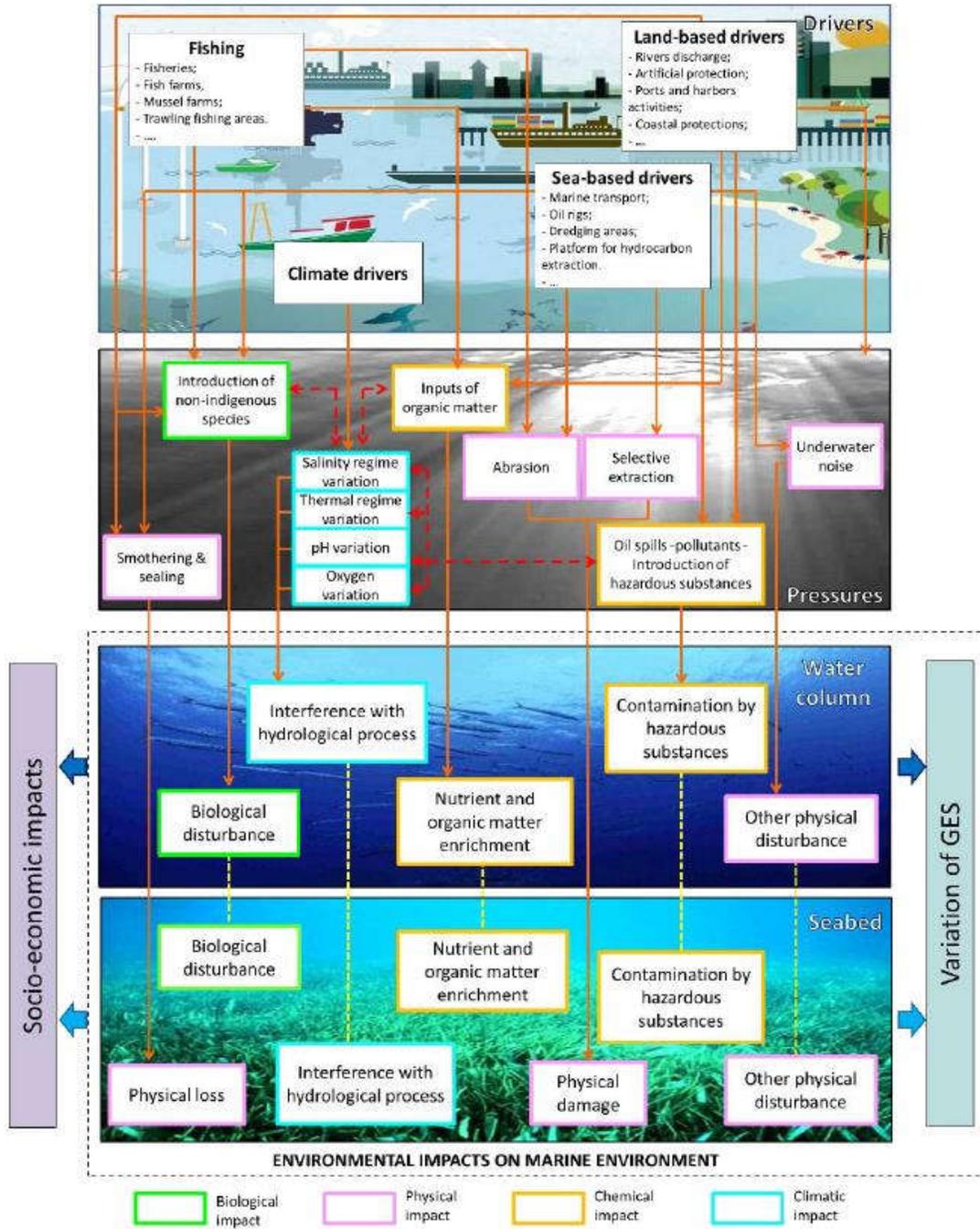


Figure 4.17. Modèle conceptuel des facteurs de stress et des composantes valorisées et leurs liens. Ce modèle sert à éclairer la méthode d'évaluation des risques (source : Furlan, 2017).



Réseaux de croyances bayésiennes

Les réseaux de croyances bayésiennes (RCB) sont des modèles graphiques et probabilistes qui illustrent les relations de corrélation et de causalité entre les variables (McCann et coll., 2006). Dans le contexte de l'analyse environnementale et écologique, ce type de modèle s'applique généralement aux situations où il existe d'importantes incertitudes quant au système étudié (Smith et coll., 2016). Parmi les incertitudes communes qui se rattachent à l'évaluation des effets cumulatifs, mentionnons l'absence de connaissance ou la connaissance incomplète des relations entre les facteurs de stress et les composantes valorisées et l'incertitude qui se rattache à l'effet confondu de facteurs de stress multiples (Ban et coll., 2014).

Particulièrement utiles pour la gestion des ressources naturelles, les RCB permettent de prédire la réaction des variables écologiques à différentes options de gestion (McCann et coll., 2006). Cette caractéristique rend cette méthode de modélisation particulièrement bien adaptée à son application à la gestion adaptative de systèmes socioécologiques complexes (Ban et coll., 2014, Smith et coll., 2016).

Contrairement aux approches de modélisation mécanique, les RCB n'exigent pas de comprendre le processus qui relie deux variables du système car ils calculent les probabilités de changement survenant dans l'état d'une variable donnée uniquement en fonction des probabilités (Langmead et coll., 2007). En outre, les RCB sont flexibles sur le plan de la saisie des données et ils peuvent effectuer des calculs en fonction des avis d'experts s'il n'existe pas de données empiriques. Ils permettent de modéliser l'incertitude tout en tenant compte de la sensibilité du système (Lawson et Lesage, 2013, Goerlandt et Montewka, 2015).

Graphiquement, les RCB sont des réseaux qui illustrent les relations de causalité entre les nœuds (variables d'état) et d'autres composantes du système par le biais d'un ensemble de boîtes et de flèches. Les liens entre les composantes reposent sur la compréhension des processus sous-jacents (Smith et coll., 2016). Chaque nodule est associé à une fonction qui indique la probabilité de la variable selon les nœuds parents/en amont (Smith et coll., 2016). À ce jour, l'application des RCB aux évaluations marines a été plutôt limitée (p. ex. Langmead et coll., 2007; Ban et coll., 2014; Stelzenmüller et coll., 2010 et 2015; Uusitalo et coll., 2015). Ban et coll. (2014) ont appliqué une approche RCB à l'étude de l'effet de facteurs de stress multiples, et d'options multiples de gestion de l'eau, aux récifs de corail dans la Grande barrière de corail d'Australie. L'objectif principal de cette étude était de comprendre les effets relatifs des facteurs de stress.

Stelzenmüller et coll. (2010) ont associé les RCB et les systèmes d'information géographique (SIG) pour générer une représentation spatiale des scénarios de gestion fondée sur des modèles. Le modèle RCB (Figure 4.18) illustre le niveau général de vulnérabilité dans la zone étudiée comme une fonction de l'intensité de trois exemples d'activités humaines, et du type de paysage marin et de sa sensibilité à ces activités.



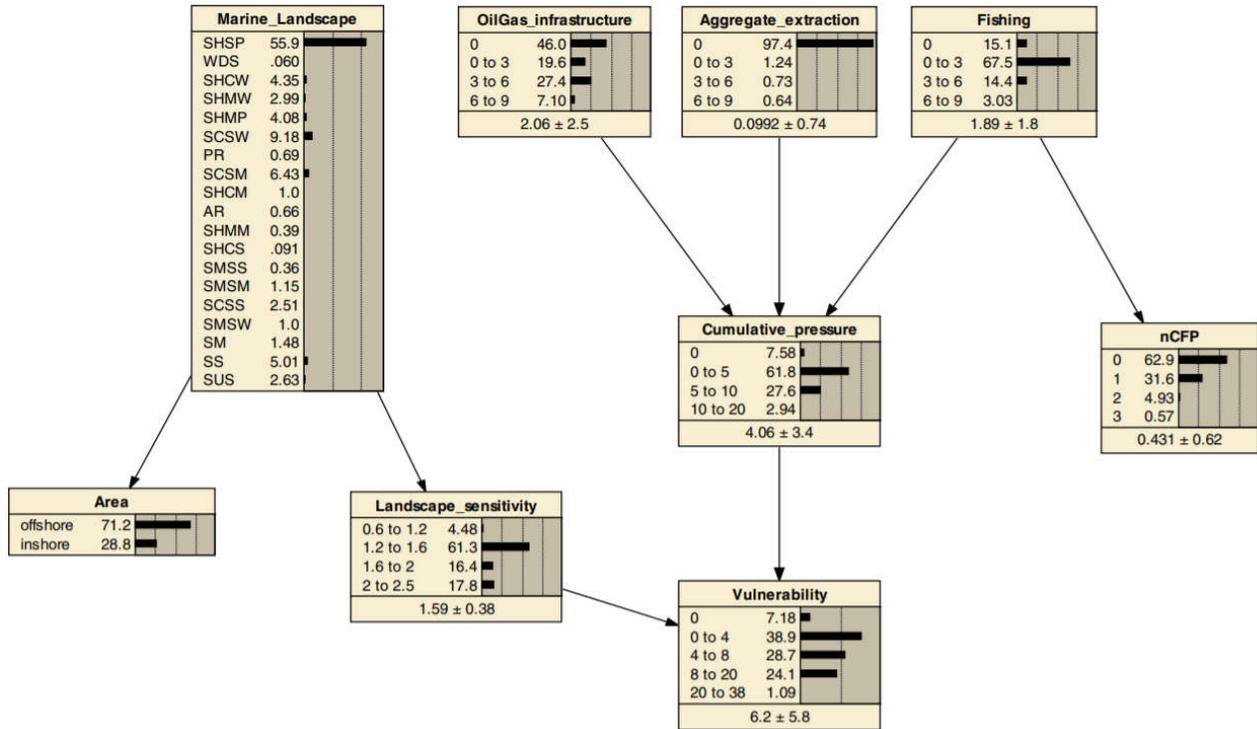


Figure 4.18. Modèle conceptuel et scénario de base illustrant les principales variables utilisées pour prédire le niveau général de vulnérabilité des paysages marins du Royaume-Uni et les valeurs des probabilités (%) pour certaines catégories de nœuds respectifs (source :Stelzenmüller et coll., 2010).

Modèles de simulation spatialement explicites

Compte tenu de l'évolution vers la gestion écosystémique des zones marines, les modèles qui permettent l'évaluation des relations spatialement et temporellement explicites de cause à effet retiennent de plus en plus l'attention (Fulton et coll., 2015). L'idée de combiner des techniques de modélisation multiples dans un cadre prédictif spatialement explicite permet une évaluation holistique du système en plus de faciliter l'identification des mesures de surveillance et de gestion (Bastos et coll., 2017).

Ces modèles sont l'outil idéal d'évaluation des effets cumulatifs (Peter Duinker, communication personnelle). Dans la pratique de la modélisation, on tend de plus en plus à les mettre en œuvre. Ils exigent de comprendre les relations quantitatives entre les facteurs de stress et les composantes valorisées (4.3.1.3) et une condition d'état de base ou de départ. Les impacts sont ensuite estimés dans l'espace et dans le temps pour la zone considérée. À l'aide de ces données, on parvient à évaluer d'autres scénarios dans le temps et l'espace. Leur utilité atteint son maximum à l'échelle régionale.

L'**Ecospace** est un exemple de modèle d'écosystème spatialement explicite qui permet de prédire les incidences sur les écosystèmes marins d'après l'approche d'équilibre massique d'Ecopath. Ecospace a servi à évaluer les zones marines protégées et la gestion des pêches (Walters et coll., 1999). Ecospace permet de générer des prévisions futures des schémas biomassiques spatiaux à propos de plusieurs centaines de cellules de grille et de plusieurs espèces. Même s'il ne permet pas d'établir des prévisions quantitatives détaillées, ce modèle est utile comme outil de sélection politique (Walters et coll., 1999).



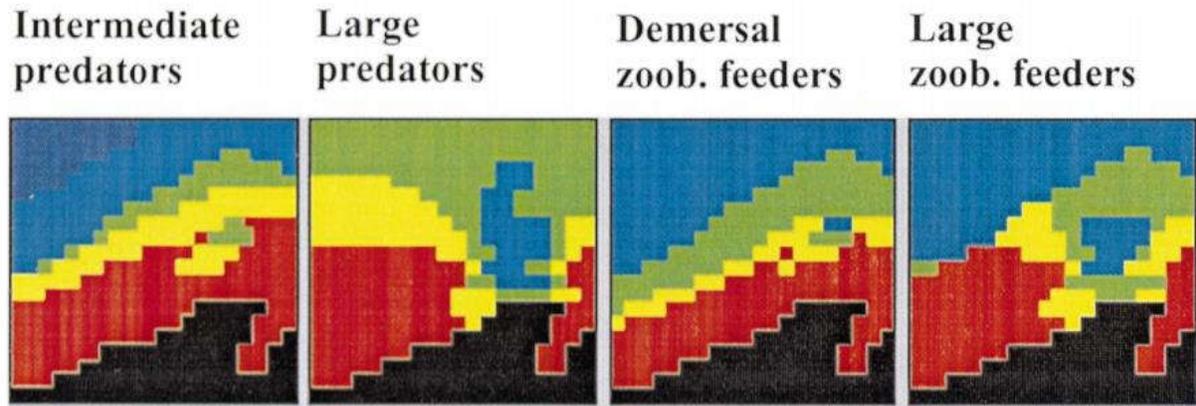


Figure 4.19. Exemple de cartes de répartition de la biomasse prédites par Ecospace pour la côte de Brunei Darussalam, Asie du Sud-Est, le rouge indiquant des écarts importants et le bleu de faibles écarts par rapport à la ligne de base Ecopath de chaque groupe fonctionnel (source : Walters et coll., 1999).

La démarche utilisée par Harvey (2018) pour évaluer les effets du bruit sur les cétacés a également eu recours à la modélisation EWE/Ecospace.

Johanson et coll. (2017) ont appliqué le modèle spatialement explicite **SPRAT** à l'analyse de l'évolution historique du plateau Scotian; une zone dominée par la morue qui s'est transformée en un écosystème dominé par le hareng. SPRAT est un outil de prédiction des stocks de poissons qui modélise en trois dimensions le flux d'énergie ou de biomasse dans l'écosystème. Il permet de simuler l'effet à la fois des forces motrices environnementales (comme la température de l'eau) et biologiques (comme les interactions entre espèces) qui affectent les stocks de poissons présentant de l'intérêt et les répercussions pour l'écosystème des interventions de gestion planifiées.

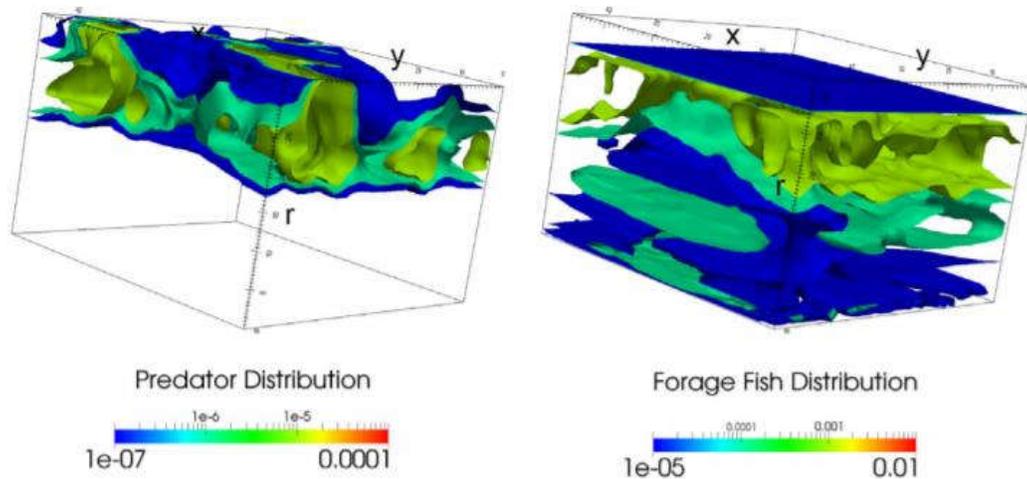


Figure 4.20. Sorties de modèle graphique de SPRAT illustrant les répartitions de la biomasse pour les groupes fonctionnels de poissons-proies (à gauche) et les poissons fourragers (à droite) (source : Johanson et coll., 2017).

Les **modèles axés sur les agents** (ABM, pour *Agent-Based Model*) permettent de simuler le réseau dynamique des nombreux agents en interaction dans le cadre spatiotemporel détaillé considéré. La particularité de cette approche, c'est que les récepteurs (ici, les CV d'intérêt) ne sont pas considérés comme statiques. Les modèles prévoient de manière stochastique le comportement de multiples agents (lesquels peuvent être des animaux individuels ou des groupes d'animaux, par exemple les bancs de poissons) face aux facteurs de stress (p. ex. le bruit) ou à une modification de l'habitat. Heinänen et coll. (2018) ont opté pour l'approche ABM quand ils ont conçu leur modèle de migration réaliste fondé sur les caractéristiques physiologiques du maquereau commun en mer de Norvège. Les chercheurs ont établi un cadre de modélisation intégratif en articulant des modèles hydrodynamiques à haute résolution, des modèles corrélatifs de répartition des espèces et l'approche ABM afin d'analyser et de prévoir la répartition spatiotemporelle et les déplacements du poisson considéré. Ce cadre de modélisation a ensuite permis de comprendre les impacts du bruit (relevés sismiques) sur les habitudes migratoires du maquereau et sur sa distribution densimétrique (Figure 4.21). Une telle approche pourrait être appliquée à toute composante valorisée mobile à laquelle s'intéresse Transports Canada (poissons, oiseaux ou cétacés, p. ex.).

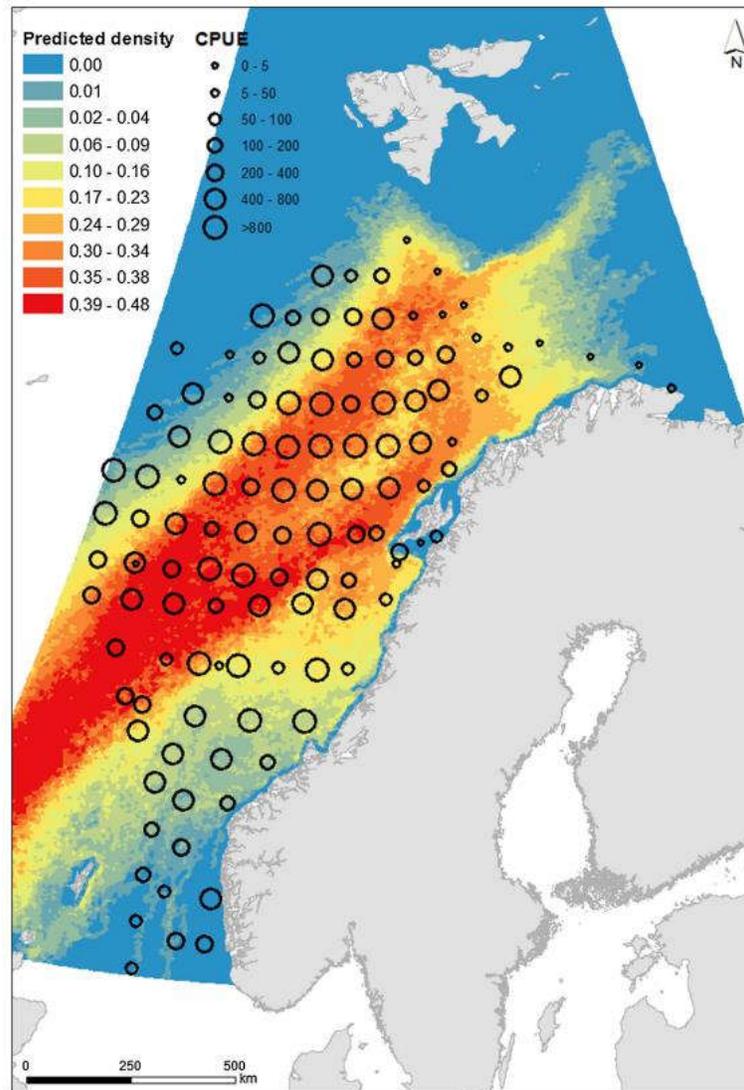


Figure 4.21. Valeur moyenne de la densité d'agents annoncée (par km²), comparativement aux valeurs observées pendant la même période, exprimées en captures par unité d'effort (CPUE, en kg nmi⁻²) – Source : Heinänen et coll., 2018

4.4.1.5 Modélisation intégrée

De nombreux outils de modélisation ont été appliqués à un ou plusieurs aspects des séquences d'effets (facteurs de stress, CV ou séquences d'exposition). En matière d'évaluation des effets cumulatifs, cela dit, la modélisation n'est pleinement fructueuse que lorsqu'on intègre plusieurs modèles. La plupart des modèles de simulation spatialement explicites reposent par exemple sur l'articulation de différents modèles physiques et biologiques appliqués dans l'espace et dans le temps. Les meilleurs modèles s'appuient aussi sur des méthodes analytiques (p. ex. modélisation de la qualité des habitats ou analyse de régression visant à déterminer les paramètres d'entrée).

Il est possible d'intégrer de multiples sous-modèles simulant les caractéristiques physiques des habitats (courants, température de l'eau et salinité, par exemple), avec prise en compte des préférences propres aux espèces considérées (indices de qualité de l'habitat) dérivées des données empiriques. De même, le couplage des modèles de facteurs de stress et des modèles de population permet d'estimer comment l'ensemble de la population considérée risque de réagir face à la modification des variables démographiques clés causée par les facteurs en question. Cette approche intégrative est parfaitement illustrée par le [MARAMBS](#) (Mobile Animal Ranging Assessment Model for Biological Studies), un outil que DHI Group a conçu pour analyser l'impact des activités pétrolières et gazières en mer de Barents (Figure 4.22). Le MARAMBS combine un modèle hydrodynamique, un modèle d'habitat statistique et un modèle ABM; le tout permet d'analyser la présence de mammifères marins vulnérables dans la région considérée ainsi que leurs déplacements.

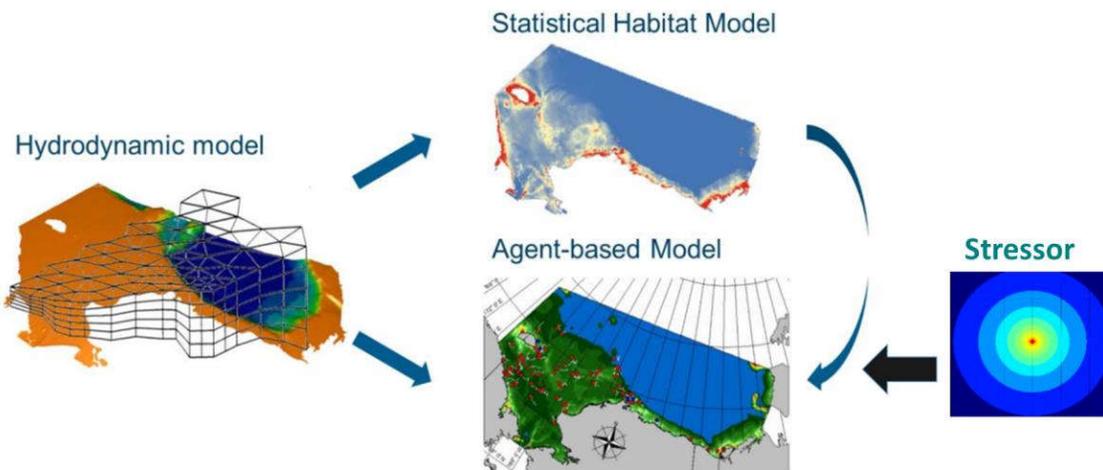


Figure 4.22. Diagramme conceptuel du modèle MARAMBS – Source : Frank Thomsen (DHI)

4.4.2 Critères d'évaluation

4.4.2.1 Pertinence

Utilité pour l'initiative sur les ECTM

Les méthodes de modélisation appuient l'évaluation des effets cumulatifs de diverses façons. Les modèles peuvent aider à formuler des hypothèses, à déterminer la portée, à quantifier l'intensité des facteurs de stress (modèles de facteurs de stress), à évaluer l'état et les interactions entre les composantes de l'environnement (modèles de composantes valorisées), à lier les facteurs de stress et leurs effets sur les composantes valorisées (modèles à une seule séquence) et à étudier la manière dont les séquences multiples peuvent influencer sur un ou sur plusieurs composantes valorisées (modèles à séquences multiples).

Facteur de stress

Les modèles de facteurs de stress permettent de quantifier l'échelle spatiale et l'ampleur d'un facteur de stress particulier en fonction des renseignements dont on dispose sur l'activité connexe. Toutefois, il faut mentionner que la modélisation des facteurs de stress ne suffit pas



Appendice C

à évaluer les effets cumulatifs et les sorties de ces modèles doivent être comparées aux seuils ou combinées à d'autres modèles qui évaluent les incidences de ces facteurs de stress sur des composantes valorisées. L'élaboration de ces modèles s'est concentrée sur certains facteurs de stress (p. ex. le bruit sous-marin et les déversements d'hydrocarbures) à propos desquels il existe une diversité d'outils et d'options. Pour d'autres facteurs de stress qui se rattachent à la navigation maritime, comme la perturbation du substrat, il y a relativement peu d'exemples.

Composante valorisée

Les modèles à espèce unique servent à comprendre la manière dont certaines espèces réagissent aux facteurs de stress cumulatifs pour prévoir les changements dans les populations (Lacy et coll., 2017) et à examiner les scénarios de gestion. Les modèles à espèces multiples ont une orientation plus étroite qui porte sur la simulation des interactions trophiques/de prédation et leur utilisation pour l'étude des facteurs de stress anthropiques a été très limitée. Les modèles d'écosystème impliquent un changement d'échelle; l'étude s'étend aux interactions trophiques observées dans l'écosystème tout entier. Bien que ces modèles aient été surtout utilisés jusqu'ici pour répondre aux questions liées à la gestion des pêches, on s'en sert de plus en plus pour étudier la réaction des écosystèmes à d'autres types de facteurs de stress – citons par exemple l'impact du bruit sur les mammifères marins (Harvey, 2018). Ils offrent également de grandes possibilités comme outils de modélisation régionale.

Séquence

Ces modèles offrent la possibilité d'acquérir une compréhension plus approfondie d'une séquence d'intérêt (c.-à-d. les effets d'un facteur de stress donné sur une composante valorisée prioritaire). Mais surtout, ils peuvent servir à mesurer d'autres scénarios ou mesures de gestion et leurs effets sur les interactions entre les facteurs de stress et les composantes valorisées. Par exemple, Chion et coll. (2017) ont utilisé le modèle 3MTSim pour évaluer dans quelle mesure les mesures de restriction de la navigation affectent les populations de bélugas dans le Saint-Laurent.

Séquences multiples

Les modèles à séquences multiples sont des cadres de structuration des problèmes qui peuvent être appliqués à n'importe quelle combinaison de facteurs de stress et de composantes valorisées (Patrício et coll., 2016). Leur application aux environnements marins a été limitée (Smith et coll., 2016). Toutefois, en tant que modèles conceptuels, ils peuvent être adaptés au problème et au système spécifique étudié. Ces modèles peuvent également faire partie de cadres élargis d'aide à la prise de décisions.

Échelle spatiale et temporelle

Les méthodes de modélisation conviennent particulièrement bien à l'échelle régionale car elles sont assez précises à échelles plus réduites tandis qu'aux échelles plus larges que les échelles régionales, l'incertitude des processus modélisés et les extrants augmentent nettement. Les méthodes à séquences multiples que l'on utilise dans les politiques maritimes, comme la DPSIR, ont également été appliquées à plus grande échelle en liant divers systèmes marins.

Facteur de stress

Pour ce qui est de l'échelle spatiale et temporelle, les modèles de facteurs de stress conviennent mieux à une application régionale étant donné que la capacité prévisionnelle diminue nettement à des échelles plus réduites (locales) et plus larges. Toutefois, il se peut que certains des outils de modélisation puissent être reproduits dans différentes régions étant donné que les activités de navigation maritime ont tendance à être semblables entre les régions.

Composante valorisée

Les modèles écologiques peuvent s'appliquer à tout un éventail d'échelles spatiales et temporelles. Toutefois, ils s'appliquent généralement à l'échelle régionale (p. ex. répartition des habitats ou des écosystèmes dans une région particulière). Les composantes valorisées ont tendance à diverger selon la région.



Séquence	Étant donné qu'ils associent des données sur le facteur de stress et l'aire de distribution ou l'utilisation d'un habitat par une ou plusieurs espèces, les modèles de séquence conviennent particulièrement bien à l'échelle régionale.
Séquences multiples	On peut utiliser la modélisation des séquences multiples pour différents composantes valorisées à travers les types d'écosystèmes (p. ex. côtiers, marins) et à diverses échelles géographiques. Le modèle DPSIR peut également relier des systèmes marins et illustrer la connectivité entre des systèmes attenants (Patrício et coll., 2016). Cette connectivité peut être visualisée par plusieurs cycles DPSIR interdépendants (Smith et coll., 2016). Cette connectivité fait que les modèles DPSIR conviennent particulièrement bien aux échelles plus larges.

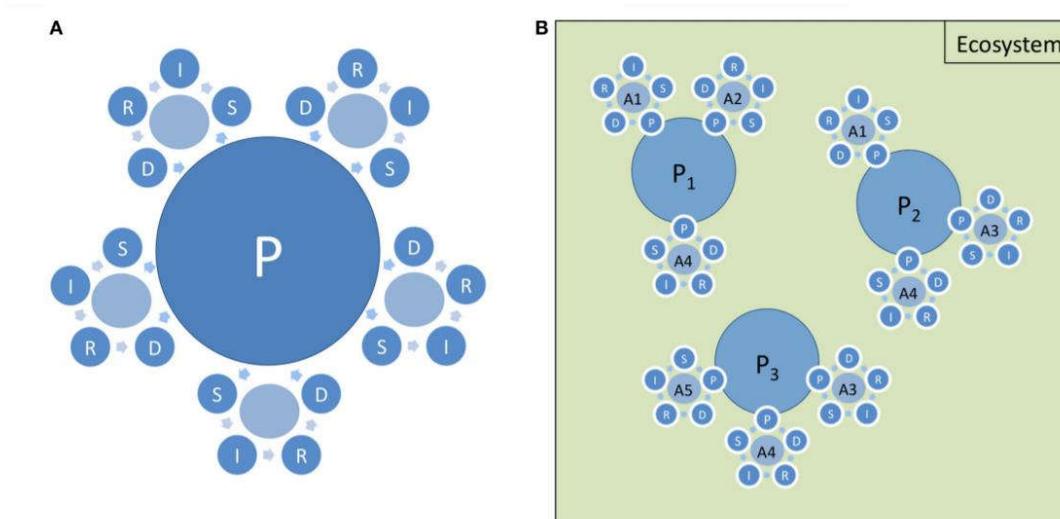


Figure 4.23. Cycles DPSIR multispaciaux : A) Cycles DPSIR distincts liés par un élément de pression commun (p. ex. pression d'abrasion attribuable aux activités de chalutage en zone benthique, de mouillage, de dragage, etc.); B) exemple de cycles DPSIR liés dans un écosystème particulier avec des pressions distinctes individuelles (P1-P3), dont chacun est associé à des types d'activité discrets (A1-A4) (source : adapté de Smith et coll., 2016).

Savoir autochtone

Facteur de stress	Le savoir autochtone (SA) peut être utilisé en conjonction avec les méthodes de modélisation. Il peut servir par exemple à mieux estimer les paramètres ou à valider et comparer les résultats de la modélisation. Citons notamment les travaux menés par les Premières Nations sur la côte centrale de la Colombie-Britannique, où le SA et les données de terrain ont permis de modéliser les dynamiques en jeu dans la pêche du crabe dormeur, d'avoir une meilleure idée de la population de crabes et de mieux comprendre la situation des pêcheurs (voir détails à la section 6.1.2.1).
Composante valorisée	
Séquence	Le SA facilite particulièrement les processus de modélisation conceptuelle type SdE, DPSIR et RCB. En Australie, par exemple, pour concevoir les modèles conceptuels et RCB qu'impliquait l'étude de la Grande barrière de corail, l'équipe Antony et coll. (2013) s'est servi des résultats d'un processus participatif élargi qui faisait appel à des experts et aux différentes



parties prenantes. L'utilisation du savoir autochtone doit se faire avec ses détenteurs. Pour plus de détails, consulter la section 6.1.

Séquences multiples

4.4.2.2 Rigueur

Application de la méthode

Les méthodes de modélisation sont largement documentées dans la documentation universitaire. Dans le cas des modèles de séquences multiples, une lacune tient au fait que bon nombre de ces modèles n'ont été appliqués que sur le plan conceptuel.

Facteur de stress	Les modèles de facteurs de stress ont souvent été appliqués à des études de recherche, à des évaluations des impacts et à d'autres cas. Les applications ont été documentées dans la documentation (articles multiples). Les modèles de bruit ont été conçus et étudiés abondamment au Canada. Il existe de multiples exemples de leurs applications entre les régions (p. ex. Arctique, Pacifique et Atlantique). Il existe une gamme de choix possibles pour ce qui est des outils et des applications spécifiques de chaque facteur de stress.
Composante valorisée	L'élaboration et l'application de ces modèles sont solidement établies dans la documentation grâce à de multiples articles universitaires qui décrivent l'utilisation de ces modèles dans différents contextes géographiques et écologiques.
Séquence	L'élaboration et l'application des modèles de séquence sont bien établies dans la documentation, en particulier pour les séquences qui ont plus retenu l'attention, comme les effets du bruit sous-marin sur les mammifères marins.
Séquences multiples	Bon nombre de ces modèles sont appliqués à l'échelle conceptuelle. Par exemple, Patricio et coll. (2016) ont constaté dans leur examen que les liens entre les pressions et les changements d'état ne sont généralement pas quantifiés dans les cadres DPSIR alors qu'ils sont analysés sur le plan conceptuel. Les modèles spatialement explicites sont généralement documentés dans des applications ou des études de cas.

Niveau des données/informations sous-jacentes

Les modèles ont tendance à se fier à des renseignements empiriques quantitatifs comme données d'entrée, même si les modèles préliminaires peuvent être élaborés en l'absence de données empiriques. Des modèles plus axés sur les politiques et les scénarios comme les modèles DPSIR ou RCB conviennent particulièrement bien à l'incorporation d'autres types de données, notamment des données qualitatives et des avis d'expert.

Facteur de stress	Les modèles de facteurs de stress reposent sur les recherches et sur les connaissances scientifiques actuelles des processus et des mécanismes en vertu desquels les facteurs de stress se manifestent (p. ex. les modèles de bruit sous-marin reposent sur la physique qui entre en jeu dans la propagation du bruit sous la mer). Le résultat de ces modèles consiste généralement dans des données quantitatives qui affichent les résultats des simulations.
Composante valorisée	Pour la modélisation des espèces ou des groupes fonctionnels, ces modèles se fient aux connaissances scientifiques existantes (p. ex. cycle de vie, dynamique de population,



	comportement prédateur, etc.) et également aux données d'observation (p. ex. distribution spatiale d'une certaine espèce).
Séquence	Ces méthodes se fient aux connaissances scientifiques sur les espèces ou les écosystèmes modélisés, et dépendent de la compréhension que l'on a des rapports de cause à effet qui expliquent les impacts de ces facteurs de stress sur ces composantes (section 4.3). En l'absence de données empiriques (p. ex. pour la distribution d'une certaine espèce), les données d'entrée peuvent être complétées par les connaissances d'experts mais, dans une large mesure, ces modèles se fient à des données scientifiques.
Séquences multiples	Ces modèles se fient à une diversité de sources de données, depuis les données empiriques quantitatives jusqu'aux renseignements qualitatifs ou aux avis d'experts (Smith et coll., 2016).

Incertitude

La plupart des méthodes de modélisation illustrent l'incertitude qui se rattache à leurs simulations, du moins sur le plan de la qualité des données d'entrée et des lacunes d'information.

Facteur de stress	L'incertitude est explicitement mentionnée et expliquée dans le cadre des calculs du modèle.
Composante valorisée	L'application de ces méthodes est généralement documentée de façon systématique, notamment les incertitudes dans la base de connaissances du modèle (p. ex. les incertitudes relatives à certains paramètres) ou dans les scénarios de prévision.
Séquence	L'incertitude qui se rattache aux sources de données et aux sorties des modèles est en général officiellement documentée dans des études de cas ou des applications.
Séquences multiples	Les réseaux de croyances bayésiennes traitent l'incertitude explicitement (Ban et coll., 2014) et systématiquement dans le cadre de l'évaluation des probabilités. La rigueur du traitement de l'incertitude est plus variable dans les autres méthodes. Par exemple, les modèles DPSIR incorporent en général de nombreux types de données, ce qui peut aboutir au fait que l'incertitude n'est pas systématiquement prise en considération (Smith et coll., 2016).

4.4.2.3 Faisabilité

Complexité

Les modèles sont des méthodes d'évaluation complexes qui exigent des connaissances spécifiques et souvent d'experts sur les processus et les composantes valorisées étudiées.

Facteur de stress	En raison de la complexité des modèles de facteurs de stress, les utilisateurs de ces modèles doivent avoir une solide compréhension des processus scientifiques simulés par le modèle (p. ex. la propagation du bruit, les déversements d'hydrocarbures), de bonnes techniques quantitatives et l'aptitude à interpréter des sorties numériques et graphiques.
Composante valorisée	Les modèles écologiques sont complexes et exigent des connaissances particulières, plus particulièrement des connaissances sur l'écologie de l'espèce ciblée. L'utilisation de ces modèles peut être un processus fastidieux qui nécessite : l'ensemble du modèle (la définition des limites, le choix des paramètres et des indicateurs, etc.), la collecte des ensembles de données nécessaires, l'étalonnage et l'exécution du modèle pour des scénarios multiples.



Appendice C

Séquence	Ces modèles sont complexes et exigent des utilisateurs qu'ils possèdent des connaissances d'expert dans des disciplines multiples. Ils peuvent mettre en cause et par conséquent exiger des connaissances sur la façon d'utiliser une séquence de sous-modèles dans lesquels le facteur de stress est modélisé en premier avant d'incorporer les sorties dans un modèle écologique ou biologique afin d'en évaluer les effets sur la composante valorisée.
Séquences multiples	Ces modèles sont assortis d'une vaste gamme de complexités. Selon les objectifs particuliers de l'évaluation et les caractéristiques du système, les modèles peuvent être simples ou complexes et faire partie d'une approche de modélisation imbriquée.

Données/informations nécessaires

Les données nécessaires sont nombreuses pour toutes les méthodes de modélisation, à l'exception des séquences des effets.

Facteur de stress	Pour ce qui est des données/informations nécessaires, l'élaboration des modèles des facteurs de stress nécessite des ensembles de données volumineuses et des données spécifiques propres à un site pour leur étalonnage et leur validation.
Composante valorisée	En général, ces modèles sont à forte intensité de données. Par exemple, les modèles PVA exigent de bien comprendre le cycle de vie et la dynamique de population de l'espèce ciblée (Lacy et coll., 2017). Les modèles Ecopath exigent de saisir des données sur six paramètres clés (Harvey, 2018) : la biomasse, le rapport biomasse/production, le rapport biomasse/consommation, « l'autre mortalité », la composition du régime et les prises. Même s'ils peuvent reposer sur des estimations de ces paramètres, le modèle Ecopath et d'autres modèles d'écosystème sont à forte intensité de données.
Séquence	Les données nécessaires sont volumineuses et spécifiques. Étant donné qu'elles abordent différents processus le long de la séquence des effets, aussi bien des données sur le facteur de stress que sur la composante valorisée doivent être recueillies pour exécuter ces modèles.
Séquences multiples	Les données nécessaires varient considérablement pour ces modèles. L'application des modèles DPSIR dépend de ce que l'on ne dispose pas seulement d'indices des changements, mais également de bases de référence, de seuils et de cibles par rapport auxquels on peut évaluer ces changements (Smith et coll., 2016). Les modèles spatialement explicites sont plus exigeants sur le plan des données que les autres approches.

Souplesse des données

Les modèles ne sont généralement pas souples quant à leurs besoins en données. Certains des modèles à séquences multiples, comme FPEIR, offrent une certaine souplesse quant à la quantité et à la qualité de l'information nécessaire à leur exploitation.

Facteur de stress	Ces modèles ont des exigences particulières en matière de données et ne peuvent pas fonctionner avec des types de données autres que celles pour lesquelles ils ont été conçus.
Composantes valorisées	Au fur et à mesure que les données deviendront disponibles, les interactions spécifiques dans les écosystèmes pourront être mieux quantifiées (Lacy et coll. 2017). En l'absence de données empiriques, les modèles peuvent faire appel aux avis d'experts pour estimer les



	valeurs des paramètres ou l'analyse de sensibilité ¹¹ pour délimiter le problème. Cependant, les paramètres eux-mêmes sont fixes (p. ex., biomasse, taux de croissance et de prédation, etc.).
Séquence	La combinaison de différents sous-modèles limite la souplesse des données des modèles. Les modèles exigent de l'information et des données écologiques spécifiques sur le facteur de stress et le mécanisme de l'effet.
Séquences multiples	L'une des forces des réseaux de croyances fondés sur le modèle bayésien réside dans le fait que les probabilités du modèle peuvent être combinées et quantifiées à l'aide de différents types de données : données empiriques, associations statistiques, représentations mathématiques et quantités probabilistes dérivées de connaissances spécialisées (Stelzenmüller et coll., 2010). En général, les modèles permettent de mettre à jour facilement l'information à l'aide de données améliorées (Smith et coll. 2016).

Accessibilité

Facteur de stress	L'accessibilité du modèle de facteur de stress (<i>moyenne</i>) dépend du modèle. Il existe certains outils de simulation accessibles au public (p. ex. MEDSLIK-II) pour lesquels des études de cas et des manuels d'utilisation peuvent exister. Toutefois, de nombreux modèles ne sont pas fournis d'une manière qui permette au public de s'en servir facilement.
Composantes valorisées	Les utilisateurs de modèles écologiques ont besoin de connaissances et d'une formation spécifiques. La plupart de leurs applications sont réalisées dans des milieux universitaires ou par des scientifiques travaillant pour des entités participant à la gestion des ressources marines. Il existe une documentation abondante (p. ex., des références techniques et universitaires) pour ces modèles. Par exemple, Ecobase est une base de données accessible au public mise au point par les utilisateurs d'EwE qui comprend plus de 400 modèles EwE avec leurs métadonnées et plus de 190 modèles disponibles pour téléchargement.
Séquence	La mise en œuvre de ces modèles nécessite des utilisateurs avertis possédant une expertise technique dans différents domaines (p. ex., le bruit sous-marin et l'écologie des cétacés).
Séquences multiples	Les modèles conceptuels sont facilement accessibles par les intervenants possédant divers niveaux de connaissances techniques et d'expertise. Les modèles de simulation spatialement explicites nécessitent des utilisateurs possédant une grande expertise en modélisation.

Coût

Facteur de stress	Les coûts peuvent comprendre l'achat de licences de logiciels et/ou d'ensembles de données, ainsi que la collecte de données propres au site aux fins de validation. Les coûts de mise en œuvre comprennent également le temps consacré par les équipes multidisciplinaires d'experts.
--------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

¹¹ « L'analyse de sensibilité est l'étude de la façon dont l'incertitude de la sortie d'un code ou d'un système (numérique ou autre) peut être attribuée à l'incertitude dans ses entrées. » [Wikipédia, consulté le 12 janvier 2019] Lorsque les données sont limitées, le modèle peut être manipulé pour évaluer les résultats selon d'autres scénarios hypothétiques.



Appendice C

Composantes valorisées	Les coûts de mise en œuvre de ces modèles peuvent être considérables. Du personnel possédant des compétences et des connaissances spécifiques est requis, souvent dans un contexte multidisciplinaire, et le processus de mise en place et d'exploitation du modèle prend du temps.
Séquence	La mise en œuvre de ces modèles peut s'avérer coûteuse, car elle exige généralement la mise en place et l'exploitation de plusieurs sous-modèles.
Séquences multiples	Les coûts d'élaboration et de mise en œuvre de ces modèles peuvent varier considérablement selon le type de modèle. Comparativement aux autres approches de modélisation examinées dans la présente section, la mise en œuvre de modèles conceptuels est moins coûteuse. Les modèles spatialement explicites peuvent entraîner des coûts supplémentaires pour des éléments tels que des logiciels et des données spécifiques.

Interprétabilité et communicabilité

Facteur de stress	La plupart des modèles de facteur de stress sont spatialement explicites et les résultats sont présentés sous forme de cartes, qui sont relativement faciles à interpréter et à communiquer.
Composantes valorisées	Les résultats des modèles écologiques peuvent être difficiles à interpréter par des auditoires non experts. Il existe une variété dans le format des extraits, y compris les graphiques (Figure 4. 24), les cartes pour ceux qui sont jumelés aux applications du SIG, les tableaux, etc. Tous ces extraits consistent en des informations quantitatives et des projections pour l'avenir.
Séquence	Les extraits se présentent généralement sous la forme de cartes, qui sont généralement utiles à des fins de possibilité d'interprétation et de communicabilité. En raison de l'accent mis sur l'évaluation des scénarios, la pertinence de ces applications est plus évidente.
Séquences multiples	<p>Les modèles conceptuels peuvent être élaborés en consultation avec des groupes mixtes de scientifiques, de gestionnaires et d'intervenants et fournir une plateforme pour discuter de la structure et des éléments clés du système qui nous intéresse. Les modèles FPEIR et SDE peuvent être utiles comme outils de visualisation pour des interactions complexes (Patrício et coll. 2016) et sont utiles pour la communication entre de nombreux intervenants.</p> <p>L'une des critiques courantes des modèles FPEIR est la variabilité de l'interprétation et de l'utilisation des principales composantes de la méthodologie (c.-à-d. forces motrices - pressions - état - effets - réponses) [Patrício et coll. 2016]. Cela se reflète dans les multiples dérivés du modèle qui sont apparus ces dernières années.</p> <p>Les modèles de simulation spatialement explicites sont difficiles à mettre en œuvre, mais ils génèrent des prédictions spatialement explicites (c.-à-d. des cartes) qui sont intuitives à interpréter.</p>



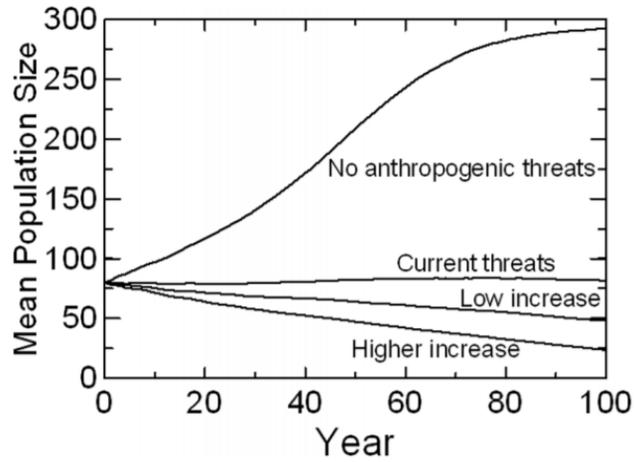


Figure 4. 24. Exemple d'extrait d'un modèle monospécifique. Taille moyenne projetée des populations d'épaulards résidents du Sud (ERS) pour les scénarios avec (de haut en bas) : aucun bruit anthropique ou contaminant; abondance actuelle du saumon quinnat, bruit et BPC; réduction du saumon quinnat, bruit accru et menaces additionnelles de déversements d'hydrocarbures et de collisions avec les bâtiments, selon les estimations des incidences à faible niveau du développement industriel futur; et ces menaces accrues et additionnelles avec incidences plus graves du développement (Source : Lacy et coll. 2017).



5 Analyse comparative

5.1 Comparaison entre les méthodes d'évaluation

La section 4 fournit une évaluation détaillée de chacune des trois méthodes d'évaluation (c.-à-d. spatiale, analytique et modélisation); cette section présente un aperçu comparatif de niveau supérieur des méthodes (Tableau 5.2). Nous avons classé qualitativement les méthodes selon les trois principaux critères d'évaluation : pertinence, rigueur et faisabilité, comme l'indique le Tableau 5.1. La pertinence fait référence à l'utilité générale de la méthode (c.-à-d. l'échelle spatiale pertinente, la capacité d'intégrer le savoir autochtone), la rigueur fournit une évaluation globale de la force de la méthode relative à la façon dont cette dernière est bien établie et justifiée et à la qualité de ses intrants et extrants. Enfin, la faisabilité fournit une estimation de la facilité de mise en œuvre de la méthode (p. ex., compétences et ressources requises, complexité de la méthode, etc.

Tableau 5.1. Classement qualitatif des méthodes selon les critères d'évaluation.

Critères d'évaluation	Élevé	Moyen	Faible
Pertinence	Toutes les méthodes abordées dans l'examen détaillé sont pertinentes ou n'auraient pas été supprimées lors de la phase de sélection. Cependant, certaines méthodes ont été jugées plus utiles que d'autres au contexte spécifique de l'initiative sur les effets cumulatifs du transport maritime (ECTM). La notation haute, moyenne ou basse reflète cette évaluation.		
Rigueur	Bien documenté dans des documents universitaires, des études de cas, etc. Évaluations quantitatives tenant compte de l'incertitude.	Méthodes documentées, mais moins normalisées ou plus récentes.	Manque général de documentation. La méthode n'est pas appuyée par une application bien établie.
Faisabilité	La méthode est facile à comprendre et à interpréter. Il existe une souplesse dans les exigences de données et des outils accessibles.	Modérément complexe, certaines compétences sont requises. Une certaine souplesse dans les besoins en données.	Méthodes complexes utilisant beaucoup de données et nécessitant des connaissances approfondies pour leur mise en œuvre.

Étant donné que nous avons identifié les méthodes les plus prometteuses au cours de la phase de sélection, il n'est pas surprenant que la plupart des méthodes se classent de moyen à élevé pour les trois critères. La régression des méthodes d'analyse et l'analyse en composantes principales ont une « faible »



Appendice C

ESSA Technologies Ltd.

faisabilité en raison de leur complexité et de leur besoin de compétences en statistiques. Plusieurs modèles d'espèces et d'écosystèmes ont été jugés « faibles » du point de vue de la pertinence et de la faisabilité en raison de leur applicabilité indirecte à la navigation maritime et de leurs exigences élevées en matière de données et de compétences d'experts pour leur mise en œuvre.



Appendice C

Tableau 5.2. Évaluation comparative des méthodes d'évaluation (la coloration indique : faible = rouge, moyen = orange et élevé = vert)

Catégorie		Critères d'évaluation			Faisabilité
		Méthode	Pertinence	Rigueur	
Méthodes spatiales	Facteurs de stress	Cartographie	Utile pour comprendre la variabilité spatiale des différents types de facteurs de stress, d'autant plus que le type et l'intensité du trafic maritime diffèrent spatialement dans les eaux canadiennes. Peut utiliser le savoir autochtone avec cette méthode. Élevé	Les méthodes de cartographie des facteurs de stress sont bien décrites dans des articles évalués par des pairs. Élevé	La méthode est intuitive sur le plan de l'application et l'interprétation. Elle peut intégrer plusieurs types de données, relativement faciles à recueillir. La compilation des données nécessite des compétences et des outils largement utilisés. Élevé
	Composantes valorisées	Cartographie	Utile pour comprendre la condition spatiale des composantes valorisées (CV) et, avec l'information sur les facteurs de stress, l'exposition des CV aux différents facteurs de stress. Peut utiliser le savoir autochtone avec cette méthode. Élevé	Les méthodes de cartographie des facteurs de stress sont bien décrites dans des articles évalués par des pairs. Élevé	La méthode est intuitive sur le plan de l'application et l'interprétation. Elle peut intégrer plusieurs types de données, et leur compilation nécessite des compétences et des outils largement utilisés. La collecte de données peut être coûteuse si elle n'existe pas déjà. Élevé
	Séquences	Cartographie de l'effet cumulatif	Une manière spatialement explicite de relier les facteurs de stress aux effets sur l'écosystème sous-jacent à l'aide de données limitées. Peut être utile en fonction du besoin d'évaluation. Bien que cela ne soit pas commun avec d'autres applications, vous pouvez utiliser le savoir autochtone avec cette méthode. Moyen	La cartographie de l'effet cumulatif a été appliquée dans de nombreux endroits avec une approche bien documentée dans des articles évalués par des pairs. Les besoins en données sont élevés, ce qui entraîne des limites relatives aux données nécessitant des hypothèses pour tirer des conclusions. Moyen	Il existe plusieurs applications documentées à suivre pour l'appliquer. Cependant, avec des exigences de données élevées nécessitant des hypothèses, la nuance de l'application est complexe. Il faut également faire appel aux avis d'experts. Moyen
Méthodes analytiques	Facteurs de stress		Sans objet. Peut généralement être directement mesuré ou estimé à l'aide de modèles de facteurs de stress uniques (voir section 4.4).		
	Composantes valorisées	Estimation du domaine vital	Identifier les habitats essentiels. Moyen	Utilisation bien documentée dans des documents universitaires. Peut rendre compte de l'incertitude. Élevé	La méthode est intuitive sur le plan de l'application et l'interprétation. Elle est relativement souple pour ce qui est des exigences de données et peut intégrer une variété de sources avec divers degrés de précision. Au minimum, la méthode nécessite des observations géoréférencées pour la CV concernée. Il existe divers outils logiciels disponibles gratuitement pour appuyer cette méthode. Élevé



Appendice C

Catégorie	Critères d'évaluation			Faisabilité
	Méthode	Pertinence	Rigueur	
	Modélisation de la qualité de l'habitat	Identifier les habitats essentiels et prédire la répartition des espèces. Élevé	Utilisation bien documentée dans les travaux universitaires. Peut rendre compte de l'incertitude. Élevé	La méthode est intuitive sur le plan de l'application et l'interprétation. Les besoins en matière d'analyse et de données sont plus importants que pour les études à domicile. En plus des observations géoréférencées du CV, des données sont également requises pour l'habitat à des endroits avec et sans la présence de la CV. Les utilisateurs ont besoin de connaissances statistiques modérées. Moyen
Séquences	Évaluation des risques	Utile pour recenser les séquences hautement prioritaires où l'exposition et les conséquences sont élevées. En tant qu'outil d'établissement de la portée et des priorités, cette méthode est très pertinente. Elle n'est pas bien adaptée pour quantifier la réponse fonctionnelle réelle d'une CV à une activité ou à un facteur de stress. Moyenne-élevée	Utilisation bien documentée dans les documents universitaires, mais la méthode est moins normalisée et moins quantitative que bon nombre d'autres méthodes d'analyse. Des méthodes ponctuelles sont parfois utilisées pour faire face à l'incertitude. Moyen	La méthode est intuitive sur le plan de l'application et l'interprétation. Elle est relativement souple en ce qui concerne les exigences en matière de données et peut intégrer une variété de sources de différents degrés de précision. Élevé
	Analyse de régression	Évaluer l'ampleur et la nature des relations fonctionnelles entre les facteurs de stress et les CV, et déterminer l'importance relative des différentes séquences (c.-à-d. les facteurs du système). Élevé	La méthode d'analyse la plus courante dont il est question dans le présent rapport. Utilisation bien documentée dans les travaux universitaires. Peut rendre compte de l'incertitude. Si les données sont suffisantes, il s'agit de la méthode privilégiée pour quantifier les relations. Élevé	À grand volume de données La mise en œuvre et l'interprétation sont difficiles. Les utilisateurs ont besoin de connaissances statistiques importantes. L'application à une voie unique est moins difficile (c.-à-d. qu'elle nécessite moins de données et qu'elle est plus facile à mettre en œuvre et à interpréter) que d'essayer d'évaluer l'importance relative de nombreux facteurs de stress sur une CV en particulier. Faible
	Arbres ou forêts de classification et de régression	Évaluer l'ampleur et la nature des relations fonctionnelles entre les facteurs de stress et les CV. Élevé	Il s'agit d'un développement plus récent dans la littérature, mais cette approche est encore bien documentée dans les travaux universitaires. Les méthodes dites Bootstrap sont utilisées pour tenir compte de l'incertitude. Moyen	Cette approche est plus axée sur les données que l'analyse de régression. La méthode est relativement facile à mettre en œuvre et à interpréter grâce à l'utilisation d'outils logiciels disponibles gratuitement. Elle peut être utile lorsqu'il existe un nombre relativement élevé de facteurs de stress potentiels et d'incertitudes quant à la nature des relations. Il existe une variété d'outils logiciels disponibles gratuitement pour soutenir cette méthode. Les utilisateurs ont



Appendice C

Catégorie		Critères d'évaluation			
		Méthode	Pertinence	Rigueur	Faisabilité
			Déterminer l'importance relative des séquences (c.-à-d. les déterminants du système). Essentiellement utile dans ce contexte pour aider à préciser la portée. Moyen	Utilisation bien documentée dans les travaux universitaires. Peut rendre compte de l'incertitude. Élevé	besoin de connaissances statistiques modérées. Moyen
		Pondération des éléments de preuve	Déterminer l'importance relative des séquences (c.-à-d. les déterminants du système). Élevé	L'utilisation est bien documentée dans les publications universitaires, mais la méthode est moins normalisée et moins quantitative que bon nombre des autres méthodes d'analyse. L'incertitude peut être abordée de façon quantitative ou à l'aide d'approches ponctuelles dans certaines sources de données et non dans d'autres. Moyen	Cette méthode a un attrait intuitif et est conceptuellement simple, mais peut intégrer des informations plus rigoureuses lorsqu'elles sont disponibles. La méthode peut intégrer une variété de sources de données dont la qualité et la quantité varient. Élevé
	Facteurs de stress		Très pertinent pour l'étude de l'intensité de facteurs de stress spécifiques (bruit, déversements d'hydrocarbures) et l'exploration de scénarios de gestion. Il existe des modèles pour quelques facteurs de stress associés à la navigation maritime. Élevé	Ces modèles sont le fruit de recherches bien établies. Ils sont bien documentés. Traiter l'expressément de l'incertitude. Élevé	Exigences étendues et spécifiques en matière de données. Les utilisateurs doivent posséder des compétences quantitatives et des connaissances sur le sujet. Les coûts peuvent inclure l'achat de logiciels spécifiques. Moyen
Méthodes de modélisation	Composantes valorisées	Monospécifique	Utile pour explorer des scénarios et comprendre la réponse aux facteurs de stress d'une espèce d'importance particulière (CV prioritaire). Moyen	Utilisation bien documentée dans les travaux universitaires. Élevé	Nécessite des connaissances et des données approfondies sur les espèces cibles. Les utilisateurs ont besoin de compétences quantitatives/statistiques. Moyen
		Espèces multiples	Ces modèles mettent l'accent sur les interactions trophiques/prédatrices de la simulation. Lien peu clair avec les pressions anthropiques. Faible	Il existe de multiples études de cas et documents universitaires qui documentent les applications de ces modèles. Traitement rigoureux des données et prise en compte explicite de l'incertitude. Élevé	Nécessite des connaissances et des données approfondies sur les espèces cibles. Les utilisateurs ont besoin de connaissances statistiques importantes pour modéliser les interactions entre les espèces. Faible
		Écosystèmes	Principalement utilisés pour la gestion des pêches, ces modèles commencent à être	Documentation abondante sur ces modèles. Nombreux outils et méthodes disponibles	En général, il s'agit de modèles à forte intensité de données qui nécessitent de grands ensembles de



Catégorie	Critères d'évaluation			
	Méthode	Pertinence	Rigueur	Faisabilité
		appliqués pour tenir compte d'autres activités humaines. Cependant, on ne sait pas très bien comment elle s'appliquerait à l'initiative ECTM, à moins que la CV lui-même ne soit un écosystème. Moyen	avec documentation spécifique. Les incertitudes sont habituellement documentées. Élevé	données pour étalonner et exécuter les simulations. Faible
Voie unique		Ces modèles établissent les interactions entre les facteurs de stress et les CV et peuvent être utilisés pour évaluer d'autres scénarios. Élevé	Bien documenté dans la littérature. Les incertitudes (dans la base de connaissances et les prévisions du modèle) sont bien documentées. Élevé	Exigences étendues et spécifiques en matière de données. Des équipes multidisciplinaires dotées de connaissances spécialisées. Les coûts peuvent inclure l'achat de logiciels spécifiques. Moyen
Séquences multiples	SDE	Une compréhension explicite des liens de cause à effet entre les facteurs de stress et les composantes devrait sous-tendre tout modèle. Élevé	Les SDE sont considérés comme des pratiques exemplaires. La qualité des données probantes à l'appui des liens détermine le niveau d'incertitude du modèle. Moyen	Les modèles des SDE peuvent être conçus par une série de parties prenantes sur la base des données et des connaissances disponibles. Élevé
	FPEIR	Approche souple de structuration des problèmes pouvant s'appliquer à une variété de contextes. Modèle axé sur les politiques. Élevé	Application pratique limitée; la plupart des évaluations sont semi-quantitatives. Moyen	Ce modèle est souple et peut être adapté aux ressources disponibles. Élevé
	Réseaux de croyance bayésiens (BBN)	L'application est limitée aux problèmes marins, mais ces modèles apparaissent comme une solution dans des contextes où les données sont limitées. Élevé	L'incertitude est explicitement abordée. Élevé	Les modèles BBN peuvent combiner des données empiriques et des connaissances d'experts. Élevé
	Spatialement explicite	Approche de modélisation globale qui évalue les effets des effets cumulatifs dans l'espace. Élevé	Des études de cas bien documentées dans la littérature. L'incertitude est habituellement documentée. Élevé	Ces modèles exigent des compétences particulières (modélisation spatiale et stochastique) et sont plus axés sur les données que les autres modèles à séquences multiples. Moyen



5.2 Application à l'Initiative sur les effets cumulatifs du transport maritime

5.2.1 Aperçu

Cette section décrit la façon dont les méthodes pourraient être appliquées à l'Initiative sur les effets cumulatifs du transport maritime (ECTM). Tableau 5.3 donne un aperçu de l'application des méthodes d'évaluation. Dans la colonne « Application générique », nous avons documenté l'utilisation générale prévue de la méthode. Afin de fournir des exemples d'application plus concrets et plus pertinents pour Transports Canada, nous avons inclus un « exemple précis de la façon dont l'initiative ECTM pourrait utiliser des méthodes dans chaque catégorie ». Il s'agit de cas hypothétiques dans lesquels des méthodes pourraient être appliquées à l'évaluation des effets cumulatifs des activités de navigation maritime au Canada. Enfin, la dernière colonne à droite donne des exemples de méthodes spécifiques et d'outils connexes.



Tableau 5.3. Aperçu de l'application des méthodes d'évaluation évaluées

Catégorie	Application générique	Exemple précis de la façon dont l'initiative ECTM pourrait utiliser les méthodes dans chaque catégorie	Méthodes et outils connexes
Spatiale	Cartographier l'emplacement et l'intensité des facteurs de stress de la navigation maritime	À l'aide des données du SIA, l'information sur la densité des bâtiments peut être utilisée pour déterminer de façon spatiale l'ampleur des divers facteurs de stress associés aux déplacements en eau libre. En reliant ces données spatialement explicites à des modèles liés aux facteurs de stress, on peut ensuite examiner l'ampleur estimée des facteurs de stress ainsi que l'emplacement des centres de risque afin de déterminer les zones géographiques préoccupantes. Par exemple, le bruit sous-marin pourrait être modélisé en fonction de la densité du trafic, et cette information pourrait ensuite être superposée à l'information sur la répartition des mammifères marins.	Outils : ArcGIS, QGIS, SeaSketch
	Cartographier l'emplacement des observations	En ce qui concerne l'exemple des facteurs de stress dans la rangée ci-dessus, les cartes des lieux d'observation des mammifères marins et de l'habitat essentiel des mammifères marins (tel qu'identifié par le MPO) pourraient être superposées à l'information sur la densité des bâtiments pour déterminer les zones géographiques préoccupantes. Cette information peut ensuite servir à déterminer les domaines dans lesquels des travaux supplémentaires pourraient être nécessaires pour surveiller et/ou modéliser les effets.	Outils : ArcGIS, QGIS
Analytique	Déterminer la distribution spatiale des CV d'intérêt. Élaborer des modèles d'évaluation du caractère propice de l'habitat afin de pouvoir prédire les distributions en fonction des caractéristiques de l'habitat.	Les observations sur les loutres de mer pourraient servir à désigner leur domaine vital à différentes périodes de l'année et à différents moments de leur cycle de vie. Cette information pourrait être utilisée pour éclairer les décisions et les restrictions relatives aux déplacements des bâtiments dans le temps pendant les périodes les plus vulnérables. Si les données le permettaient ou si un financement pouvait être obtenu pour la surveillance, des renseignements supplémentaires sur l'habitat pourraient être utilisés pour produire un modèle d'évaluation du caractère propice de l'habitat. Cela permettrait aux chercheurs de faire des prédictions sur les distributions spatiales dans des endroits sans observations directes ou selon d'autres scénarios futurs.	Méthodes : Répartition de l'utilisation, modélisation du caractère propice de l'habitat Outils : Langage de programmation R, logiciel USGS HSI
	Effectuer des évaluations des risques pour déterminer les secteurs ou les séquences hautement prioritaires où l'exposition et les conséquences sont élevées.	L'initiative ECTM permettrait de réaliser des évaluations des risques pour les CV prioritaires dans chaque région afin de déterminer les séquences de facteurs de stress-CVs où le risque est le plus élevé. Cela permettrait aux régions de concentrer leurs efforts de surveillance et de modélisation sur un plus petit	Méthodes : Évaluation des risques Outils : EcoFate



Appendice C

		<p>sous-ensemble de CV prioritaires qui sont les plus vulnérables aux facteurs de stress observés dans chaque région.</p> <p>Par exemple :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dans l'Arctique, une évaluation des risques pourrait être utilisée pour déterminer quelles sont les préoccupations (p. ex., l'augmentation des effets du trafic maritime sur la sécurité alimentaire) soulevées par les communautés autochtones et les intervenants qui sont les plus à risque en raison des activités maritimes actuelles ou accrues. • Dans la baie de Fundy, l'évaluation des risques pourrait servir à déterminer quelles espèces préoccupantes sont les plus menacées par les déversements d'hydrocarbures, l'une des principales sources de préoccupation dans cette région. 	
Séquence unique	Quantifier l'ampleur et la nature des relations fonctionnelles entre les facteurs de stress et les CV (c.-à-d. les séquences).	<p>La quantification de l'effet des déplacements en eau libre sur les colonies d'oiseaux nicheurs aiderait à prendre des décisions éclairées sur ce qui constitue un excès. Dans de nombreux cas, la relation fonctionnelle entre un stress et une réponse observée dans une CV est non linéaire, c'est-à-dire qu'il peut y avoir des points de basculement. Dans cet exemple, il est possible qu'il y ait un certain nombre de perturbations qui sont tolérées avant qu'un nid ne soit abandonné. Une fois ces relations fonctionnelles quantifiées, elles peuvent être intégrées dans des modèles de simulation qui établissent un lien entre d'autres scénarios de facteurs de stress et les réactions de la population ou de l'écosystème.</p>	<p>Méthodes : Régression</p> <p>Outils : Langage de programmation R</p>
Séquences multiples	Déterminer l'importance relative des séquences (c.-à-d., les déterminants du système).	<p>Une approche fondée sur le poids de la preuve pourrait être utilisée pour déterminer les séquences les plus préoccupantes pour les populations de bélugas dans le fleuve Saint-Laurent. Pour ce faire, il faudrait recueillir les meilleures données disponibles sur les facteurs de stress potentiels (p. ex., le bruit, les collisions, les déversements d'hydrocarbures, le tourisme, les eaux usées des bâtiments, les changements climatiques) et les populations de bélugas. Si un ou deux facteurs de stress se démarquent, ils peuvent alors être classés par ordre de priorité dans les futurs efforts de surveillance et de modélisation. De plus, toute information sur l'ampleur et la nature de la relation fonctionnelle pourrait être intégrée aux futurs efforts de modélisation ou d'atténuation décrits dans l'exemple de la voie unique.</p>	<p>Méthodes : Régression, arbre de classification et de régression, algorithme de forêts, ACP, approche du poids de la preuve (APP)</p> <p>Outils : Langage de programmation R</p>



Appendice C

Modélisation		Facteur de stress	Modélisation de l'ampleur ou de la répartition du facteur de stress associé à une activité particulière.	L'effet du mouillage sur une ancre dans le nord de la C.-B. pourrait être étudié en modélisant d'abord la perturbation du substrat ou « empreinte d'ancrage » pour des bateaux individuels dans différentes conditions (p. ex., marée, vent, courant) et en l'utilisant ensuite pour évaluer la perturbation actuelle ainsi que d'autres scénarios futurs. Cette information pourrait par la suite être superposée à l'information sur la CV ou sur la répartition de l'habitat pour éclairer l'ampleur de l'effet (c.-à-d., l'évaluation d'une voie unique).	Modèles sonores : RAM, RANDI, NONM, NEMES Modélisation des déversements d'hydrocarbures : MOTHY, MEDSLIK, MEDSLIK-II, POSEIDON-OSM, SAMSON, H3D, SPILLCALC Émissions : OIEN
Composantes valorisées	Simuler comment un ou plusieurs facteurs de stress peuvent affecter une composante écologique de l'environnement à l'échelle de l'espèce, de l'habitat ou de l'écosystème.	Un modèle du cycle de vie du saumon pourrait être élaboré pour éclairer les analyses de viabilité des populations. Autrement dit, divers paramètres du cycle de vie (p. ex., la survie des jeunes) pourraient être ajustés pour évaluer les effets à long terme sur la population. Ce modèle pourrait, par la suite, être lié à des modèles de facteurs de stress pour évaluer les réactions de la population à d'autres scénarios de gestion (c.-à-d., des modèles à séquence unique ou à séquences multiples).	Un modèle de viabilité des populations. Autrement dit, divers paramètres du cycle de vie (p. ex., la survie des jeunes) pourraient être ajustés pour évaluer les effets à long terme sur la population. Ce modèle pourrait, par la suite, être lié à des modèles de facteurs de stress pour évaluer les réactions de la population à d'autres scénarios de gestion (c.-à-d., des modèles à séquence unique ou à séquences multiples).	Méthode : Analyse de viabilité de la population (AVP) Méthode/outils : ECOPATH avec ECCOSIM (EwE), Atlantis	
Voie unique	Établir un lien entre les facteurs de stress et des composantes spécifiques en simulant le processus par lequel les effets se produisent d'un lien à l'autre le long d'une voie particulière.	Un modèle unique de facteur de stress pourrait être généré qui décrit la position et le mouvement des pétroliers à différentes périodes de l'année afin de recenser les zones qui ne sont effectivement plus disponibles pour la pêche. Cela pourrait ensuite être lié à un deuxième modèle qui décrit les possibilités de pêche théoriques (c.-à-d., les ouvertures spatiales et temporelles ou les zones d'utilisation traditionnelle). La combinaison de ces deux modèles pourrait être utilisée pour évaluer les possibilités de pêche actuellement perdues et les scénarios futurs possibles selon différentes options d'atténuation.	Un modèle unique de facteur de stress pourrait être généré qui décrit la position et le mouvement des pétroliers à différentes périodes de l'année afin de recenser les zones qui ne sont effectivement plus disponibles pour la pêche. Cela pourrait ensuite être lié à un deuxième modèle qui décrit les possibilités de pêche théoriques (c.-à-d., les ouvertures spatiales et temporelles ou les zones d'utilisation traditionnelle). La combinaison de ces deux modèles pourrait être utilisée pour évaluer les possibilités de pêche actuellement perdues et les scénarios futurs possibles selon différentes options d'atténuation.	Méthode : Liaison des modèles de facteurs de stress simples et des modèles de CV Outils : Modèle 3MT Sim, logiciel SIMAP	
Séquences multiples	Des cadres de structuration des problèmes qui peuvent s'appliquer à n'importe quelle combinaison de facteurs de stress et de composantes valorisées pour comprendre	De même, un modèle de voie peut combiner un modèle de propagation du bruit sous-marin avec un modèle de distribution des cétacés sensibles pour évaluer les effets potentiels de l'augmentation du bruit attribuable au trafic maritime. Les modèles de collision avec les bâtiments fonctionnent de la même façon, combinant les données sur le trafic et la répartition de certaines espèces pour évaluer le risque d'abordages.	De même, un modèle de voie peut combiner un modèle de propagation du bruit sous-marin avec un modèle de distribution des cétacés sensibles pour évaluer les effets potentiels de l'augmentation du bruit attribuable au trafic maritime. Les modèles de collision avec les bâtiments fonctionnent de la même façon, combinant les données sur le trafic et la répartition de certaines espèces pour évaluer le risque d'abordages.	Méthodes : FPEIR, BBN, SDE, modèles spatialement explicites	



5.2.2 Études de cas

Nous avons choisi des exemples pertinents tirés de la documentation qui illustrent l'application des méthodes d'évaluation dans un contexte pertinent pour Transports Canada. Tableau 5.4 dresse une liste donnant une brève description de ces 30 études de cas. La plupart des études de cas utilisent une combinaison de méthodes pour atteindre leurs objectifs. Il ne s'agit pas d'une liste exhaustive, mais plutôt d'une liste d'exemples pertinents fournis pour aider à clarifier comment les méthodes pourraient être appliquées concrètement.



Tableau 5.4. Sélection d'études de cas pertinentes pour l'initiative ECTM

Étude de cas	Catégorie	Orientat-ion	Titre	Description	Citation courte
1	Spatiale	CV	Étude sur le savoir traditionnel de l'aire marine nationale de conservation haïda	Le projet d'étude sur le savoir traditionnel de l'aire marine nationale de conservation Haïda a été lancé dans le but d'étudier et de documenter la culture, les traditions et le savoir haïda liés à l'aire marine Haïda Gwaii (RCS, 2011a). Des entretiens ont été menés auprès de membres des collectivités, dont la plupart étaient des aînés haïdas ayant de longs antécédents de pêche et de cueillette ainsi que de solides racines dans les traditions haïdas. Les entretiens ont été enregistrés, transcrits et l'information a été saisie dans une base de données. L'information spatialement explicite a été cartographiée et numérisée. On a créé des cartes qui compilent des renseignements provenant de plusieurs personnes interrogées au sujet des sites, des zones de pêche et des caractéristiques écologiques importantes. Il en a résulté des rapports contenant une pléthore d'informations sur les zones de récolte traditionnelles, les modes de récolte saisonniers, les sites d'importance culturelle et historique, et des observations sur l'abondance des espèces et les tendances démographiques.	RCS, 2011b
2	Spatiale	CV	Cartographie des CV et socio-économiques	Le Partenariat de planification marine (MaPP), un processus codirigé par 17 Premières Nations et le gouvernement de la province de la Colombie-Britannique, a créé le portail de planification marine MaPP pour appuyer les discussions et les décisions relatives à la planification marine sur la côte de la Colombie-Britannique. Les données ont été compilées en fonction des activités et des facteurs de stress écologiques et socioéconomiques et des CV (p. ex., les populations d'espèces, les habitats, les activités humaines, etc.) et cartographiées de manière à permettre le chevauchement des activités et des facteurs de stress et des CV pour comprendre les zones de chevauchement. La section 6.3.2 traite plus en détail du portail de planification marine MaPP.	MaPP, 2019
3	Analyse	CV	Surveillance des sites culturels par les Premières Nations sur la côte de la Colombie-Britannique	En Colombie-Britannique, les Premières Nations côtières participent à un système de surveillance régionale (SSR), afin de recueillir systématiquement des données qui les intéressent à l'échelle de la région élargie. Dans le cadre du SSR, les Nations ont établi des protocoles de surveillance. Parmi ceux-ci, un protocole sert à documenter l'état des sites culturels, et les changements apportés à ces sites. Les méthodes d'évaluation des sites culturels servent à documenter l'emplacement et les caractéristiques du site, les effets touchant le site au fil du temps, ainsi que les menaces auxquelles il fait face. Les méthodes vont de pair avec celles établies par la province de la Colombie-Britannique pour dresser la liste des sites archéologiques. Elles permettent la mesure qualitative et quantitative de l'état et des changements.	Hoshizaki (2016) Secteur de l'archéologie de la C.-B. (2015) C.-B. (2000)
4	Spatial/analytique	Séquences	Cartographie des effets cumulatifs dans les eaux du Pacifique au Canada	Cette étude a été réalisée pour mieux comprendre les multiples facteurs de stress le long de la côte de la Colombie-Britannique. Les données régionales actuelles sur l'utilisation humaine qui ont été utilisées comprenaient l'emplacement et l'intensité de l'activité humaine, les types de facteurs de stress attribuables à l'activité, l'incidence relative des activités sur l'habitat, ainsi que la distance sur laquelle les effets sont observés. En outre, le jugement de spécialistes a servi à évaluer des cotes de vulnérabilité permettant d'associer le degré d'incidence du facteur de stress sur des types d'habitats particuliers. Au moyen de méthodes tirées d'Halpern et coll. (2008), une cote d'effets cumulatifs a été produite pour trois catégories d'habitat (benthos, poissons pélagiques en eaux peu profondes et poissons pélagiques	Ban et coll. (2010)



Appendice C

Étude de cas	Catégorie	Orientation	Titre	Description	Citation courte
				en eaux profondes), ainsi qu'une cote combinée. Les auteurs ont discuté de l'utilisation de cartes des effets cumulatifs pour prioriser la protection ou le rétablissement de certaines aires et déterminer les interventions éventuelles en matière de gestion.	
5	Spatial/analytique	CV	Principale aire de répartition estivale des épaulards résidents du Sud	Cette étude s'appuie sur les observations des épaulards résidents du Sud faites par le réseau d'observation des cétacés de la Colombie-Britannique afin d'évaluer l'aire de répartition principale estivale, au moyen d'une approche non paramétrique désignée par le nom d'estimation à noyau de densité (Worton, 1989). Elle superpose ensuite l'information tirée d'un modèle de bruit régional sur l'aire de répartition principale estivale, afin de déterminer l'endroit où l'exposition au bruit est la plus intense.	Cominelli et coll. (2018)
6	Spatial/analytique	CV	Modèle d'évaluation du caractère propice de l'habitat du saumon dans la mer des Salish	La Fondation du saumon du Pacifique cherche à créer un modèle d'évaluation du caractère propice de l'habitat du saumon dans la mer des Salish.	Villy Christensen, comm. pers.
7	Analytique	CV	Logiciel de l'USGS pour l'indice de qualité de l'habitat	L'USGS propose un logiciel prêt à l'emploi pour l'indice de qualité de l'habitat (IQH), afin de calculer les valeurs de l'IQH pour des espèces sélectionnées au moyen de variables de mesures de l'habitat sur le terrain. L'organisme a publié des valeurs de l'IQH pour de nombreuses espèces.	https://pubs.er.usgs.gov/publication
8	Spatial/analytique/mo-délisation	Séquences	Évaluation des risques des CV concernant les BPC dans la baie de San Francisco	Le modèle de bioaccumulation des biphenyles polychlorés (BPC) dans le réseau trophique dans la chaîne alimentaire de la baie de San Francisco calcule la répartition spatiale des concentrations de BPC dans un certain nombre d'organismes (poissons, mammifères, oiseaux et invertébrés) se trouvant dans la baie de San Francisco. Les résultats de ce modèle peuvent ensuite être comparés aux concentrations seuils, afin d'établir les cas où la conception est excédentaire. On peut déterminer le risque d'exposition connexe des CV, ainsi que les risques que pose la bioaccumulation pour la santé humaine et d'autres espèces des niveaux trophiques supérieurs.	Gobas et coll. (2010)
9	Analytique/mo-délisation	Séquences	Outil d'évaluation des risques pour évaluer l'exposition des CV à la pollution atmosphérique	Le système d'évaluation des substances de l'Union européenne (EUSUS) est un programme informatique d'évaluation des risques écologiques qui réalise des évaluations de la pollution atmosphérique d'une manière systématique. Il réalise tout d'abord une évaluation de l'exposition en fonction des concentrations estimatives qui pourraient avoir une incidence sur les composantes valorisées, y compris des modèles qui tiennent compte des propriétés de la substance rejetée, sa répartition, ainsi que l'exposition directe des CV à celle-ci. Ensuite, il réalise une évaluation des effets, comprenant la détermination des risques et la relation entre la dose de la substance et la gravité de ses effets sur les CV. Finalement, il caractérise le risque en fonction des résultats obtenus aux étapes 1 et 2 du modèle.	Manuilova (2003)
10	Spatial/analytique	Séquences	Évaluation des risques axée sur un SIG appliquée aux écosystèmes marins	Le projet Plan4Blue (du SYKE Finnish Environmental Institute) emploie une méthode d'évaluation des risques axée sur un SIG qui évalue, de manière cumulative, le risque en fonction de la répartition et de la vulnérabilité des CV, ainsi que de la répartition des pressions anthropiques. Ce projet a pour objectif	Herkul et coll. (2017)



Appendice C

Étude de cas	Catégorie	Orientat-ion	Titre	Description	Citation courte
11	Analytique/mo-délisation	Séquences	Logiciel EcoFate pour réaliser des évaluations du risque écosystémique que posent les émissions chimiques pour l'écosystème aquatique	de déterminer les pratiques exemplaires en ce qui a trait à l'exploitation durable des écosystèmes et ressources marins. EcoFate est un logiciel qui intègre une évaluation des risques écosystémiques des émissions chimiques dans un cadre des effets cumulatifs. Le logiciel peut simuler des émissions de source ponctuelle ou autre dans les écosystèmes d'eau douce et marins (notamment les lacs, les rivières et les ruisseaux). Il évalue les effets d'une concentration particulière de polluants sur l'ensemble de l'écosystème aquatique (eau, sédiment et biote), lorsque cette concentration dépasse un ensemble de critères environnementaux. Le modèle tient aussi compte de la bioaccumulation dans le réseau trophique et les risques pour la santé humaine. Il peut être exécuté au moyen de scénarios chronologiques et en état stationnaire.	Gobas et coll. (1998)
12	Analytique	Séquences	Analyse de régression et APP pour évaluer l'effet de différents facteurs de stress sur le saumon rouge	La Commission d'enquête Cohen sur le déclin du saumon rouge du fleuve Fraser a utilisé une analyse de régression multiple pour associer 13 facteurs de stress à différentes étapes de la vie du saumon rouge. Une série de modèles plausibles a été produite a priori, afin d'évaluer différentes relations fonctionnelles et des effets éventuels sur l'interaction. L'analyse de régression a été utilisée dans le cadre d'une approche élargie axée sur la valeur probante de la preuve, afin d'évaluer la probabilité que le déclin soit attribuable à chaque facteur de stress.	Marmorek et coll. (2011)
13	Analytique	Séquences	Utilisation d'un algorithme de forêts aléatoires pour déterminer les facteurs de stress dominants des poissons dans les estuaires européens	Teichert et coll. (2016) ont utilisé un algorithme de forêts aléatoires pour évaluer l'influence de multiples facteurs de stress sur la qualité écologique des poissons dans les estuaires européens. L'approche leur a permis de déterminer les facteurs de stress dominants dans les estuaires, en plus d'évaluer la nature des relations (p. ex., additive, synergique ou antagoniste).	Teichert et coll. (2016)
14	Analytique	Séquences	APP pour évaluer les effets de projets hydroélectriques au fil de l'eau sur les salmonidés	La Fondation du saumon du Pacifique a utilisé une APP pour évaluer des projets hydroélectriques au fil de l'eau et leurs effets sur les espèces de salmonidés en Colombie-Britannique.	Connors et coll. (2014)
15	Analytique/mo-délisation	Séquences	Effets de la circulation maritime sur l'accès aux possibilités de pêche	Des données du SIA sur la circulation maritime ont été analysées pour quantifier l'emplacement et la taille des aires dans lesquelles il n'est plus possible de pêcher en raison de la circulation des bâtiments à différentes époques de l'année. Ces données ont ensuite été comparées à l'ouverture des pêches (en fonction de l'espace et du temps) dans le territoire traditionnel de la Première Nation de Musqueam. Une analyse de régression a été utilisée pour quantifier l'ampleur des effets sur les possibilités de pêche au saumon, au crabe et à la crevette de la Première Nation de Musqueam. Grâce à la quantification de ces relations, les auteurs ont été en mesure de caractériser l'état actuel des effets, et d'évaluer les effets éventuels dans le cadre de différents scénarios de développement. L'analyse a aussi permis aux auteurs d'évaluer les effets relatifs associés à différents types de bâtiments. Cette connaissance améliorée de l'état historique, actuel et dans un futur potentiel est essentielle pour permettre à la Première Nation de Musqueam de prendre des décisions éclairées au sujet des activités futures.	Nelitz et coll. (2018)



Appendice C

Étude de cas	Catégorie	Orientation	Titre	Description	Citation courte
16	Modélisation	Facteur de stress	Bruit cumulatif sous l'eau	Cette étude utilisait une procédure de modélisation du bruit cumulatif, afin de déterminer la part de bruit des bâtiments dans la répartition du niveau de bruit de fond dans la mer des Salish. Les niveaux de bruit modélisés (au moyen du modèle MONM créé dans le cadre du projet NEMES) ont été calculés afin d'évaluer l'exposition au bruit des épaulards résidents du Sud et d'autres espèces marines dans la mer des Salish.	O'Neil (2017)
17	Modélisation	Facteur de stress	Évaluer et cartographier les effets du bruit sous l'eau	Cette étude de cas présente un modèle probabiliste et un cadre de cartographie (RANDAM) qui intègre la variabilité intrinsèque et les incertitudes associées au bruit attribuable à la navigation et ses effets sur les habitats marins. Le modèle a été appliqué pour évaluer les effets des changements à l'environnement acoustique sur les habitats marins dans l'Arctique.	Aulancier et coll. (2017)
18	Modélisation	Facteur de stress	Effets du bruit cumulatif sous l'eau sur les épaulards	En fonction d'un simple modèle de transmission du son et des données de suivi des bâtiments (SIA), cette étude a évalué l'énergie acoustique cumulative sous l'eau de la navigation dans la zone économique exclusive de l'Ouest canadien, montrant des niveaux de bruit élevés dans les habitats essentiels des épaulards résidents du Sud en voie de disparition.	Erbe et coll. (2012)
19	Modélisation	Facteur de stress	Évaluer les perturbations au substrat attribuables à l'ancrage	Au moyen de données du SIA, cette étude a cherché à évaluer les effets de l'ancrage au large de la côte de la Nouvelle-Galles-du-Sud, en Australie, en analysant les empreintes en forme d'arc laissées par l'ancrage à long terme sur le fond marin.	Davis et coll. (2016)
20	Modélisation	CV (mono-spécifique)	Comprendre les effets cumulatifs au sein de la population d'épaulards résidents du Sud	Ce document décrit une analyse de la viabilité de la population des épaulards résidents du Sud dans l'ouest du Pacifique, afin d'étudier les trajectoires démographiques possibles et l'importance relative des facteurs de stress anthropiques.	Lacy et coll. (2017)
21	Modélisation	CV (écosystème)	Effets de la perturbation du substrat sur les communautés benthiques	Raoux et coll. (2017) a appliqué Ecopath pour évaluer les effets du développement de parcs éoliens sur la structure trophique des communautés benthiques; une voie qui pourrait être appropriée pour évaluer les effets d'un mouillage sur une ancre ou d'une épave.	Raoux et coll. (2017)
22	Modélisation	VC (écosystème)	Effets du bruit sous-marin au niveau de l'écosystème	Cette étude a utilisé un modèle spatialement explicite (EwE/Ecospace) pour simuler les effets du bruit sous-marin de la navigation sur le comportement de prédation des marsouins communs et pour évaluer la manière dont ces effets peuvent se manifester sur la biomasse et les interactions trophiques avec d'autres espèces de la communauté.	Harvey (2018)
23	Modélisation	Séquence unique	Prévision des effets des collisions avec des baleines dans le Pacifique	Modèle spatialement explicite combinant des informations spatiales sur l'abondance des espèces avec des données de navigation (utilisant des données du SIA ou d'autres ensembles de données sur le trafic maritime) pour estimer la probabilité relative des interactions entre bâtiments et baleines à l'aide de modèles additifs généralisés.	Williams et O'Hara (2009)
24	Modélisation	Séquence unique	Évaluation des risques de collision avec des bâtiments dans l'estuaire du Saint-Laurent	Le 3MTSim est un modèle socio-écologique élaboré pour l'estuaire du Saint-Laurent (Chion et coll. 2017), qui simule les mouvements de bateaux individuels (2D) et de mammifères marins (3D). La principale application de ce modèle consiste à évaluer l'incidence de différents scénarios de gestion du trafic sur les mammifères marins et les activités de transport dans la région.	Chion et coll. (2017)



Appendice C

Étude de cas	Catégorie	Orientation	Titre	Description	Citation courte
25	Modélisation	Séquence unique	Évaluation des effets de la marée noire sur des groupes d'espèces fonctionnels	Cette étude a appliqué l'outil de modélisation SIMAP (Spill Effect Model Application Package), un modèle couplé sur le devenir et les effets des hydrocarbures qui a été élaboré pour l'estimation des effets sur les habitats, la faune et les organismes aquatiques découlant d'une exposition aiguë aux hydrocarbures déversés, à l'étude de cas portant sur l'Exxon Valdez.	Français – McCay (2004)
26	Modélisation	Séquences multiples	Déterminer l'importance relative des séquences à l'aide de la SaE	Stephenson et Harwig (2009) ont utilisé un modèle de séquence des effets pour déterminer quelles activités pourraient avoir un effet potentiellement néfaste sur les écosystèmes marins de la mer de Beaufort dans le versant nord du Yukon.	Stephenson et Harwig (2009)
27	Modélisation	Séquences multiples	Évaluation de plusieurs séquences en utilisant un modèle conceptuel et probabiliste basé sur l'opinion d'experts	Ce cadre combine l'élaboration de modèles conceptuels et l'application de réseaux de croyances bayésiennes pour décrire les liens entre les facteurs environnementaux, les activités humaines et les pressions qui en résultent sur la valeur des écosystèmes pour deux écosystèmes marins essentiels de la zone de patrimoine mondial de la Grande barrière de corail australienne : récifs coralliens et herbiers.	Anthony et coll. (2013)
28	Modélisation	Séquences multiples	Modélisation des effets sur les services écosystémiques marins	Kelble et coll. (2013) a appliqué un modèle conceptuel de forces motrices, de pressions, d'état, de service écosystémique et de réponses (EBM-DPSER) à l'écosystème marin dans les Keys de la Floride et de Dry Tortugas en tant qu'étude de cas pour illustrer la façon dont il peut éclairer les décisions de gestion.	Kelble et coll. (2013)
29	Modélisation	Séquences multiples	Utilisation des réseaux de croyances bayésiennes pour évaluer plusieurs séquences	Ban et coll. (2014) a appliqué une méthode de réseaux de croyances bayésiennes pour étudier les effets de multiples facteurs de stress et de nombreuses solutions pour la gestion de l'eau sur les récifs coralliens de la Grande barrière de corail australienne.	Ban et coll. (2014)
30	Modélisation	Séquences multiples	Un réseau de croyances bayésiennes – Le cadre SIG en tant qu'outil pratique pour soutenir la planification marine	Steizenmüller et coll. (2010) a combiné une méthode BBN et des systèmes d'information géographique (SIG) pour visualiser les relations entre les pressions humaines cumulatives, les paysages marins sensibles et la vulnérabilité des paysages, pour évaluer les conséquences d'objectifs potentiels de planification marine et pour cartographier les changements liés aux incertitudes dans les mesures de gestion.	Steizenmüller et coll. (2010)



6 Méthodes transversales

Le présent rapport est consacré aux méthodes d'évaluation (case **Analyse de l'information** de la Figure 6.1), mais il existe plusieurs méthodes applicables de façon plus générale à une EEC et susceptibles de s'appliquer à toutes les méthodes d'évaluation décrites à la section 4.

Le savoir autochtone (SA) peut comprendre les données empiriques (p. ex. les faits observés directement par les détenteurs du SA), les connaissances de spécialiste (p. ex. les conclusions tirées de l'ensemble des connaissances accumulées par un détenteur du SA) et les façons dont le savoir doit être utilisé dans le cadre des processus d'évaluation (p. ex. de quelle manière le SA lui-même, déduit de façon empirique, doit être utilisé conjointement avec des approches spatiales, analytiques ou de modélisation). La section qui suit traite brièvement de l'articulation entre savoir autochtone et évaluation des effets cumulatifs; on y précise comment les communautés autochtones et les détenteurs du savoir doivent être intégrés au processus d'évaluation.

Le jugement des experts sert souvent d'intrant pour les processus EEC, car l'évaluation des effets cumulatifs exige beaucoup de données, compte tenu de la multitude des composantes d'un système socio-écologique. La section qui suit indique brièvement en quoi le jugement des experts est pertinent dans le cadre d'une EEC. Le savoir autochtone et les techniques d'obtention de ce jugement sont d'ailleurs liés, car les détenteurs du SA sont des experts des systèmes dans lesquels ils vivent.

Les résultats des évaluations des effets cumulatifs servant à prendre des décisions, cela peut impliquer le recours à des outils d'aide à la décision (OAD). La section qui suit indique sommairement en quoi ces outils sont pertinents; on y évoque par ailleurs ceux qui peuvent se révéler utiles dans le cadre de l'initiative ECTM.



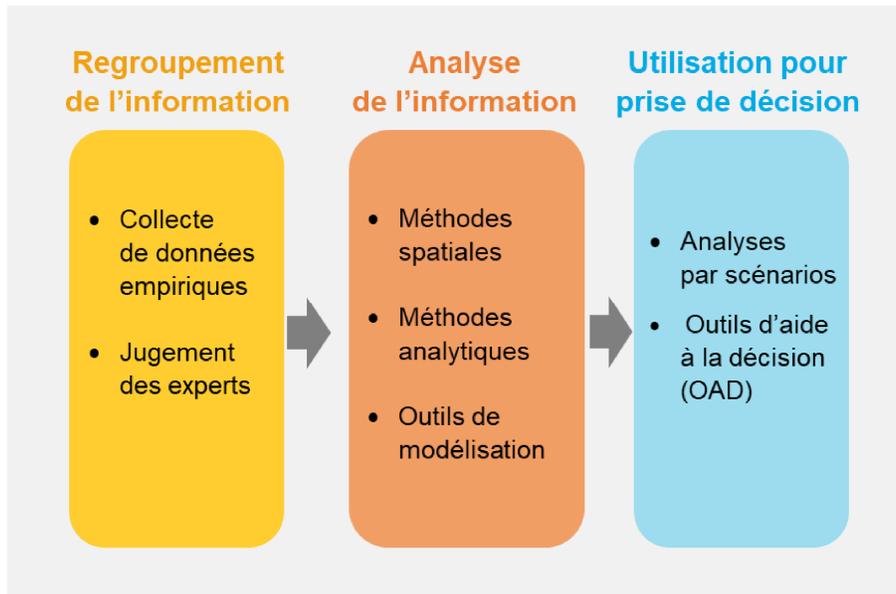


Figure 6.1. Un diagramme conceptuel mettant en évidence comment un cadre peut aider à organiser la manière dont nous regroupons, évaluons et utilisons l'information pour prendre des décisions de gestion. Les cadres d'effets cumulatifs englobent toutes ces étapes et plus encore.

6.1 Savoir autochtone

6.1.1 Aperçu

Le SA est issu d'une multitude d'expériences et de traditions transmises oralement ou par le partage d'expériences pratiques de personnes qui ont vécu dans le milieu naturel pendant des centaines ou des milliers d'années (Burkes 2000; Huntington 2000; Houde, 2007). Le SA englobe des connaissances, des pratiques et des croyances qui sont étroitement liées à la culture, à la spiritualité, aux traditions et à la vision du monde d'un groupe, ainsi qu'à son cadre géographique (Figure 6.2) (Ban et coll., 2018; Berkes, 2018; Houde, 2007). Par ailleurs, le savoir autochtone comprend à la fois ce qui est connu (l'information acquise) et la manière dont on acquiert les connaissances (le processus d'acquisition).

Appendice C

ESSA Technologies Ltd.

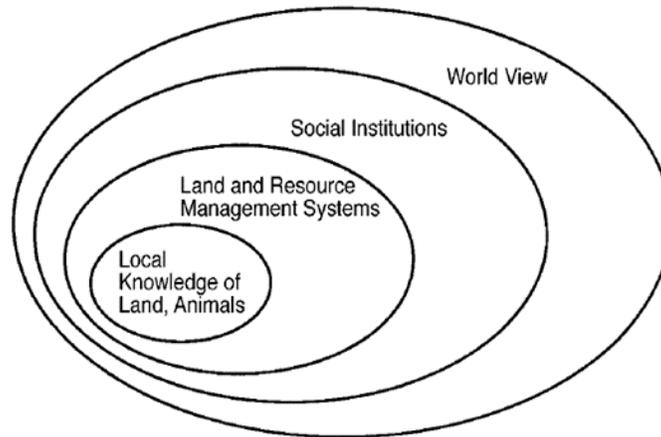


Figure 6.2. Le savoir autochtone englobe les connaissances locales, les systèmes de gestion, les institutions sociales et les visions du monde (Berkes, 2018).

Le SA peut être qualitatif (raisons pour lesquelles une espèce préfère un habitat particulier, par exemple) ou quantitatif (emplacements des habitats sur une carte). Il peut également être empirique (observations ou expériences directes) ou déduit (conclusions tirées à la suite d'un raisonnement). Par « information empirique », on entendra par exemple les emplacements repérés par une personne qui a observé une espèce particulière dans un certain secteur, tandis que par « déductions », on entendra l'information concernant les caractéristiques du type d'habitat que préfère une espèce, tirée de l'ensemble des connaissances accumulées par telle ou telle personne (Berkes, 2018; Kalland, 2003). C'est en cela que les détenteurs du SA sont des experts des systèmes dans lesquels ils vivent.

Cela fait des milliers d'années que les communautés autochtones vivent au sein d'écosystèmes dont elles font d'ailleurs partie intégrante. Aussi le savoir acquis et transmis de génération en génération est-il profondément enraciné dans leur lieu et communauté (Ban et coll., 2018; Berkes, 2018; Nazarea, 2010). De ce fait, le SA présente un intérêt unique : il permet de savoir comment les écosystèmes fonctionnent localement, d'en évaluer l'état et d'orienter les décisions de façon à promouvoir les résultats souhaités à l'intérieur des écosystèmes (Berkes, 2018). Un autre caractère propre au SA est son intégration au contexte moral et éthique (Ban et coll., 2018; Berkes, 2018). Tout cela ne doit pas faire oublier que l'application et l'utilisation du savoir autochtone doivent se faire par ou avec les populations autochtones (Berkes, 2018).

Le SA est précieux en tant que tel mais il peut présenter également de l'intérêt quand on l'utilise en conjonction avec d'autres formes de connaissances. Chaque type de savoir (SA ou connaissances fondées sur la science occidentale) présente des avantages et des limites. Le savoir autochtone, par exemple, peut véhiculer de l'information pendant de longues périodes mais la mémoire humaine en constitue une limite (les faits jugés plus importants et les événements marquants ont plus de chances d'être mémorisés et transmis); de son côté, l'information scientifique occidentale tirée des instruments océanographiques porte sur de courtes périodes mais les mesures s'effectuent 24 heures sur 24, d'où des données particulièrement fines (Ban et coll., 2018; Lewis et coll., 2009). L'information issue de multiples méthodologies aux avantages et aux limites dissemblables mais potentiellement complémentaires peut apporter un meilleur éclairage que ne le fait isolément chaque méthode. La valeur probante des éléments de preuve n'en est que plus grande (Gadgil et coll., 1993; Huntington et coll., 2004; Salomon et coll., 2007; Tengö et coll., 2014; la section 4.3.1.3 contient aussi des détails sur les méthodes qui font appel à la dite valeur probante). Quand le SA est combiné ou entrecroisé avec l'information ou les méthodologies fondées sur la science occidentale, les différents atouts en présence peuvent être utilisés de façon complémentaire afin



Appendice C

d'améliorer les déductions (Ban et coll., 2017). Il existe toutefois un risque d'institutionnalisation du savoir autochtone dans les structures scientifiques occidentales, aussi faut-il veiller à mener les évaluations de concert avec les détenteurs du SA et les communautés intéressées (Berkes, 2018; Mistry et Berardi, 2016).

6.1.2 Pertinence pour l'initiative ECTM

Les collectivités autochtones côtières vivent le long des côtes du Canada depuis des temps immémoriaux. Au cours de cette longue période, ils ont acquis une riche connaissance historique des lieux dont ils ont fait partie et ont élaboré des pratiques de gestion des ressources marines localement pertinentes (Ban et coll., 2017 et 2018). Du savoir autochtone découleront de précieuses informations susceptibles de faciliter la détermination des composantes valorisées de l'écosystème et des interconnexions entre ces dernières et le transport maritime. Quant à décider si le SA doit être appliqué isolément ou peut être combiné à d'autres formes de connaissances, cela dépend du type de savoir que possède la communauté intéressée et de ce qu'elle estime en être le meilleur mode d'utilisation.

Quand on cherche à déterminer, de concert avec les communautés autochtones, comment évaluer les effets cumulatifs et le mode d'utilisation possible du SA, une façon de procéder consiste à déterminer les composantes valorisées et à analyser l'interconnexion des différents composantes du système en jeu. Cette dernière analyse peut se faire selon l'approche RCB (réseau de croyances bayésiennes) exposée à la section 4.4.1.4. Les réseaux de croyances bayésiennes permettent d'intégrer le savoir des autochtones et des experts (considéré comme éléments antécédents) aux données de terrain afin d'essayer de prévoir le comportement du système; on obtient ainsi des résultats plus étayés qu'à l'aide des données de terrain (Ban et coll., 2014). Un exemple portant sur l'utilisation des EEC lors de la prise de décision est celui du modèle de Mauri, un OAD conçu selon une vision du monde autochtone (voir détails à la section 6.3). Concernant l'analyse de l'état des composantes, un autre exemple est donné par l'étude de cas menée par Ban et coll. sur la côte centrale de la Colombie-Britannique (2017). En voici un compte rendu.

6.1.2.1 Étude de cas

Compte tenu des inquiétudes suscitées par la diminution des captures de crabe dormeur par les Premières nations, et comme Pêches et Océans Canada demandait à ces dernières de prouver qu'il existait un problème qui contrariait la satisfaction de leurs besoins alimentaires, sociaux et rituels (ASR), les Premières nations de la côte centrale de la Colombie-Britannique ont entrepris une étude visant à recueillir le SA auprès des pêcheurs autochtones et à modéliser les probabilités de récoltes ASR fructueuses (Ban et coll., 2017).

Au cours des entrevues, les pêcheurs étaient interrogés sur les captures de crabes passées et actuelles, sur l'abondance de ce crustacé constatée autrefois et aujourd'hui, sur le type de matériel de pêche utilisé, sur le nombre de crabes que les pêcheurs souhaitaient consommer chaque année et sur le taux de prise nécessaire à leurs yeux pour que l'expédition ASR puisse être considérée comme fructueuse. Les réponses fournies étaient ensuite utilisées en même temps que les données sur l'abondance locale dérivées de l'information de terrain recueillie peu auparavant, afin de mener des simulations par ordinateur et d'évaluer la probabilité de mener des expéditions de pêche ASR en tel ou tel endroit, compte tenu des niveaux d'abondance actuels. Les résultats ont indiqué que les pêcheurs ont, au fil de leur existence, constaté une variation de l'abondance et que les chances que l'expédition soit fructueuse étaient faibles partout sauf en un endroit.

Cette étude illustre comment la mise à contribution des détenteurs du savoir autochtone peut conduire à une gestion plus éclairée. Sur la question des effets cumulatifs, de tels travaux montrent aussi comment le SA peut servir à mieux comprendre l'état d'une composante valorisée (ici, le crabe dormeur) et s'il existe à son sujet un seuil dont il est important de tenir compte (ici, le nombre de crabes requis pour les pêches menées à des fins ASR).



6.2 Avis d'experts

6.2.1 Aperçu

En l'absence de données empiriques sur la façon dont les différents écosystèmes réagissent à de multiples facteurs de stress, les gestionnaires du milieu marin se sont tournés vers l'utilisation de méthodes de recherche d'avis d'experts afin d'estimer les effets absolus et/ou relatifs des facteurs de stress sur les composantes valorisées (CV). Ce faisant, les approches ont permis d'avoir recours aux experts pour déterminer les composantes valorisées à inclure dans l'évaluation, y compris les activités humaines à inclure, les facteurs de stress qui découlent de ces activités et les composantes du système socio-écologique qui doivent être inclus. On a également sollicité l'avis d'experts pour quantifier la relation entre les différentes composantes du système. Par exemple, l'approche de cartographie des effets cumulatifs élaborée par Halpern et coll. (2008) fait appel à l'avis d'experts pour estimer les niveaux d'effet propres à l'écosystème pour de multiples facteurs anthropiques des changements écologiques.

L'utilisation d'avis d'experts permet de déterminer les principales lacunes en matière de connaissances (p. ex., lorsque les données des CV prioritaires sont limitées), de comparer les estimations des effets entre différents facteurs de stress et CV ainsi que d'établir des priorités pour les domaines sur lesquels les efforts de gestion devraient être axés.

Les méthodes de documentation des connaissances des experts comprennent l'organisation d'ateliers, la réalisation d'entrevues et de sondages (Longhurst 2003, Halpern 2007).

6.2.2 Pertinence pour l'initiative ECTM

Les évaluations des effets cumulatifs nécessitent des données sur les multiples activités humaines et la façon dont elles se rapportent aux multiples composantes du système. En raison de ces multiples ensembles de données, les responsables des évaluations des besoins se heurtent souvent à la question de la disponibilité et de la rareté des données. Les connaissances d'experts dérivées de la collecte de données peuvent compléter les données limitées dans le temps en fournissant une approximation des données sur le terrain à long terme (Singh et coll. 2017).

En l'absence de collecte de données provenant d'études scientifiques ou de savoir autochtone, les connaissances des experts ont été utilisées pour cerner les composantes valorisées d'un système socio-écologique et estimer leur relation. Étant donné que les évaluations des effets cumulatifs comportent intrinsèquement l'examen de multiples facteurs de stress et de multiples composantes valorisées, les besoins en données et les lacunes connexes sont souvent importants, ce qui amène à se fier aux connaissances des experts.

6.2.2.1 Étude de cas

Une procédure de recherche d'avis d'experts a été appliquée pour comprendre l'effet des activités humaines sur les services des écosystèmes marins (Singh et coll. 2017) dans les zones côtières de Tasman et Golden Bays (Nouvelle-Zélande). Dans le cadre d'une procédure d'entretien itérative, on a demandé à des experts de chacun des services écosystémiques analysés d'établir des cotes d'effet et des séquences pour chaque activité ou facteur de stress désigné et de définir des paramètres d'incertitude pour chaque « profil des effets » en découlant.



Appendice C

Examen des méthodes d'évaluation des effets cumulatifs du transport maritime

Rapport final

L'un des résultats de cette analyse a été la cartographie des séquences mécaniques par lesquelles les vecteurs et les facteurs de stress ont un effet sur les services écosystémiques. L'information fournie par les experts lors des entretiens a été organisée de la façon suivante pour créer les séquences : Facteur de stress → Effet sur le service écosystémique. Les profils et les séquences d'effets ont ensuite été combinés pour calculer les effets cumulatifs et élaborer des réseaux de séquences d'effets causales.

Cette étude a utilisé une approche fondée sur le « poids de l'expertise », selon laquelle le nombre d'experts décrivant un parcours spécifique a été enregistré, ainsi que le nombre de fois qu'un lien spécifique a été mentionné. Cette information quantitative a servi à l'élaboration des diagrammes de la « ruche » (Figure 6.3) qui organisent les réseaux de causes et d'effets selon des axes (c.-à-d. les activités humaines, les facteurs de stress ou les écoservices).

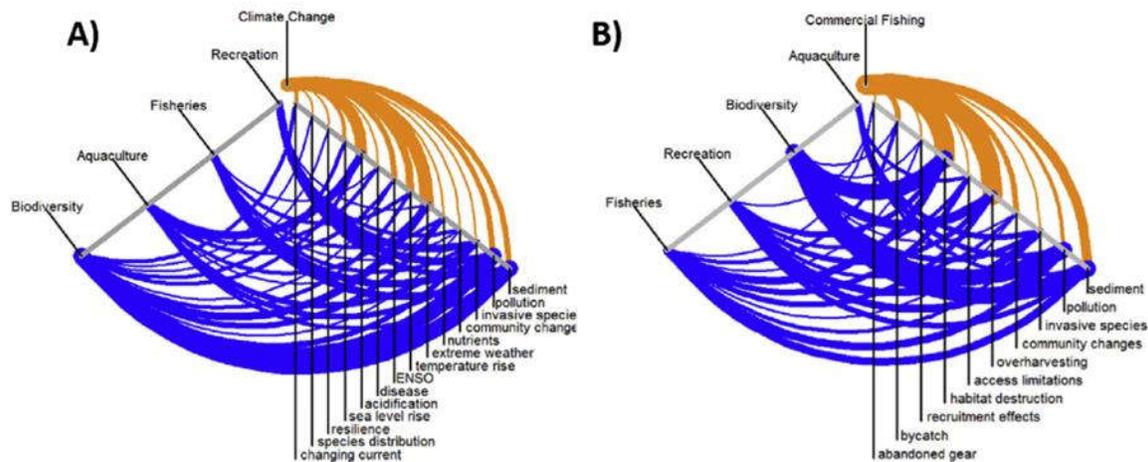


Figure 6.3. Exemple de diagrammes de ruche représentant des réseaux de séquences d'effets de a) changement climatique et b) pêche commerciale. Ces graphiques montrent les facteurs d'effet (axe supérieur) conduisant à divers facteurs de stress (axe inférieur droit, relié par des lignes orange) et les services écosystémiques ayant un effet (axe inférieur gauche, relié par des lignes bleues). L'épaisseur de chaque ligne représente le nombre d'experts qui ont mentionné chaque lien. Les nœuds le long de chaque axe sont organisés en classant les nœuds ayant le plus grand nombre de liens au plus petit (le plus grand nombre de liens à l'extérieur). Source : Singh et coll. 2017

Cette approche pour l'évaluation des effets cumulatifs relie les causes et les conséquences et établit une distinction entre les effets directs et indirects. Elle examine toutes les séquences et peut aider à déterminer quels sont les vecteurs ou les séquences les plus importants. Cela est particulièrement important pour guider les efforts de gestion et de surveillance. Le fait que les effets ne soient pas quantifiés et que l'évaluation ne soit pas spatialement explicite est la principale lacune de cette approche.



6.3 Outils d'aide à la décision

6.3.1 Aperçu

Les outils d'aide à la décision sont des modèles informatiques qui aident l'utilisateur dans la détermination et la prise des décisions de gestion en évaluant d'autres scénarios ou concessions. Ils peuvent être spatialement explicites, intégrer des données provenant de systèmes écologiques, économiques et sociaux et évaluer les progrès accomplis dans la réalisation des objectifs de gestion (Center for Ocean Solutions, 2011). Généralement, les outils d'aide à la décision peuvent être mis en application à un certain nombre d'étapes dans le cadre global, et plus particulièrement à ces étapes : l'élaboration de scénarios de rechange, l'évaluation de scénarios de rechange, l'évaluation des objectifs de gestion et l'étape de perfectionnement pour ces objectifs.

6.3.2 Pertinence pour l'initiative ECTM

Les outils d'aide à la décision (OAD) peuvent appuyer l'évaluation des effets cumulatifs de la navigation maritime de diverses façons, notamment en combinant et en visualisant de multiples ensembles de données, en évaluant les effets du trafic maritime sur les services des écosystèmes, etc. Cette section met en lumière certains de ces outils élaborés pour les contextes marins.

De nombreux OAD ont été élaborés pour le milieu marin afin d'aider les décideurs à utiliser les résultats des analyses des effets cumulatifs de façon systématique, de manière à pouvoir tirer des conclusions sur la voie optimale pour atteindre les objectifs de gestion. Plusieurs de ces outils sont accessibles sur le Web, ce qui permet aux personnes de visualiser, de partager et d'effectuer rapidement de nouvelles analyses. Ils peuvent être spatialement explicites et intégrer des données provenant de systèmes écologiques, économiques et sociaux. Les OAD qui pourraient avoir un intérêt pour l'initiative ECTM comprennent ATLANTIS, SeaSketch, Marxan et le modèle des effets cumulatifs Cumulative effects, MIMES ainsi que l'outil de soutien à la prise de décisions en matière de résilience côtière Coastal Resilience. La plupart de ces OAD ont été élaborés expressément pour l'analyse et la gestion des effets cumulatifs dans le milieu marin (ATLANTIS, SeaSketch, Marxan et le modèle des effets cumulatifs). D'autres, comme MIMES, ARIES et Coastal Resilience, peuvent s'appliquer aux écosystèmes marins, même s'ils ne sont pas explicitement conçus pour ces zones. Par exemple, MIMES peut s'appliquer largement à tout écosystème d'intérêt, y compris les écosystèmes marins, à condition qu'il existe des connaissances établies sur la manière dont la navigation maritime influe sur la fourniture de services écosystémiques aux collectivités.

Les avantages et les faiblesses des diverses OAD dépendent des données dont dispose l'utilisateur, de l'ampleur des travaux entrepris et de la complexité du modèle utilisé. Certains OAD ne nécessitent qu'une expertise technique minimale, tandis que d'autres s'adressent à des utilisateurs experts. Figure 6. 4 donne un aperçu de certains des outils d'aide à la décision mentionnés et de leur facilité d'utilisation.



Appendice C

Minimal training or technical expertise	Minimal training and expertise but process objectives must be set in advance	Expert users
InVEST	ARIES	ARIES
MarineMap	Coastal Resilience	Atlantis
Multipurpose Marine Cadastre	Cumulative Impacts	InVEST
	Marxan with Zones	Marxan with Zones
	MIMES	MIMES

Figure 6. 4. Expertise requise pour l'utilisation des divers outils d'aide à la décision. Image tirée du Center for Ocean Solutions (2011).

L'outil d'analyse des modèles intégrés à plusieurs échelles des services écosystémiques **MIMES (Multi-scale Integrated Models of Ecosystem Services)**, mis au point par AFORDable Futures, est un modèle basé sur un SIG qui évalue les services écosystémiques et quantifie le flux des bénéfices pour les collectivités auxquelles ces services sont fournis. Une fois que les services écosystémiques ont été évalués, il est alors possible de quantifier dans quelle mesure les effets néfastes sur l'écosystème, tels que les changements d'utilisation de la terre et de la mer, aboutiront à des effets sur la collectivité, dans une analyse de type compromis. L'outil MIMES peut être appliqué aux écosystèmes à n'importe quelle échelle, allant de locale à mondiale.

Le logiciel **Marxan with Zones**, élaboré par le centre d'écologie (Université du Queensland), est un OAD populaire et une extension du logiciel Marxan largement utilisé. L'outil sert principalement à recenser des aires marines de conservation prioritaires à partir d'une série de sites potentiels et à atteindre des objectifs de biodiversité définis par les utilisateurs en fonction de multiples valeurs écologiques, sociales et économiques, et ce, au moindre coût possible (Game et Grantham 2008). Il le fait en évaluant les problèmes de « conception de réserves » à l'aide d'algorithmes exacts et non exacts (heuristiques) pour produire des solutions optimales et quasi-optimales. Le logiciel Marxan with Zones étend l'analyse en permettant d'attribuer différents niveaux de protection à des aires de conservation identifiées (Watts et coll. 2008).

SeaSketch est un outil de cartographie marine participative en ligne qui permet aux utilisateurs de générer, de partager et de discuter plusieurs plans de gestion ou zones de conservation de recharge spatialement explicites. L'outil a la capacité d'intégrer d'autres outils d'aide à la décision comme les analyses Marxan et les modèles d'effets cumulatifs (section 4.2) afin que la distribution spatiale des zones prioritaires puisse être évaluée quant aux effets cumulatifs. Les rapports de rétroaction générés à partir des cartes des zones d'intérêt définies par l'utilisateur fournissent de l'information sur les habitats protégés, des analyses coûts-avantages de nature économique et socioéconomique et plus encore (www.SeaSketch.org).

Le **modèle d'écosystème ATLANTIS**, mis au point par l'Organisation de la recherche scientifique et industrielle du Commonwealth australien (CSIRO), est un modèle de simulation sophistiqué qui permet d'évaluer différents scénarios environnementaux tels que le changement climatique, les effets humains, les changements d'utilisation des terres, les distributions de la pollution et les effets des parcs éoliens et



Appendice C

ESSA Technologies Ltd.

des vagues sur les écosystèmes marins (Kaplan et coll. 2014). Il utilise des informations spatialement explicites sur des données physiques, chimiques, biologiques et socio-économiques pour simuler la chaîne alimentaire, les processus hydrographiques, les interactions entre les habitats, et plus encore. Il est destiné à servir d'OAD à long terme (Center for Ocean Solutions, 2011).

Le **modèle de Mauri** est un OAD qui évalue quantitativement l'effet des facteurs de stress sur quatre dimensions du « mauri », c'est-à-dire la valeur intrinsèque d'une entité. Le modèle a été élaboré en partant du principe que les décisions concernant la valeur d'une entité ne sont pas viables si l'on ne tient compte que de l'évaluation économique. Il attribue plutôt des valeurs fondées sur une combinaison de mauris écosystémiques, communautaires, culturels et économiques (Peacock et coll. 2012). Ces catégories peuvent être pondérées de manière égale ou permettre une redistribution du poids en fonction des perspectives ou des préjugés des parties prenantes. Le modèle est capable de traiter certains des problèmes typiques cernés dans les évaluations des effets cumulatifs, comme la comparaison des indicateurs en l'absence d'ensembles complets de données, et peut être mis en œuvre pour évaluer les scénarios actuels et futurs.

Voici d'autres exemples d'outils d'aide à la décision pertinents pour le milieu marin :

- L'OAD **Coastal Resilience** est un autre outil de cartographie en ligne, élaboré par The Nature Conservancy. Il fournit aux utilisateurs des informations spatialement explicites sur les écosystèmes côtiers, les considérations socio-économiques et les vulnérabilités communautaires pour les scénarios actuels et futurs (Centre for Ocean Solutions, 2011).
- Le logiciel **Artificial Intelligence for Ecosystem Services (ARIES)** est un outil qui permet de cartographier et de quantifier les actifs environnementaux, ainsi que les effets sur ces actifs découlant du changement climatique ou des changements d'utilisation et de couverture des terres (Center for Ocean Solutions, 2011). Les flux et les séquences des services écosystémiques sont modélisés spatialement et temporellement, ce qui permet aux utilisateurs d'identifier les intersections critiques entre les séquences. Le modèle fonctionne à l'aide d'une suite d'approches incluant les réseaux bayésiens (Section 5.4), l'apprentissage machine et la reconnaissance des formes (Center for Ocean Solutions, 2011).
- **InVEST**, mis au point par le Natural Capital Project, est un ensemble de modèles SIG de source ouverte qui cartographient la valeur des services écosystémiques et effectuent une analyse de compromis pour évaluer comment les aménagements proposés pourraient influencer sur l'écosystème et modifier le flux des valeurs dérivées des écosystèmes. Les extraits de cet outil sont fournis en termes biophysiques ou économiques.

6.3.2.1 Étude de cas

Le Partenariat de planification marine pour la côte nord du Pacifique (MaPP) est un projet visant à élaborer et à mettre en œuvre des plans d'utilisation du milieu marin pour la côte nord du Canada, grâce à la collaboration entre 18 Premières Nations et le gouvernement de la Colombie-Britannique (www.mappocean.org, Initiative de partenariat de planification marine, 2015). L'objectif consiste à formuler des recommandations en vue d'assurer la santé des écosystèmes, le bien-être socioculturel et le développement économique au moyen d'un cadre de gestion axée sur les écosystèmes marins (Initiative de partenariat de planification marine, 2015).

Le MaPP utilise l'outil d'aide à la décision SeaSketch en intégrant avant tout une analyse Marxan pour documenter l'emplacement des zones de grande valeur de conservation dans les cartes générées par SeaSketch (www.seasketch.org). Le « portail de planification marine » qui en a résulté a été utilisé pour



Appendice C

Examen des méthodes d'évaluation des effets cumulatifs du transport maritime

Rapport final

évaluer plusieurs couches de données afin de fournir une vue d'ensemble des options de planification, en tenant compte de composantes importantes telles que les espèces, les habitats, les sites culturels des Premières Nations, etc. (www.coastalfirstnations.ca).

À l'aide de données provenant de l'analyse de la documentation, d'ateliers et de conseils d'experts, Marxan a été utilisé hors ligne pour plus de 170 ensembles de données spatialement explicites contenant des informations écologiques pertinentes afin de produire des cartes fournissant des solutions au problème de gestion cerné. Les résultats ont été téléversés sur l'outil Web SeaSketch. Les utilisateurs de l'outil en ligne SeaSketch ont ensuite été en mesure d'établir et de hiérarchiser les zones de conservation étudiées en fonction du niveau de protection, attribué par l'analyse Marxan, des couches sous-jacentes Marxan. L'extrait de cette intégration est à la fois une carte des zones de conservation classées par ordre de priorité et des cotes quantitatives pour les zones définies par l'utilisateur, en fonction du niveau de protection attribué aux zones.

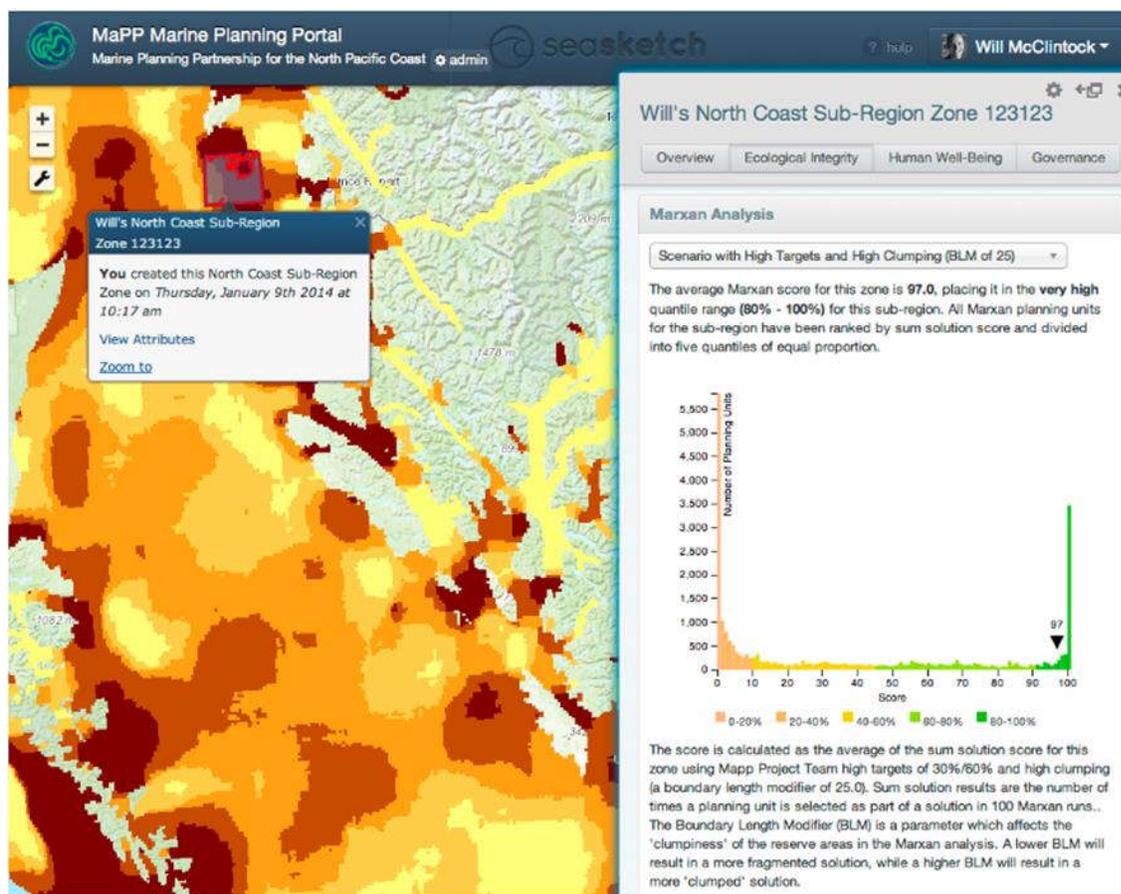


Figure 6. 5. Exemple d'extrait du « portail de planification marine » affichant à la fois la carte SeaSketch et le rapport d'analyse intégré Marxan. Image tirée de <https://www.seasketch.org/case-studies/2013/04/05/mapp.html>.



Appendice C

ESSA Technologies Ltd.

Puisque l'outil d'aide à la décision du portail de planification marine se trouve sur le Web, les résultats sont partageables, ce qui permet une collaboration et des discussions en temps réel entre les parties prenantes (www.SeaSketch.org).



7 Méthodes d'organisation : Cadres d'analyse des effets cumulatifs

7.1 Aperçu

Les cadres rassemblent les différentes stratégies spatiales, analytiques et de modélisation abordées tout au long du présent rapport, et les rassemblent de manière à répondre aux objectifs d'une initiative donnée (voir la figure 6.1). Le cadre d'analyse des effets cumulatifs (AEC) pour l'initiative ECTM devrait aider à préciser quels outils utiliser, quand et à quel stade de l'analyse. Bien que l'analyse de cadres potentiellement utiles dépasse le cadre technique du projet, il est important de réfléchir à la manière dont les méthodes présentées dans ce rapport peuvent être utilisées conjointement. Parmi les exemples de cadres qui pourraient être intégrés à l'AEC, on retrouve l'analyse de scénarios, l'évaluation de la stratégie de gestion et l'évaluation des risques (Rebecca Martone, communication personnelle).

L'analyse du scénario est un processus qui permet de cerner et d'analyser plusieurs résultats futurs potentiels, plutôt que de déterminer un résultat futur unique et précis. Il utilise un ensemble d'hypothèses pour aboutir à plusieurs scénarios de rechange (Hassani 2016). L'analyse de scénario est intégrée à l'étape 3 de l'évaluation (Figure 1.2). **L'évaluation de la stratégie de gestion (ESG)** évalue l'efficacité de différentes combinaisons d'approches de collecte de données, de méthodes d'analyse et de traitement pour atteindre les objectifs de gestion souhaités (Punt et coll., 2014). Les outils d'aide à la décision (OAD) peuvent être utiles lors de l'évaluation des stratégies de gestion (Figure 7.1). En effet, cette approche peut être adoptée afin de déterminer quelle stratégie de gestion, parmi un ensemble de stratégies étudiées, répond le mieux aux objectifs établis. Ce concept devient pertinent à mesure que Transports Canada amorce la phase 4 de l'initiative et commence à examiner les liens explicites avec les leviers de gestion.

Les sous-sections suivantes décrivent plusieurs exemples de cadres pouvant être pris en compte lors de l'élaboration d'un cadre pour l'initiative ECTM. Les deux premiers exemples, la Directive sur la stratégie pour le milieu marin de l'UE et le Cadre des effets cumulatifs de la Colombie-Britannique, peuvent fournir des modèles utiles. Le troisième exemple, « évaluation des risques » est un cadre générique.

7.2 Exemples de cadres d'analyse des effets cumulatifs

7.2.1 Directive sur la stratégie pour le milieu marin de l'UE

La Directive sur la stratégie pour le milieu marin définit un cadre appelé « stratégie pour le milieu marin », qui vise à protéger, préserver et restaurer le milieu marin placé sous la juridiction de l'Union européenne (Commission européenne, 2010). La Directive (2008) définit les objectifs et les approches de fonctionnement du cadre, y compris la consultation, le suivi, le programme de mesures et les rapports (Parlement européen, 2008). Une série de descripteurs du « bon état écologique » des écosystèmes marins est fournie avec des indicateurs largement applicables tels que la répartition des espèces et la taille de la population. Le cadre aborde directement les effets cumulatifs à l'article 8 (Évaluation). Vous trouverez ci-dessous un aperçu du cadre, divisé en chapitres qui met l'accent sur des articles précis présentant un intérêt pour ce projet :



Appendice C

ESSA Technologies Ltd.

Chapitre 1 : Dispositions générales (articles 1 à 7)

Aux *articles 1 à 4* de ce chapitre, l'accent est mis sur la collecte de données, la définition du champ d'application et la désignation des régions d'étude. Les *articles 5 à 7* définissent des stratégies pour le milieu marin régionales, mobilisent la coopération régionale et désignent des autorités régionales chargées de surveiller les progrès. L'*article 5* est particulièrement utile, car il vise à définir la stratégie globale de l'initiative, y compris l'évaluation environnementale, la fixation d'objectifs environnementaux, la mise en œuvre du programme et la mise en place d'un programme de mesures visant à garantir le respect des objectifs.

Chapitre 2 : Stratégies marines : Préparation (articles 8 à 12)

Ce chapitre traite de l'évaluation, de la définition d'environnements sains et de l'établissement d'objectifs en matière de conditions environnementales. Il convient de noter que l'*article 8* vise à évaluer les régions marines concernées et à effectuer des évaluations des effets cumulatifs afin de relever les facteurs de stress prédominants. L'*article 10*, dans lequel les objectifs environnementaux associés aux indicateurs cernés sont établis, est également pertinent. L'*article 11* se concentre sur la mise en place de programmes de surveillance pour faciliter l'évaluation continue de l'état écologique des zones marines de l'étude.

Chapitre 3 : Stratégies marines : Programmes de mesures (articles 13 à 16)

Ce chapitre identifie les programmes régionaux de mesures visant à garantir que les objectifs environnementaux sont atteints (*article 13*); identifie des cas dans lesquels des dérogations aux objectifs de gestion peuvent être appliquées, notamment des contraintes de temps (*article 14*); définit les actions communautaires recommandées pour chaque région (*article 15*) et souligne la nécessité pour les organes directeurs d'évaluer si le cadre répond aux exigences de la directive (*article 16*).

Chapitre 4 : Mise à jour, rapports et information publique (articles 17 à 23)

Ce chapitre décrit la mise à jour des stratégies, la rédaction de rapports intermédiaires, la fixation de périodes de consultation publique, le rôle des communautés finançant les stratégies pour le milieu marin et la nécessité d'un réexamen de la Directive d'ici 2023.

Chapitre 5 : Dispositions finales (articles 24 à 28)

Le chapitre 5 décrit les considérations logistiques à prendre en compte par les organes directeurs compétents en ce qui concerne la Directive et ses objectifs.

Le fait que le cadre cible le milieu marin et que sa portée soit à l'échelle régionale et communautaire est directement pertinent pour l'initiative ECTM. Cependant, sa force réside dans sa vaste applicabilité au-delà de la portée prévue (Roland Cormier, communication personnelle).

7.2.2 Cadre des effets cumulatifs de la Colombie-Britannique

La province de la Colombie-Britannique a élaboré un cadre rigoureux visant les effets cumulatifs afin de résoudre le problème de la gestion durable des ressources en évaluant les activités et les processus naturels susceptibles d'avoir des conséquences sur les valeurs économiques, sociales et environnementales (gouvernement de la Colombie-Britannique, 2017). Le cadre permet de classer les valeurs écologiques cernées en trois volets (dispositions générales, évaluation des effets cumulatifs et gestion des effets cumulatifs), allant des valeurs brutes (telles que des écosystèmes entiers) à des valeurs raffinées (telles que des espèces préoccupantes spécifiques). Un document de politique connexe décrit le processus en quatre étapes du cadre; (1) l'élaboration de protocoles d'évaluation de la CV (y compris la collecte de données, l'élaboration d'un modèle conceptuel et la définition d'indicateurs et de jalons),



Appendice C

(2) l'évaluation de la comparaison des données recueillies selon les jalons définis, (3) la détermination des réponses de la direction, et (4) la prise de décisions de gestion (Figure 7.1) [gouvernement de la Colombie-Britannique, 2017].

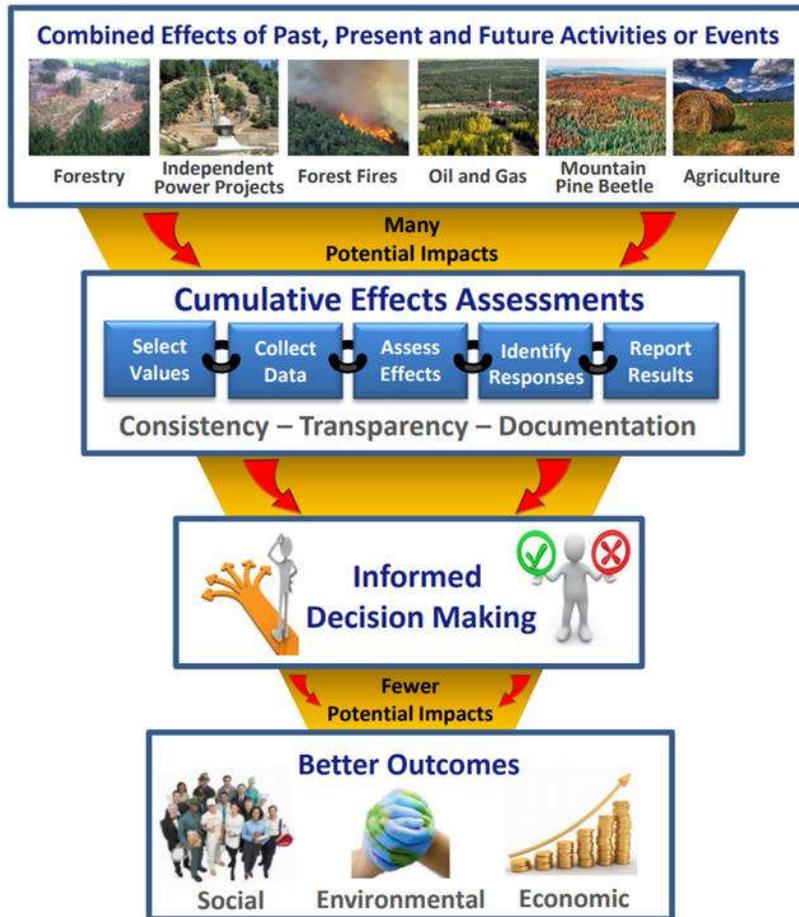


Figure 7.1. Le cadre des effets cumulatifs (gouvernement de la Colombie-Britannique, 2017).

Les objectifs généraux et spécifiques sont considérés séparément dans ce cadre. Des objectifs généraux sont définis par rapport aux jalons cernés, tandis que des déclencheurs de gestion sont utilisés pour évaluer des objectifs de gestion spécifiques. Les déclencheurs de gestion orientent les transferts entre les classes de gestion, en raison de l'effet sur la CV et des changements cumulatifs survenant dans la région (voir la fFigure 7 2 ci-dessous).

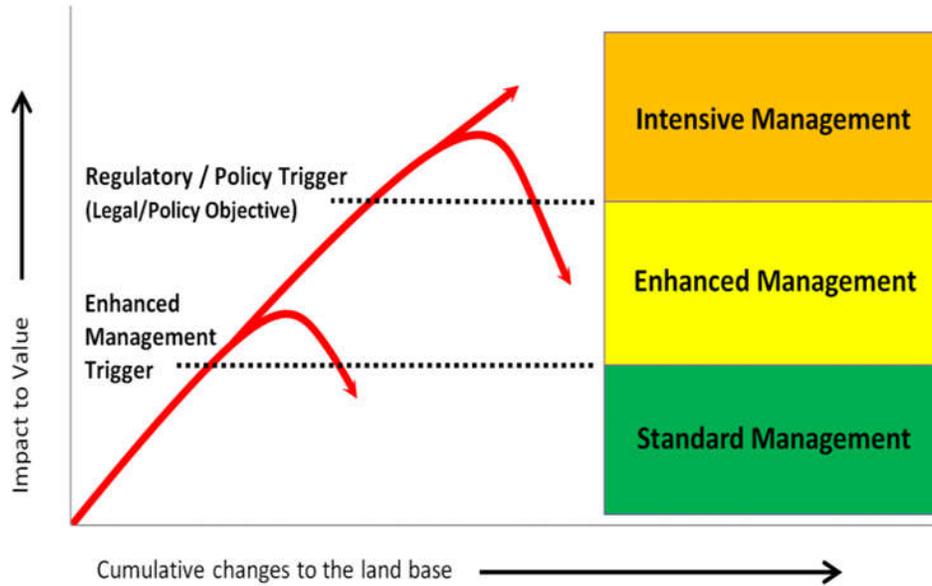


Figure 7.2. Illustration des éléments déclencheurs de la gestion définis dans le cadre des effets cumulatifs de la Colombie-Britannique, politique provisoire (gouvernement de la Colombie-Britannique, 2017).

Bien que le cadre ait été mis au point pour être utilisé dans l'environnement terrestre de la Colombie-Britannique, le cadre sous-jacent pourrait être adapté pour être utilisé dans le milieu marin et pour toute région d'intérêt. Le Partenariat de planification marine a construit son cadre des effets cumulatifs pour qu'il soit conforme au modèle de la Colombie-Britannique.

7.2.3 Évaluation des risques

Dans le cadre plus large des effets cumulatifs, le processus d'évaluation des risques, défini par l'Organisation internationale de normalisation (ISO), comprend l'identification des sources de risques, l'analyse de leurs conséquences et l'évaluation des options de gestion pertinentes (voir aussi Figure 7.3).

Appendice C

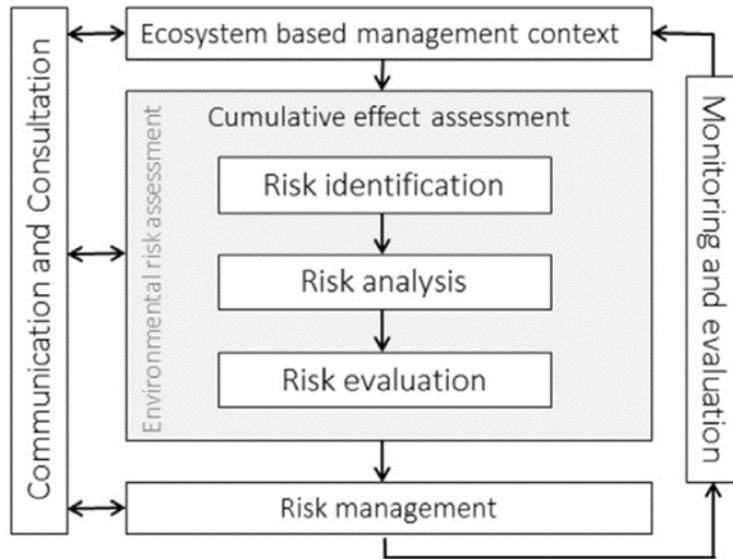


Figure 7.3. Un diagramme conceptuel de la manière dont les évaluations des effets cumulatifs peuvent être intégrées dans un cadre normalisé d'évaluation des risques. Figure tirée de Stelzenmuller et coll., 2018.

L'étape d'« identification des risques » exige l'identification des sources de facteurs de stress (p. ex., la navigation maritime), des stress (p. ex., le bruit) et des CV dans la ou les zones concernées. Ceci est suivi de l'établissement des relations entre chacune de ces composantes à l'aide d'un cadre de causalité souvent associé à des informations géospatiales. Enfin, les niveaux de risque pour chaque CV sont évalués à l'aide d'un système de cotation qui attribue le risque aux CV en fonction d'un ensemble de critères. Cela se fait généralement par le biais de modèles qui utilisent des seuils et des critères pour évaluer et cartographier les risques pour les CV, selon différents scénarios, ou par l'utilisation de données qualitatives et de connaissances spécialisées (Stelzenmuller et coll. 2018).

L'étape suivante consiste en une « analyse des risques » dans laquelle le niveau ou la probabilité de risque est déterminé, et les effets cumulatifs de ces risques sont établis. La plupart des évaluations du risque qui fonctionnent dans un cadre d'AEC y parviennent grâce à la cartographie et à la modélisation SIG, telles que la méthode de modélisation « nœud papillon ». La méthode du nœud papillon décrit les multiples séquences de risque d'un événement et les conséquences multiples de cet événement (voir la fFigure 7.4) [Cormier et coll. 2018]. De rigoureuses analyses à ce stade de l'analyse des risques rendront davantage compte de l'efficacité des décisions de gestion qui sont mises en œuvre (Stelzenmuller et coll. 2018).

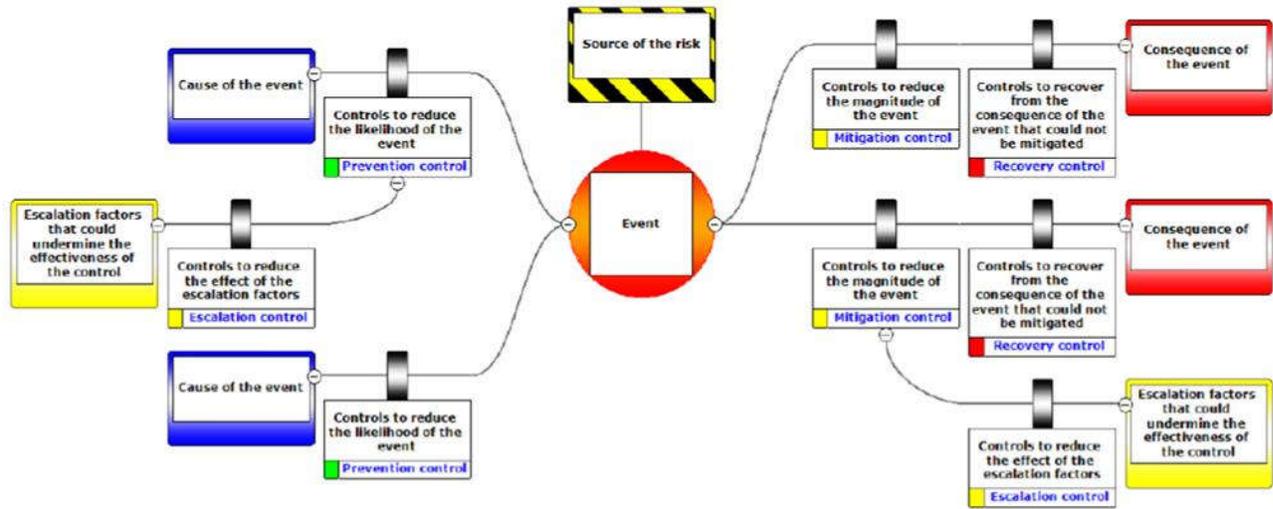


Figure 7.4. Exemple de diagramme conceptuel de la méthode « nœud papillon ». Image extraite de Cormier et coll., 2018.

La dernière étape, à savoir « l'évaluation des risques », compare les résultats de l'analyse des risques aux critères et seuils existants pour déterminer le niveau de risque que les intervenants sont disposés à tolérer. Cette étape nécessite également la réévaluation de la tolérance au risque après la mise en œuvre des décisions de gestion ayant modifié les niveaux de risque.

Un certain nombre de cadres d'évaluation des risques concernent directement des espèces, des actions ou d'autres CV précisées au sein de l'écosystème élargi (voir Grech et coll., 2008; Gobas et coll., 2010; MPO, 2012 et Lawson et Lesage, 2013). Ces approches font généralement appel à une combinaison de modélisation spatiale et d'estimations semi-quantitatives des effets des facteurs de stress. En revanche, plusieurs cadres d'évaluation des risques ont été appliqués de manière plus générale à de nombreuses composantes écologiques (voir Gobas et coll., 1998; Halpern et coll., 2007; Stelzenmuller et coll., 2012; Hobday et coll., 2011; Samhoury et coll., 2012; O et coll., 2015; Herkul et coll., 2017 et Furlan, 2017). O et coll. (2015) remarquent qu'il est utile de procéder à une évaluation à grande échelle pour filtrer les CV, les facteurs de stress et les sources moins importants ainsi que pour permettre aux analyses ultérieures semi-quantitatives et quantitatives d'être mieux ciblées.

La plupart des études d'évaluation des risques réalisées dans un cadre d'effets cumulatifs tendent à appliquer une combinaison de méthodes d'analyse spatiale, d'analyse et de modélisation à un moment donné de leur évaluation des risques. Par exemple, Furlan (2017) a utilisé une cartographie SIG, une analyse multicritères et des enquêtes d'experts pour obtenir des valeurs de risque spatialement explicites, étayées qualitativement et quantitativement. Le Cadre d'évaluation des risques écologiques du MPO et les méthodes décrites dans Stelzenmuller et coll. (2010) fournit des exemples similaires.

Un problème commun auquel se heurtent plusieurs intervenants lors d'analyses des effets cumulatifs demeure celui de l'incertitude du système écologique, en particulier des relations de cause à effet (Stelzenmuller et coll., 2018). Il a été démontré que l'application de l'évaluation des risques à ces analyses réduisait considérablement cette incertitude, en tenant compte du manque de connaissances ou de données limitées sur le niveau de risque prescrit pour une CV (Stelzenmuller et coll., 2010; Hobday et coll., 2011).

7.2.3.1 Exemples

L'attribution du risque se fait généralement au moyen d'outils et de modèles informatisés, d'une évaluation qualitative fondée sur des critères ou d'une combinaison des deux. Cette section énumère un certain nombre d'outils et de méthodes pour les candidats.

Le **Cadre d'évaluation du risque écologique (CARE)** (MPO 2012, MPO 2014, O et coll. 2015) cerne systématiquement et en détail les risques cumulatifs pour les CV. Il s'inscrit dans le cadre plus large de la gestion adaptative (GA) en place au Canada. Il applique une approche progressive, adoptée de Hobday et coll. (2011), qui aboutit progressivement à des estimations du risque par des étapes qualitatives, semi-quantitatives et hautement quantitatives. Même si le CARE a été élaboré pour les CV biologiques, les CV non biologiques peuvent également faire l'objet d'une analyse; ainsi les risques pour les composantes socioculturelles peuvent être évalués (O et coll. 2015).

L'**approche du nœud papillon** tient compte de toutes les sources de facteurs de stress, des facteurs de stress et des CV, de leur distribution spatiotemporelle ainsi que de l'exposition, de l'état et de la sensibilité des CV et des habitats pour évaluer dans quelle mesure un scénario de risque aurait une incidence sur ces CV et habitats, et leurs effets composés (selon les liens établis au stade du cadre causal). Elle vise à identifier les mesures préventives pour réduire le risque qu'un événement se produise (du côté gauche du nœud papillon) et les stratégies d'atténuation et de rétablissement qui peuvent être mises en place si l'événement se produit (du côté droit du nœud papillon) (voir Figure 7.4 ci-dessus) (Cormier et coll. 2018). L'approche peut être mise en œuvre à l'aide d'un logiciel tel que **BowTieXP** (Cormier et coll. 2018).

7.2.3.2 Pertinence pour la navigation maritime

Gimpel et coll. (2013) font remarquer que, compte tenu du contexte spatial de la navigation maritime et de ses répercussions sur les CV, des méthodes d'examen des risques d'un point de vue géospatial sont nécessaires pour caractériser avec précision les liens entre les activités des navires et les CV d'intérêt. La plupart des méthodes et des outils connexes présentés aux sections 4.2, 4.3 et 4.4 pourraient être appliqués dans le contexte de la navigation maritime, et quelques exemples ont été élaborés pour tenir compte des risques liés à la navigation maritime.

La méthode décrite dans Furlan (2017) considère explicitement la navigation maritime comme une source de stress. Lawson et Lesage (2013) ont également tenu compte de la navigation maritime dans leur évaluation des risques; ils ont élaboré un cadre d'évaluation des risques cumulatifs pour déterminer le risque d'impact sur les mammifères marins causé par le bruit, des impacts et des espèces envahissantes liés au développement marin. Le cadre utilise une analyse de la « probabilité d'impact » qui tient compte de la taille de la population de mammifères marins, des densités saisonnières dans la région visée, de l'état de conservation, de l'utilisation de l'habitat et de la sensibilité aux facteurs de stress. Gimpel et coll. 2013 ont analysé le risque de conflits entre le trafic maritime, les zones marines protégées, les pêcheries et le développement de l'énergie éolienne en mer dans le cadre des scénarios de gestion actuels et futurs dans les eaux allemandes de la mer du Nord. Goerlandt et Montewka 2015 ont utilisé la modélisation du réseau bayésien (BBN) pour attribuer de façon probabiliste le risque à différents scénarios de déversements d'hydrocarbures liés aux collisions de pétroliers dans le golfe de Finlande.

Bien qu'elles ne traitent pas directement des risques liés à la navigation, de nombreuses analyses tiennent compte de l'évaluation des risques dans le milieu marin, de façon plus générale : Grech et coll. 2008, Stelzenmuller et coll. 2010, Hobday et coll. 2011, MPO 2012, Samhuri et coll. 2012, Wood et coll. 2012, Cormier et coll. 2013, Lawson et Lesage 2013, MPO 2014, O et coll. 2015, et Herkul et coll. 2017



8 Conclusions

8.1 Principaux enseignements tirés de l'examen des méthodes d'évaluation

8.1.1 Observations déterminantes

- **L'initiative ECTM nécessitera une combinaison de méthodes d'évaluation.** La section 4 résume les diverses méthodes qui ont été appliquées à l'évaluation des effets cumulatifs. À elles seules, la plupart de ces méthodes sont insuffisantes pour effectuer une évaluation complète; cependant, la plupart d'entre elles pourraient être utiles à l'initiative ECTM. Notre examen suggère que les trois catégories de méthodologies (spatiale, analytique et modélisation) jouent un rôle important et peuvent être liées à l'une des étapes d'évaluation indiquées à la Figure 1.2.
 - **Les méthodes spatiales** sont les plus utiles pour évaluer l'état de référence des activités/facteurs de stress ou des CV et pour comprendre comment les CV sont spatialement exposés aux activités/facteurs de stress [étape d'évaluation 1, dans la Figure 1.2].
 - **Les méthodes d'analyse** fondées sur des données empiriques sont utiles pour interpréter les données spatiales afin d'éclairer notre compréhension des principaux besoins en matière d'habitat, d'évaluer les risques et de *quantifier les relations* entre les facteurs de stress et les CV (c.-à-d. les séquences des effets) [étape d'évaluation 2, à la Figure 1.2].
 - **Les méthodes de modélisation** s'appuient sur les deux catégories précédentes et sont nécessaires pour évaluer des *scénarios alternatifs* [étape d'évaluation 3, à la Figure 1.2].
- **L'initiative ECTM tirera également parti de plusieurs méthodes transversales.**
 - Lors d'une EEC, le **savoir autochtone** est irremplaçable. À chaque étape de l'exercice, il est important de mettre les communautés à contribution.
 - L'initiative dépendra étroitement des méthodes d'obtention de l'**avis des experts**, notamment là où les données sont limitées.
 - **Les outils d'aide à la décision**, qui utilisent les résultats de l'étape d'évaluation, dépassent la portée de ce projet, mais devront être pris en compte dans les étapes ultérieures de l'initiative.
- **Les cadres d'évaluation des effets cumulatifs existants peuvent fournir des modèles utiles pour l'initiative ECTM.** En général, les cadres permettent aux décideurs d'intégrer une série de méthodes et d'outils d'évaluation pour évaluer en profondeur les effets cumulatifs des facteurs de stress et relier l'évaluation des effets cumulatifs aux contextes de gestion.
 - **Les cadres d'évaluation des risques** permettent d'évaluer qualitativement et quantitativement l'exposition d'une composante valorisée à un facteur de stress et sa sensibilité. Le cadre peut utiliser des évaluations spatiales et analytiques, le savoir autochtone, l'intervention d'experts, les relations de cause à effet et les résultats de



Appendice C

modèles pour évaluer l'impact relatif de divers facteurs de stress sur les composantes valorisées.

- Des cadres tels que le **Cadre stratégique pour le milieu marin de l'UE** et le **Cadre sur les effets cumulatifs de la Colombie-Britannique** permettent aux évaluations des effets cumulatifs d'aborder explicitement les préoccupations de gestion en définissant clairement les objectifs et les seuils (c.-à-d., ce qui est considéré comme un « bon état écologique »), et de permettre des analyses large ou à fine échelle en présentant des objectifs propres à chaque échelle.
- **Les exemples portant sur les CV sociales étaient moins fréquents dans l'évaluation, mais beaucoup de connaissances s'appliquent aux CV écologiques et sociales.** Bien que les applications des méthodes d'évaluation se soient largement concentrées sur les CV écologiques, les trois catégories sont pertinentes pour évaluer les CV culturelles et socio-économiques. Par exemple, l'Étude sur les connaissances traditionnelles marines des Haïdas (Tableau 5.4) a consisté à cerner dans l'espace l'emplacement de composantes ayant une valeur culturelle (p. ex., les sites de récolte traditionnels). Les communautés autochtones de la côte de la Colombie-Britannique utilisent des méthodes analytiques dans le cadre de leur système de surveillance régionale (Tableau 5.4) pour documenter les changements aux sites culturels. En outre, il existe des modèles d'outils d'aide à la décision, tels que MIMES, le modèle de Mauri, AIRES et InVEST (section 6.3.2), qui tiennent compte des valeurs sociales liées aux services écosystémiques et fournissent des résultats de nature économique. Les effets culturels et socio-économiques sont aussi souvent associés aux CV écologiques. Par exemple, les changements dans la population de l'espèce récoltée peuvent avoir une incidence sur la récolte traditionnelle d'importance culturelle. Dans ces cas, les résultats de l'évaluation des CV écologiques peuvent être utilisés dans l'évaluation des CV culturelles ou économiques.
- **Les activités de navigation maritime sont pertinentes à l'échelle nationale, tandis que les CV et les séquences des effets peuvent différer selon les régions.** Il peut être possible de choisir un seul outil de modélisation pour les facteurs de stress préoccupants (p. ex., hydrocarbures ou bruit) et de les reproduire dans plusieurs régions. Cela permettrait d'améliorer l'efficacité, de renforcer les capacités et de comparer plus facilement les résultats d'une région à l'autre. Cependant, il est probable que différentes méthodes seront nécessaires pour évaluer les CV et les séquences des effets dans chaque région, selon la nature des CV, l'intensité des facteurs de stress, la disponibilité des données locales et la capacité.

8.1.2 Perspectives spatiales

- Les méthodes spatiales sont **l'une des approches les plus courantes** observées dans notre évaluation et devraient être une méthode clé pour l'initiative ECTM.
- Les évaluations spatiales peuvent être particulièrement **utiles au cours des premières itérations** pour préciser la portée des approches (p. ex., identifier les points chauds géographiques) et pour cerner les lacunes en matière d'information.
- Bien qu'il existe de nombreuses façons de recueillir des données spatiales et de nombreuses façons d'utiliser l'information spatiale qui en résulte, à la base des approches spatiales se trouve **une seule méthode simple sur le plan conceptuel** : Cartographier les lieux et les caractéristiques des activités/facteurs de stress et des CV.



- Les déductions ne devraient pas être faites à des **échelles spatiales** qui sont plus fines que ne le permettent les ensembles de données.
- Il est souvent plus facile de recueillir des données sur les activités ou les facteurs de stress que des données sur les CV, ce qui peut entraîner une **plus grande incertitude quant aux conclusions relatives aux CV**.
- Compte tenu des besoins importants en données, les évaluations exigent souvent des **hypothèses lorsque peu ou pas d'information est disponible**. Lorsque l'évaluation spatiale fait appel à des approches analytiques ou de modélisation complémentaires, les hypothèses relatives à ces méthodes s'appliquent également.

8.1.3 Perspectives analytiques

- L'évaluation des relations fonctionnelles entre les facteurs de stress et les CV à l'aide de **données empiriques est un élément essentiel de l'évaluation des effets cumulatifs**. Cette étape est essentielle pour valider la nature des séquences hypothétiques, préciser la portée en déterminant les plus importantes, améliorer l'exactitude des modèles utilisés pour évaluer les scénarios alternatifs, informer l'élaboration de seuils significatifs, prioriser les activités d'atténuation et quantifier l'incertitude.
- Les méthodes d'analyse décrites dans le présent rapport dépendent fortement de la **disponibilité et de la qualité des données**.
- **On prévoit que l'évaluation des risques** sera une méthode de détermination de la portée utile pour l'initiative ECTM afin d'aider à préciser les priorités dans chaque région.
- **On s'attend à ce que l'approche du poids de la preuve** soit une méthode utile pour l'initiative ECTM afin d'évaluer l'importance relative des différentes séquences des effets dans chaque région. On s'attend particulièrement à ce que ce soit le cas au début des premières itérations de l'initiative, en supposant que les données sont limitées et de nature variée, comme c'est le cas pour toute nouvelle initiative.
- Il faudrait investir dans des **méthodes plus complexes et plus riches en données** pour les séquences prioritaires où les incertitudes et les avantages potentiels sont élevés. Il s'agit notamment **d'appuyer la surveillance** pour combler les lacunes critiques en matière de données.
- **Le logiciel statistique R** est offert gratuitement, bien documenté, accepté en milieu universitaire et dispose d'outils facilement accessibles pour appuyer la plupart des méthodes analytiques abordées.

8.1.4 Perspectives de modélisation

- Les méthodes de modélisation se distinguent principalement par le fait qu'elles peuvent être utilisées pour mettre à l'essai **d'autres scénarios** ou options de gestion, le troisième volet de l'étape d'évaluation (Figure 1.2).
- Contrairement aux méthodes analytiques, les **modèles peuvent être développés en l'absence de données empiriques**. Cet usage permet de tester des solutions alternatives à l'aide de connaissances d'experts et d'hypothèses actuelles sur le système. L'analyse de sensibilité peut aider à délimiter le problème et à cerner les parties les plus sensibles du système. Les séquences



Appendice C

Examen des méthodes d'évaluation des effets cumulatifs du transport maritime

Rapport final

ayant la plus grande influence ou l'incertitude la plus grande quant à leur effet sur la CV peuvent alors être classées par ordre de priorité en matière de collecte de données.

- **Les modèles relatifs aux facteurs de stress**, comme les modèles de bruit sous-marin ou de déversement d'hydrocarbures, sont des méthodes bien établies et extrêmement utiles pour prédire l'intensité du facteur de stress. Dans la mesure du possible, les modèles de facteurs de stress existants devraient être utilisés pour appuyer l'initiative ECTM.
- **Les modèles par espèce** qui évaluent les effets au niveau de la population résultant des changements de divers paramètres du cycle de vie devraient être très utiles à l'initiative ECTM et devraient être élaborés pour au moins un petit ensemble de CV de première priorité dans chaque région. Si la CV est l'écosystème tout entier, des **modèles d'écosystème** peuvent se révéler utiles.
- **Les modèles de simulation spatialement explicites qui établissent un lien entre les facteurs de stress et les CV et permettent d'évaluer d'autres scénarios sont la méthode ultime d'EEC.** Cependant, le niveau de données, d'efforts et d'expertise requis pour leur mise en œuvre rend les modèles spatialement explicites qui conviennent le mieux aux échelles régionales pour un sous-ensemble de CV de haute priorité et pour les séquences les plus efficaces et offrant un potentiel d'amélioration.
- La **modélisation intégrée** suppose le couplage d'un ou de plusieurs sous-modèles (les uns physiques, les autres biologiques, par exemple). C'est l'approche à recommander pour les modèles plus complexes tels que les modèles de simulation spatialement explicites.

8.2 Choix des méthodes d'évaluation

Le choix de méthodes spécifiques et d'outils connexes dans chaque catégorie dépend de la pertinence (p. ex., CV prioritaires), de la rigueur (p. ex., disponibilité des données) et de la faisabilité (p. ex., capacité ou financement) des différentes options dans cette catégorie (Tableau 5.2). La section 5.2 donne des exemples détaillés de la façon dont chaque catégorie de méthodes pourrait être appliquée à l'initiative ECTM (Tableau 5.3), ainsi qu'une liste d'études de cas pertinentes (Tableau 5.4) qui démontrent comment plusieurs méthodes peuvent être utilisées en combinaison pour atteindre un objectif particulier. Nous proposons une série de questions d'orientation à prendre en considération lors du choix de la ou des méthodes d'évaluation. Il convient de les utiliser en même temps que les tableaux de la section 5. Les questions ne se veulent pas prescriptives dans leur application, car il n'existe pas de méthode « correcte » ou de combinaison de méthodes pour chaque scénario possible. Certaines questions peuvent dépendre du contexte régional. L'information préliminaire pour chaque région pilote est fournie à l'annexe A : Contexte régional.

En général, les premières itérations de l'étape d'évaluation tendent à utiliser des méthodes plus simples et moins gourmandes en données et sont davantage axées sur le raffinement de la portée et l'identification des lacunes dans les connaissances. Alors que les itérations ultérieures peuvent impliquer des méthodes plus complexes appliquées à une portée plus étroite (p. ex., les séquences les plus importantes).



Appendice C

ESSA Technologies Ltd.

8.2.1.1 Pertinence

À quelle étape du processus d'évaluation en êtes-vous?

Différentes méthodes s'appliquent aux différentes étapes du processus d'évaluation (Figure 1.2). En général, des méthodes spatiales sont utilisées pour évaluer l'état actuel ou l'état de référence, des méthodes analytiques sont utilisées pour quantifier les séquences des effets et des méthodes de modélisation sont utilisées pour évaluer d'autres scénarios. Les itérations initiales auront tendance à utiliser des méthodes plus simples et les itérations ultérieures deviendront plus complexes à mesure que la portée sera affinée et que de nouvelles informations seront acquises.

Les séquences les plus importantes ont-elles été déterminées?

Si l'on part de zéro, l'évaluation des risques (éclairée par des analyses spatiales des facteurs de stress et des CV) devrait être envisagée pour aider à identifier les séquences les plus importantes. Le savoir autochtone et les conseils d'experts peuvent être utilisés à l'appui d'une évaluation des risques. Si l'on dispose de données suffisantes, il convient de procéder à des évaluations analytiques pour évaluer quantitativement l'importance relative des séquences d'exposition identifiées dans l'évaluation des risques pour chaque CV de priorité. Si les séquences les plus importantes ont déjà été déterminées, les méthodes choisies peuvent être axées sur l'évaluation de ces séquences au moyen de méthodes analytiques et de modélisation.

Quelles décisions de gestion sont éclairées par l'évaluation des effets cumulatifs?

La détermination des objectifs et des leviers de gestion qui définissent la portée du processus d'EEC est un élément important à prendre en compte pour établir l'ordre de priorité des CV et des séquences, et pour déterminer les scénarios possibles à évaluer à la troisième étape de l'évaluation. Bien que cela dépasse la portée du présent rapport, ce sera important parce qu'il peut être plus utile d'analyser et d'élaborer des modèles prédictifs pour les séquences des effets avec des possibilités d'atténuation claires.

8.2.1.2 Rigueur

Quel niveau d'information est disponible pour les CV et les facteurs de stress prioritaires?

Quelle est la quantité d'information disponible dans l'espace et dans le temps? Quels sont les avantages et les limites de l'information dont on dispose (résolution spatiale ou temporelle différente, par exemple)? L'information peut se présenter sous différentes formes – savoir autochtone et données scientifiques, par exemple. Savoir et données sont plus ou moins disponibles selon la région ou la communauté considérée. Les méthodes varient considérablement quant à leurs exigences en matière de données et à leur souplesse (voir les sections 4.2.2, 4.3.2 et 4.4.2 sur les « exigences en matière de données »).

Idéalement, il existe de l'information empirique sur les CV et les facteurs de stress, ce qui permet d'utiliser des méthodes spatiales, analytiques et de modélisation quantitatives plus poussées. En l'absence de données quantitatives, il est judicieux de se tourner d'abord vers les méthodes spatiales qui font appel aux données qualitatives. Les méthodes reposant sur l'appréciation des risques et la valeur probante des éléments de preuve se prêtent bien à l'utilisation des données qualitatives.

Est-il possible de compléter les informations disponibles par le savoir des experts?

La section 6.2 donne un aperçu de la façon d'utiliser les connaissances d'expert et de les intégrer à une évaluation des effets cumulatifs. En l'absence de données empiriques, ces méthodes sont particulièrement utiles au début du processus. Les modèles peuvent par exemple être utilisés pour énoncer l'analyse



Appendice C

Examen des méthodes d'évaluation des effets cumulatifs du transport maritime

Rapport final

actuelle du système à l'aide de connaissances d'expert et pour mener des analyses de sensibilité préliminaires.

Est-il possible de recueillir de nouvelles données?

La surveillance est l'un des éléments les plus coûteux des évaluations des effets cumulatifs, mais c'est un outil précieux pour réduire les incertitudes. Il est important de déterminer s'il est possible de compléter les données existantes (p. ex. collaborer avec d'autres pour recueillir des données). Sinon, les méthodes seront limitées par la disponibilité actuelle des données.

8.2.1.3 Faisabilité

Quel est le niveau général de connaissances et de compétences de l'équipe qui dirige l'évaluation des effets cumulatifs?

Les compétences de l'équipe qui dirige l'évaluation des effets cumulatifs sont essentielles pour le choix d'une méthode, car, toutes choses étant égales par ailleurs, il est plus efficace d'utiliser des méthodes que l'équipe a déjà la capacité de conduire. De même, si l'apport d'experts extérieurs à l'équipe est nécessaire, il est préférable de déterminer ces exigences au début du processus d'évaluation des effets cumulatifs. Certaines méthodes nécessitent l'utilisation d'un logiciel de modélisation spécifique ou un niveau de connaissance expert d'une CV ou d'un domaine. La colonne « faisabilité » du Tableau 5.1 et, plus en détail, la discussion des critères d'évaluation de la « complexité » et de l'« accessibilité » des différentes méthodes aux sections 4.2.2, 4.3.2 et 4.4.2 fournissent un contexte utile pour répondre à cette question.

Quelles sont les ressources (p. ex., temps, argent) disponibles pour mener l'évaluation des effets cumulatifs?

Les coûts varient selon les méthodes. La collecte de nouvelles données est habituellement la méthode qui présente le coût le plus élevé. En outre, la réalisation d'exercices de recherche d'experts, l'engagement de détenteurs de savoir autochtone ou l'achat de logiciels ou d'outils analytiques spécifiques feront augmenter les coûts. Des méthodes plus complexes et plus coûteuses peuvent s'avérer nécessaires à mesure que les priorités sont examinées plus en détail. Une brève discussion sur les coûts des différentes méthodes se trouve sous le critère « coût » aux sections [4.2.2](#), [4.3.2](#) et [4.4.2](#).

Existe-t-il déjà des applications de méthodes ou d'outils pour les CV prioritaires, les facteurs de stress préoccupants ou les séquences des effets?

Dans les cas où il existe déjà des applications de méthodes ou d'outils associés, il convient d'en tirer parti plutôt que de partir de zéro. Parmi les exemples possibles d'applications existantes de méthodes ou d'outils, mentionnons :

- il existe un certain nombre de modèles pour quantifier les facteurs de stress associés à la navigation maritime, comme le bruit, les hydrocarbures et les émissions;
- il y a un article récent qui documente l'aire de répartition estivale des épaulards résidents du Sud;
- une série de modèles de qualité de l'habitat sont en cours d'élaboration par le MPO dans le cadre d'initiatives connexes du PPO

Qui sont les principaux intervenants et quelle est la meilleure façon de communiquer les résultats?

Il est important de prévoir comment les résultats de l'évaluation des effets cumulatifs seront communiqués, selon les besoins et les préférences des intervenants concernés. Les méthodes spatialement explicites qui génèrent des cartes sont généralement plus faciles à interpréter que les graphiques ou les sorties numériques des analyses quantitatives. La discussion sous la rubrique « Interprétabilité et



communicabilité » pour les différentes méthodes des sections 4.2.2, 4.3.2 et 4.4.2 fournit de plus amples informations à cet égard.

8.3 Résultats de l'atelier technique

8.3.1 Résumé de l'atelier

Dans le cadre de l'initiative ECTM, Transports Canada a mené à Ottawa un atelier technique de deux jours (les 20 et 21 février 2019). Ses objectifs étaient les suivants :

- Communiquer les résultats de l'ébauche du présent rapport;
- Recueillir l'avis des participants quant aux méthodes et outils d'évaluation décrits et aux recommandations formulées sur les travaux régionaux et les prochaines étapes envisagées;
- Établir ou renforcer les liens et les possibilités d'apprentissage entre le gouvernement fédéral, les Premières Nations, les organismes provinciaux ou territoriaux, les ONG vouées à l'environnement, le milieu universitaire et les acteurs de l'industrie maritime.

Des représentants des six sites pilotes participaient à l'atelier : Autochtones, experts, universitaires, employés du gouvernement provincial, membres d'ONG vouées à l'environnement, représentants de l'industrie maritime et employés du gouvernement fédéral représentant Transports Canada, Pêches et Océans Canada, l'Agence canadienne d'évaluation environnementale (ACEE) et le ministère des Relations Couronne-Autochtones et des Affaires du Nord (RCAANC).

Le compte rendu de l'atelier (Stratos, 2019) résume les points discutés au cours des deux journées et les principales conclusions de l'atelier. On trouvera ci-dessous d'autres points de vue et des informations supplémentaires qui, recueillis au cours des débats, compléteront le présent rapport.

8.3.2 Résultats de l'atelier

Principaux commentaires recueillis

- Transports Canada devrait **prioriser la création d'une première ébauche de cadre national** d'évaluation des effets cumulatifs du transport maritime, en faisant appel à un petit groupe d'experts. Le cadre pourrait ensuite être affiné à l'aide d'un groupe semblable à celui présent lors de l'atelier de février.
- Il est nécessaire **de reconnaître les différentes visions du monde et formes de savoir, et de les incorporer à tous les volets de l'initiative**. Les communautés autochtones doivent être mises à contribution à chaque étape de l'EEC. Il est important de ne pas forcer le savoir autochtone à l'intérieur des méthodes scientifiques occidentales. La participation des communautés et des détenteurs du savoir à chaque étape du processus garantit que les connaissances pertinentes seront rassemblées, que les méthodes d'évaluation seront adaptées aux visions de monde autochtones et que le SA sera correctement utilisé.
- Des participants ont trouvé préoccupant le fait que **l'initiative se limite à un seul secteur**.
- Les spécialistes devraient **considérer les écosystèmes comme des composantes valorisées, tout comme les espèces prises isolément ou en lieu et place de ces dernières**.



Appendice C

Examen des méthodes d'évaluation des effets cumulatifs du transport maritime

Rapport final

- Les activités ne provoquent pas nécessairement un stress, aussi faut-il **agir avec prudence quand on utilise la mesure de l'intensité de l'activité plutôt que le facteur de stress** (la circulation maritime et non le bruit, par exemple).
- **En matière d'EEC, l'incertitude est un aspect clé.** On peut certes prendre une décision en disposant ou sans disposer d'informations et en ayant une idée ou non des zones d'ombre existantes, mais on décide mieux quand les incertitudes sont clairement résolues. Leurs causes sont nombreuses : variabilité spatiale et temporelle, erreur d'échantillonnage, erreur de mesure, hypothèses de modélisation, etc. Les erreurs peuvent se propager à mesure que les méthodes décrites ici sont suivies; si l'on n'en tient pas compte explicitement, on risque de prendre de mauvaises décisions. Les sections 4.2.2.2, 4.3.2.2 et 4.4.2.2 traitent des incertitudes propres à chacune des méthodes.
- Pendant l'atelier, il a été suggéré qu'il serait utile que le cadre national **donne des conseils sur la manière de définir des niveaux de référence et des seuils** et que cela devrait prendre la forme d'un certain **développement conjoint**.
 - **Comment définir les niveaux de base?** Cette question a été longuement discutée pendant l'atelier. Entre autres solutions, on propose habituellement de faire une comparaison avec la situation actuelle ou avec une certaine situation passée. L'évaluation de la situation actuelle est généralement considérée comme un exercice utile : on saura plus facilement quels changements seront acceptables. Cela n'implique pas nécessairement que la situation actuelle doit constituer le niveau de base ou la cible à atteindre. Une EEC se bute souvent à ce problème (section 1.3.1). En définitive, ce qu'on considérera comme acceptable résultera d'une décision sociale.
 - **Où est la limite?** Tout dépend des méthodes d'évaluation utilisées, mais la définition des seuils dépend de ce qu'on considère comme socialement acceptable (section 1.3.4). Cela conduit à se poser des questions sur les leviers de gestion dont dispose Transports Canada (ex. : pourrait-on faire circuler plus de navires dans le détroit de Georgie s'ils étaient tous plus silencieux?). Ces aspects ne peuvent être abordés dans le présent rapport mais ils devront l'être au sein du cadre national.

Méthodes

- Un résultat clé de l'atelier a été que les participants se sont dit d'accord avec l'une des conclusions du rapport, à savoir qu'il **faudra combiner les trois catégories de méthodes** et que le choix dépendra du contexte.
- Il y a eu **consensus sur l'intérêt que présentent les méthodes spatiales**, notamment au début de l'évaluation. Les participants ont estimé les cartes utiles pour l'évaluation du degré d'exposition, tout en admettant leurs limites : capacité restreinte à illustrer les effets plus complexes qu'une simple superposition de CV et de facteurs de stress; échelles d'information variées (points, polygones, grilles de différentes tailles); absence de composante temporelle; assujettissement aux données disponibles.
- **Les participants ont qualifié les méthodes de modélisation d'outils puissants, à condition d'être employés correctement**, tout en s'inquiétant du fait qu'un modèle ne peut être meilleur que les données et hypothèses sous-jacentes; il faut donc veiller à une mise au point et une



Appendice C

ESSA Technologies Ltd.

communication ouvertes et transparentes des modèles, afin d'éviter qu'ils n'entrent en compétition ou ne suscitent la méfiance des parties prenantes. Autres commentaires :

- Nécessité de communiquer clairement l'information sur le degré d'incertitude des paramètres d'entrée et des hypothèses;
- Nécessité d'élaborer les modèles de concert avec les communautés touchées, afin de s'assurer de modèles suffisants et pertinents – Diana Lewis (programme d'études autochtones de l'Université Dalhousie) prône par exemple une modélisation selon une approche participative;
- Questions sur la manière d'incorporer les aspects socioculturels aux modèles.

Cadre national

La mise sur pied d'un cadre national ne fait pas l'objet du présent rapport mais elle a suscité de longues discussions pendant l'atelier. Les participants l'ont recommandée, une telle structure pouvant selon eux assurer un encadrement homogène au niveau national, comme l'explique plus en détail le compte rendu de l'atelier (Stratos, 2019). On y trouve notamment une liste utile de "points à considérer" ainsi qu'une "synthèse des CV et des facteurs de stress courants, pour l'ensemble du Canada". Voici quelques autres points soulevés par les participants à l'atelier :

- Il existe des particularités régionales, mais on peut dresser une **liste exhaustive de facteurs de stress et de CV recensés d'un bout à l'autre du pays**, liste autour de laquelle pourrait se constituer le cadre national.
- L'idée selon laquelle **le cadre devrait privilégier une approche itérative** fait consensus. Il a été question de la gestion adaptative comme approche possible; elle bénéficie de l'accord général, à condition d'être réellement mise en œuvre et non pas utilisée uniquement pour « cocher une case ».
- Certains participants ont milité en faveur d'une **approche par paliers, qui ferait en sorte qu'un niveau minimum d'informations** seraient recueillies pour toutes les composantes, quitte à creuser plus profondément si nécessaire.
- Les responsables du cadre devraient **songer à d'autres stratégies de gouvernance possibles**, afin de faciliter la mise en œuvre conjointe de l'initiative. La section 8.3.3 contient des suggestions à cet égard.



8.3.3 Complément d'information

Pendant et après l'atelier, les participants ont échangé d'autres informations et évoqué des études de cas que, par expérience, ils jugeaient pertinentes. Nous allons en parler ici, pour compléter les exemples présentés à la section 5.2.2.

Planification spatiale marine

L'aménagement des milieux marins implique de prendre des décisions de gestion (zonage, par exemple) au sujet des secteurs où les usages et les utilisateurs sont multiples, afin d'atteindre certains objectifs liés à leur pérennité ou à leur état écologique. Citons en exemple la directive-cadre stratégique du milieu marin européen (Elliott et coll., 2018). Les effets cumulatifs sont au cœur de la planification spatiale marine, même s'il faut les considérer sous l'angle multisectoriel, c'est-à-dire de manière plus large que dans le cas de l'évaluation des effets cumulatifs du seul transport maritime.

Les méthodes et approches utilisées pour la planification spatiale marine peuvent se révéler pertinentes pour l'évaluation qu'implique l'initiative ECTM. Les études de cas ci-dessous donnent des indications sur l'utilisation du jugement des experts et des analyses spatiales à des fins d'évaluation, dans un contexte de planification, de multiples facteurs de stress.

- Elliott M., S.J. Boyes, S. Barnard, Á Borja. 2018. Using best expert judgement to harmonise marine environmental status assessment and maritime spatial planning. *Mar Pollut Bull.* 133:367-377. <https://doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.05.029>

L'équipe d'Elliott s'est penchée sur la manière dont le jugement des experts est utilisé pour déterminer l'empreinte environnementale de multiples activités sur les écosystèmes marins, ainsi que leur effet cumulatif sur l'état écologique considéré à l'échelle régionale (Elliott et coll., 2018).



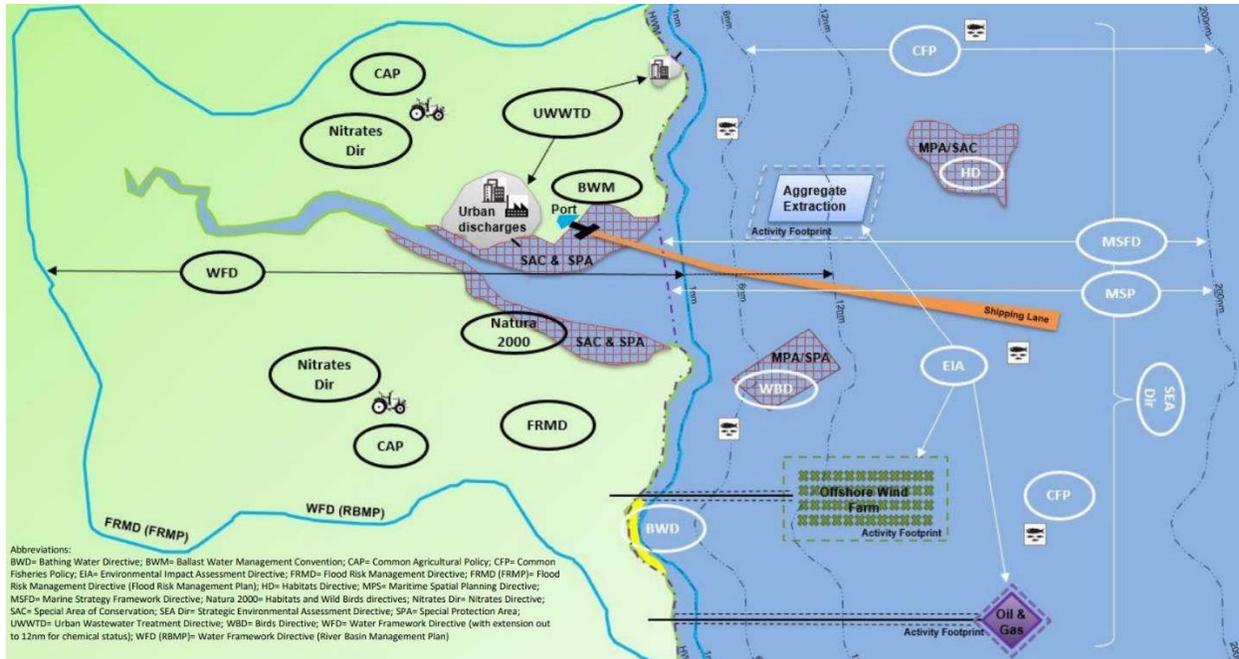


Figure 8.1. Représentation logique des multiples pressions exercées sur terre ou en mer sur les écosystèmes côtiers et marins, sous l'angle de la directive-cadre stratégique du milieu marin européen (source : Elliott et coll., 2018)

- Boyes S.J., M. Elliott, S.M. Thomson, S. Atkins, P. Gilliland. 2007. A proposed multiple-use zoning scheme for the Irish Sea.: An interpretation of current legislation through the use of GIS-based zoning approaches and effectiveness for the protection of nature conservation interests. *Marine Policy* 31 (3): 287-298 <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2006.08.005>

Dans cette étude de cas, il a été fait appel à une analyse par scénarios reposant sur des données SIG et censée valider un mode de zonage proposé pour la mer d'Irlande. On a pu ainsi visualiser et qualifier les impacts potentiels de différents scénarios de zonage correspondant à des juxtapositions variées d'activités autorisées par la loi.

Gouvernance

Nous nous sommes intéressés avant tout aux méthodes d'évaluation des effets cumulatifs, mais toute évaluation s'inscrit dans un certain cadre de gouvernance et de gestion. L'analyse des mécanismes de gouvernance à privilégier sur le plan régional ou national dépasse le cadre du présent rapport, mais les études de cas évoquées ci-dessous donnent d'utiles indications sur la manière d'élaborer de tels mécanismes.

- Bodin, Ö. Collaborative environmental governance: Achieving collective action in social-ecological systems. *Science* 357.

Passant en revue les études de cas consacrées à la gouvernance en matière d'environnement, les auteurs de cet article en ont tiré des conclusions sur la manière de réaliser une gouvernance concertée efficace.



Appendice C

Examen des méthodes d'évaluation des effets cumulatifs du transport maritime

Rapport final

- Boyes S.J. and M. Elliott. 2015. Marine legislation--the ultimate 'horrendogram': international law, European directives & national implementation. *Mar Pollut Bull.* 2014 Sep 15;86(1-2):39-47. doi: 10.1016/j.marpolbul.2014.06.055.

Cette étude portait sur le problème de la compartimentation qu'engendre la superposition des textes législatifs et qui complique la gestion des zones marines. À partir du cas de l'Union européenne, les auteurs ont analysé la complexité du contexte juridique et ses conséquences sur la gestion maritime.

- Weber, M., N. Krogman, and T. Antoniuk. 2012. Cumulative Effects Assessment: Linking Social, Ecological, and Governance Dimensions. *Ecology and Society* 17(2): 22.

Les auteurs de cette étude proposent de se servir d'un cadre multidisciplinaire quand une évaluation des effets cumulatifs est utilisée à des fins d'aménagement des terres. Plus précisément, ils ont examiné les possibilités d'application d'une analyse par scénarios dans les régions où les données sont limitées, ainsi que la manière dont les dimensions sociales et le savoir autochtone peuvent être incorporés.

On trouvera à l'[annexe C](#) d'autres indications sur les questions de gouvernance, et notamment des exemples d'ententes entre gouvernements (« G2G »).

Cadre de gestion

Une évaluation des effets cumulatifs se fait à l'intérieur d'un cadre de gestion et se conduit différemment selon les leviers qu'offre ce cadre pour atténuer les impacts. Le choix des méthodes et outils EEC dépend des objectifs de gestion fixés pour les écosystèmes marins d'une région donnée. Nous n'avons pas examiné en détail la question du cadre de gestion, mais les études de cas évoquées ci-dessous donneront d'utiles indications.

- Clarke Murray C., J. Wong, G.G. Singh, M. Mach, J. Lerner, B. Ranieri, G. Peterson St-Laurent, A. Guimaraes, K.M.A. Chan. 2017. The Insignificance of Thresholds in Environmental Impact Assessment: An Illustrative Case Study in Canada. *Environmental Management* 61: 1062–1071.

Entre autres résultats clés, une évaluation environnementale permet de déterminer l'importance des impacts. Les auteurs de cet article ont passé en revue les approches suivies à cette fin dans le cadre de diverses évaluations menée en Colombie-Britannique. Les auteurs ont conclu qu'il est nécessaire de déterminer l'importance des impacts de façon claire et justifiable, par exemple en suivant une approche axée sur la collaboration.

- Elliott M. 2013. The 10-tenets for integrated, successful and sustainable marine management. *Mar Pollut Bull.* 74(1):1-5. doi: 10.1016/j.marpolbul.2013.08.001

En raison de la diversité des facteurs de stress, des utilisateurs, des agences, etc., mais aussi des grandes échelles spatiales en jeu et de la variabilité des états de référence associés aux écosystèmes marins, la gestion maritime est un domaine extrêmement complexe. S'inspirant des écrits propres au milieu des affaires, M. Elliott propose dix principes de gestion applicables à n'importe quel facteur de stress (ou combinaison de facteurs) observé en milieu marin.

Cadres EEC

Une évaluation des effets cumulatifs se fait à l'intérieur d'un cadre où il faut aussi répondre aux questions de définition de mandat et de gestion. Les études de cas évoquées ci-dessous complètent les exemples de méthodes de structuration mentionnés à la section 7.



Appendice C

ESSA Technologies Ltd.

- Cormier R. M. Elliott and J. Rice. 2019. Putting on a bow-tie to sort out who does what and why in the complex arena of marine policy and management. *Science of The Total Environment* 648: 293-305.

Les auteurs de cet article ont examiné comment une analyse de type nœud papillon peut être utilisée à l'intérieur d'un cadre conceptuel DAPSI(W)R(M) pour étudier les pressions endogènes ou exogènes qui s'exercent sur les écosystèmes marins. Les auteurs ont conclu que cette approche rend les analyses systémiques applicables à la complexité des écosystèmes et qu'elle constitue, en matière maritime, un cadre décisionnel rigoureux, transparent et justifiable.

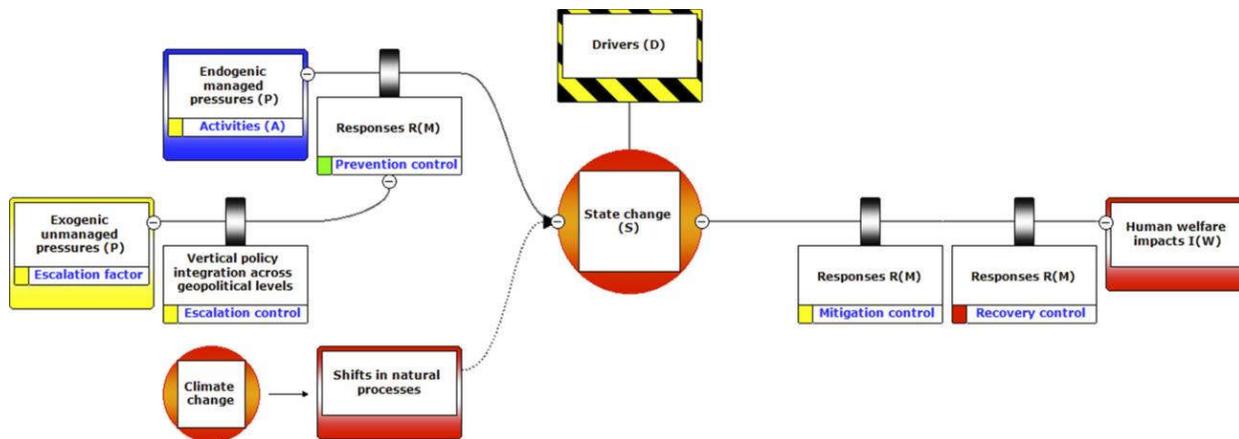


Figure 8.2. Cadre fondé sur les analyses de type nœud papillon, utilisé pour étudier l'influence des pressions endogènes gérées et des pressions exogènes non gérées (Cormier et coll., 2019)

- DFO. 2012. Assessment of the Laurentian Channel Area of Interest: A Risk Characterization.

Ce rapport décrit le processus d'évaluation suivi pour le centre d'intérêt (CI) du chenal Laurentien dans le cadre d'un projet de désignation comme zone de protection marine (ZPM), en vertu de la *Loi sur les océans*. L'évaluation implique l'analyse systématique de chaque objectif de conservation, la quantification des facteurs de stress liés aux activités humaines et le recensement des activités non compatibles avec la ZPM projetée.

- Clear Seas Centre for Responsible Marine Shipping ([Clear Seas](#)) est un centre de recherche indépendant qui vise à appuyer un réseau de transport maritime sûr et préservant l'environnement au Canada. L'organisme a déjà fait mener plusieurs études se rapportant à l'évaluation et à la gestion des effets cumulatifs. L'une d'elles s'intitulait [Vessel Drift and Response Analysis for Canada's Pacific Coast](#). Suivant une approche par scénarios et fondée sur les risques, Nuka Research & Planning Group, LLC (Nuka Research) a étudié comment la position et la disponibilité des remorqueurs de sauvetage (Emergency Tow Vessels ou ETV) pouvait influencer sur la possibilité pour un navire désemparé de s'échouer sur la côte ouest du Canada.
- [Aleutian Islands Risk Assessment](#) – Cette évaluation en plusieurs phases des risques liés au transport maritime dans la mer de Béring et l'archipel des Aléoutiennes a été menée de 2010 à 2015. Il s'agissait de définir des mesures de réduction des risques de déversement de pétrole à partir des grands navires se déplaçant dans la région.
- Le ministère de l'écologie de l'État de Washington (États-Unis) a mené une série d'appréciations des risques liés aux déversements de pétrole, notamment la [Grays Harbor Vessel Traffic Risk](#)



Appendice C

Examen des méthodes d'évaluation des effets cumulatifs du transport maritime

Rapport final

Assessment. Le processus d'identification des risques fait appel à une approche participative fondée sur des ateliers.

Caractérisation des CV et des facteurs de stress par imagerie à distance

Les images prises par satellite peuvent compléter les sources d'information utilisées pour caractériser les composantes valorisées et les facteurs de stress, spécialement dans le cas de régions reculées ou quand les données de référence sont particulièrement lacunaires. Les images-satellite disponibles sur le marché et le produit de leur analyse peuvent être combinés au savoir autochtone et à d'autres sources de données empiriques, pour une caractérisation plus complète des éléments topographiques naturels ou des facteurs de stress qui s'exercent sur la région. Le recours aux données archivées permettrait aussi des comparaisons avec les états de référence antérieurs, par exemple pour analyser les modifications du littoral.

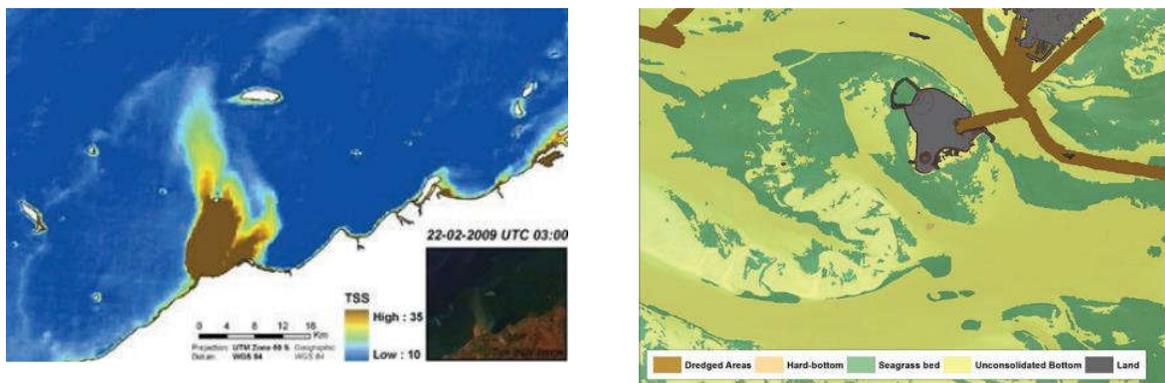


Figure 8.3. Exemples d'images-satellite utilisées pour l'étude (à gauche) d'un panache de sédiments provenant d'un fleuve après de fortes pluies et pour la caractérisation (à droite) des habitats marins – Source : DHI GRAS



8.4 Étapes suivantes suggérées

Nous allons maintenant indiquer dans quelle direction pointent les résultats de notre évaluation et de l'atelier des 20 et 21 février 2019.

8.4.1 Recommandations d'ESSA

Mettre sur pied le cadre ECTM

Nous partageons l'avis des participants à l'atelier : il importe d'établir rapidement le cadre ECTM. Comme nous l'indiquions au début du présent rapport, il sera difficile de poursuivre l'évaluation si l'on n'a pas une idée claire du contexte général. Nous convenons également que la manière la plus efficace de s'y prendre consistera probablement à confier à un petit groupe d'experts le soin de développer une ébauche d'un cadre général, qui sera ensuite affiné de concert avec les régions. La réalisation de l'ébauche ne devrait pas prendre beaucoup de temps. Plusieurs éléments de notre rapport devraient faciliter les choses :

- Ébauche de cadre proposée par ESSA (Figure 1.2);
- Aperçu des cadres en usage ailleurs (section 7);
- Compte rendu de l'atelier (Stratos, 2019), où l'on a résumé ce que pensaient les participants sur la question d'un cadre national;
- Références supplémentaires signalées par les participants à l'atelier (section 8.3.3);
- Ébauche de liste de contrôle fournie par Mike Elliott et Roland Cormier ([annexe C](#)).

Achever la première itération de la phase Délimitation de la portée, en collaboration avec les régions

Transports Canada passe actuellement à la phase 2 de l'initiative ECTM (Figure 1.1), ce qui implique d'affiner la portée de l'évaluation avec les régions pilotes. Le but de cette étape obligée est de faciliter le choix des méthodologies dans chaque région et de déterminer comment Transports Canada pourra contribuer de son mieux (par exemple en investissant dans une méthodologie ou un outil permettant d'évaluer une séquence d'effets commune à plusieurs régions). Voici les résultats clés de la phase Délimitation de la portée :

- Définir des objectifs clairs
- Définir les limites spatiales et temporelles
- Cibler un ensemble plus restreint de CV prioritaires et de facteurs de stress particulièrement préoccupants (de quelques centaines de CV possibles, ramener la liste à quelques dizaines de CV prioritaires)
- Élaborer, pour les séquences d'effets, des modèles conceptuels appropriés aux CV prioritaires (section 4.4.1.4)
- Recenser et compiler les meilleures données disponibles



Appendice C

Examen des méthodes d'évaluation des effets cumulatifs du transport maritime

Rapport final

REMARQUE – Il importe que toutes les parties prenantes réalisent qu'il est question ici d'un processus itératif. Les choix faits à cette étape peuvent être revus. Viser la perfection dès les premières itérations peut ralentir considérablement le processus. Nous recommandons de se concentrer sur les points de convergence puis de passer à la suite en utilisant la meilleure information disponible avant de revenir au point de départ et de chercher les données manquantes.

Recenser les leviers de gestion les plus prometteurs

La phase 4 de l'initiative ECTM consiste notamment à déterminer les mesures susceptibles d'atténuer les effets potentiels du transport maritime. Nous recommandons de mener dès le début un examen préliminaire des leviers de gestion potentiels, afin de déterminer comment les différentes activités pourraient être gérées ou atténuées afin de réduire l'effet d'un facteur de stress sur une CV. Les leviers de gestion potentiels varient en efficacité et en faisabilité (coût, cadre juridique, etc.). On peut ensuite, à l'aide de méthodes de modélisation, étudier les leviers les plus prometteurs afin d'évaluer les autres scénarios possibles. Comme ces méthodes sont relativement complexes et peuvent être trop coûteuses à mettre en œuvre pour toutes les séquences d'effets, il sera important de se concentrer sur les leviers de gestion les plus prometteurs.

Certains leviers de gestion peuvent être pertinents à l'échelle nationale (par exemple dans le cadre de la législation nationale ou internationale), alors que d'autres le seront à l'échelle régionale et différeront en fonction de la structure de gouvernance de la région considérée.

Points clés à prendre en considération lors de l'évaluation de tel ou tel levier de gestion :

- Dans quelle mesure le levier permettra-t-il de réduire l'impact considéré?
- Dans quelle mesure pourra-t-on doser l'action du levier?

Des lois canadiennes et des ententes internationales s'appliquent déjà à un certain nombre d'activités et de facteurs de stress connexes (déversements de pétrole, eaux de ballast, bio-encrassement, rejets, émissions atmosphériques, échouements, naufrages, mouillages). Nos résultats préliminaires semblent indiquer que le levier de gestion qui présente le plus grand potentiel non exploité est associé aux déplacements des navires (où et quand les navires de différents types se déplacent, et combien sont autorisés à le faire pendant telle ou telle période).

Déterminer les seuils

L'initiative ECTM ne dit pas explicitement quand et comment seront définis les seuils associés aux niveaux d'impact acceptables pour les composantes valorisées. Il s'agit d'une tâche très complexe que peut faciliter la phase Évaluation; celle-ci aidera en effet à quantifier les relations fonctionnelles entre CV et facteurs de stress, et permettra d'examiner les autres scénarios possibles. Cela dit, déterminer ce qu'est le scénario à privilégier et quel est le niveau d'impact acceptable constitue une décision sociale (section 1.3.4). La définition des seuils est également censée être un processus itératif (Figure 1.2). Nous recommandons d'amorcer cette discussion pendant la phase Délimitation de la portée, en demandant aux régions si le niveau d'impact actuel est considéré ou non comme acceptable. Ensuite, les seuils peuvent être revus de concert avec les régions, à mesure que se déroule la phase Évaluation et qu'on se fait une meilleure idée du degré d'exposition, des relations fonctionnelles avec les impacts et des autres scénarios possibles. Il peut s'avérer utile que le cadre ECTM inclue des conseils généraux sur la manière de définir les seuils ou des déclencheurs de gestion et de les incorporer à l'initiative générale. Le British Columbia Cumulative Effects Framework et la directive-cadre stratégique du milieu marin européen peuvent fournir des modèles utiles (section 7).



Comblent les principales lacunes en matière d'information

L'itération initiale de l'initiative ECTM sera menée à l'aide de la meilleure information disponible. Toutefois, il est probable qu'un certain nombre de lacunes en matière d'information seront repérées en ce qui concerne les facteurs de stress, les CV et les séquences des effets (lacunes proprement dites dans l'espace ou le temps, données non disponibles immédiatement, information de piètre qualité). Les incertitudes peuvent être réduites par résolution des principales lacunes en matière d'information, lors des itérations ultérieures. La collecte de nouvelles données est généralement très coûteuse et il faut se concentrer sur les lacunes dont dépendent réellement les décisions portant sur la gestion de l'information. Dans certains cas, il est possible d'obtenir de nouvelles informations sans passer par le contrôle des données de terrain. Parmi les autres sources d'information, citons le savoir autochtone (section 6.1) et les bases de données privées (celles du secteur privé ou des organismes de recherche). À cela s'ajoutent peut-être des possibilités d'exploration supplémentaire des données disponibles selon de nouvelles approches fondées sur la télédétection (section 8.3.3).

Comment passer à la phase Évaluation?

Afin de déterminer quelle combinaison de méthodes et d'outils connexes conviennent le mieux, à l'échelle nationale comme dans chaque région, il est nécessaire de terminer une première itération de la phase Délimitation de la portée (voir ci-dessus). Dans cette section, nous proposons un mode possible de mise en œuvre de la phase Évaluation de l'initiative ECTM, en supposant que l'itération initiale de la phase sur la portée est terminée. Les mesures suggérées ne doivent pas être considérées comme prescriptives; il faut seulement y voir l'amorce de la discussion à engager avec les régions afin de redonner son élan à l'initiative. Nous tenons pour acquis que la mise sur pied du cadre ECTM se fera de manière itérative. Selon nous, les premières itérations de l'étape Évaluation nécessiteront des méthodes plus simples, moins gourmandes en données et axées sur le raffinement de la portée et le recensement des informations manquantes, alors que les itérations suivantes impliqueront des méthodes plus complexes appliquées à un cadre plus restreint (principales séquences des effets, par exemple). On trouvera à la section 8.2 des conseils sur la manière d'utiliser le présent rapport pour déterminer, pour chacune des tâches ci-dessous, l'approche convenant le mieux dans chaque région.

La figure 8.4 indique la manière dont on peut procéder à mesure que la portée se restreint et que la complexité augmente. La première colonne correspond aux étapes de la phase Évaluation (Figure 1.2). La deuxième indique les tâches proposées pour chacune des étapes en question. La troisième colonne énumère les méthodes à utiliser dans chaque cas, avec indication de la section du rapport dont elles ont été l'objet. Le savoir autochtone constituera une importante source de renseignements qui viendra préciser l'approche à suivre pour chacune des tâches. En l'absence de données empiriques, le jugement des experts pourra servir à étayer les méthodes. Les tâches 1 et 2 impliquent une évaluation grossière de **l'endroit où s'exercent les facteurs de stress** (méthodes spatiales) et de **l'endroit où se trouvent les composantes valorisées** (méthodes spatiales combinées si possible à des méthodes analytiques – estimation du domaine vital et modélisation de la qualité des habitats). La tâche 3 vise d'abord à déterminer **l'endroit où s'exerceraient les impacts** (les points où les CV sont exposées aux facteurs de stress) puis, si possible, à recenser les **vecteurs clés** du système considéré (autrement dit, à déterminer l'importance relative des différents facteurs de stress et des différentes CV, à l'aide de méthodes analytiques). Nous prévoyons que, lors des premières itérations, les approches fondées sur l'évaluation des risques et la valeur probante des éléments de preuve seront plus praticables (on peut facilement leur intégrer un large éventail de types d'information); par contre, au fil de la collecte des données quantitatives, certaines des méthodes analytiques plus gourmandes en données pourront se



Appendice C

Examen des méthodes d'évaluation des effets cumulatifs du transport maritime

Rapport final

révéler utiles (analyse des composantes principales ou analyses de régression, par exemple). À ce stade, nous pensons qu'il sera nécessaire de **réduire encore la portée** à un petit ensemble de deux ou trois séquences prioritaires par région, auxquelles s'appliqueraient les tâches 4 et 5. L'étape 4 implique d'utiliser la meilleure information empirique disponible pour **quantifier les relations fonctionnelles** entre facteurs de stress et CV, à l'aide de méthodes analytiques; lors des premières itérations, l'opération ne pourra au mieux qu'être superficielle. En revanche, lors des itérations suivantes, à mesure qu'on recueillera de nouvelles données afin de combler les lacunes, cette étape prendra de l'importance, puisqu'elle contribuera à réduire le degré d'incertitude des paramètres d'entrée des modèles. La tâche 5 implique d'**élaborer un cadre de modélisation afin d'évaluer les autres scénarios de gestion possibles** (pour savoir par exemple comment les impacts sur les CV évoluent quand on actionne les différents leviers de gestion dans un sens ou dans l'autre). L'approche recommandée ici consisterait à concevoir un modèle de simulation spatialement explicite qui intégrerait un nombre requis de modules plus petits pour lier les modifications d'activité (opérées à l'aide des leviers de gestion) aux changements du mode de propagation du facteur de stress dans le temps et dans l'espace, ainsi qu'aux changements des comportements clés ou des éléments à long terme de la CV considérée, ce qui pourrait au bout du compte se traduire par une réaction au niveau de la population ou de l'écosystème, grâce à un modèle de population ou d'écosystème. Cette approche recommandée peut exiger beaucoup de temps et devrait donc être appliquée d'abord aux séquences associées au risque le plus élevé et offrant les meilleures possibilités d'intervention par les gestionnaires. On **énoncera explicitement le degré d'incertitude** à toutes les étapes (formulation des hypothèses, saisie des données, paramétrisation des modèles, production des résultats).

Transports Canada devrait envisager la tâche de soutien 5 (Élaboration d'un cadre de modélisation) pour une ou plusieurs séquences reconnues comme prioritaires dans toutes les régions. Le cadre en question pourrait être utilisé dans l'ensemble de ces dernières, moyennant les adaptations nécessaires aux paramètres régionaux (disponibilité locale des habitats, par exemple). Il pourrait aussi être utilisé comme modèle permettant aux régions d'élaborer des séquences d'intérêt. Une autre possibilité consisterait pour Transports Canada à se concentrer sur une ou deux composantes de modélisation pertinentes pour le plus grand nombre. Prenons un exemple : plusieurs articulations activité-facteur de stress seront probablement des priorités communes aux différentes régions (activité-bruit, activité-pétrole, etc.). Par contre, les modules de réaction au niveau de la population devront probablement être adaptés aux particularités de chaque région, même s'il est question d'espèces similaires.



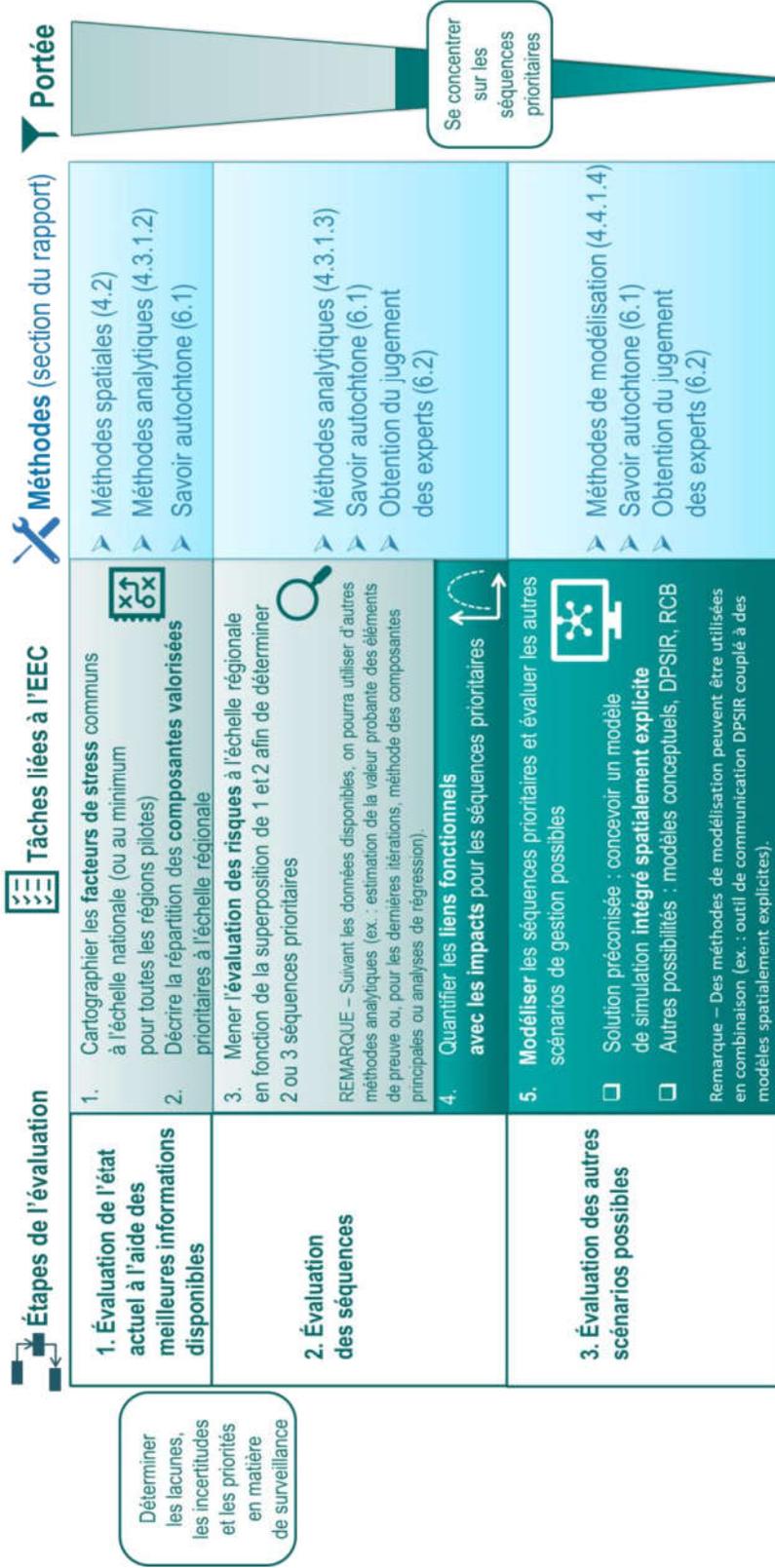


Figure 8.4. Prochaines étapes possibles pour la phase d'évaluation de l'initiative ECTM



8.4.2 Principes directeurs

Le tableau 8.1 énumère l'ensemble préliminaire de principes directeurs issus de l'évaluation (et notamment de l'examen de la documentation, des entrevues avec les experts et des débats menés lors de l'atelier des 20 et 21 février 2019). Il ne s'agit pas d'une liste exhaustive, mais de certains des principes importants qui ont été relevés au cours de l'exercice dont on lit ici le compte rendu. D'autres principes pourront être ajoutés à la liste au fur et à mesure.

Tableau 8.1. Principes directeurs pour la mise en œuvre de la phase Évaluation de l'initiative ECTM

Déterminer les objectifs de gestion au début du processus	La détermination des décisions de gestion à l'avance aidera à caractériser les scénarios d'intérêt possibles. L'identification des possibilités d'atténuation qui sont sous le contrôle de l'initiative ECTM aidera également à cibler les efforts d'évaluation.
Se concentrer sur l'essentiel	<p>Il n'est pas possible de tout évaluer. La détermination de la portée d'un ensemble gérable de CV prioritaires (p. ex., moins de 10), des facteurs de stress préoccupants et des séquences d'exposition les plus importantes est essentielle à la réussite de la phase Évaluation. L'initiative ECTM est actuellement en train d'affiner la portée dans chaque région. Le processus d'établissement des priorités et les décisions qui en découlent devraient être documentés. On s'attend à ce que l'amélioration de la portée se poursuive de façon itérative à mesure que l'évaluation progresse.</p> <p>En général, les premières itérations de la phase Évaluation sont susceptibles d'utiliser des méthodes plus simples, moins gourmandes en données et plus axées sur le raffinement de la portée et l'identification des informations manquantes, alors que les itérations suivantes peuvent impliquer des méthodes plus complexes appliquées à un cadre plus restreint (principales séquences d'exposition, par exemple).</p>
Appuyez-vous sur les travaux existants	Dans la mesure du possible, tirez parti des travaux existants plutôt que de repartir à zéro. Il existe un certain nombre d'initiatives connexes qui pourraient être utilisées pour soutenir différents aspects de l'initiative ECTM. Il peut s'agir de cadres d'évaluation des effets cumulatifs, d'outils de modélisation existants, d'analyses quantifiant les séquences d'exposition, de seuils, de systèmes de surveillance et de gestion des données.
Déterminer clairement les zones d'ombre	Il peut s'agir d'hypothèses de modèle, de données manquantes ou d'incertitude quant aux données. L'incertitude peut être exprimée de manière quantitative ou qualitative.
Viser la simplicité	<p>Les modèles sont des méthodes d'évaluation complexes et cette complexité augmente au fur et à mesure que la portée du modèle augmente (p. ex. les séquences d'effets plutôt que les facteurs de stress uniques ou les CV).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pour éviter les complications inutiles, il convient de choisir le modèle le plus simple qui permet d'atteindre les objectifs de l'évaluation. • Nous recommandons de combiner plusieurs modèles plus petits et plus simples plutôt que de créer un seul modèle global (p. ex., relier un modèle des facteurs de stress du bruit à un modèle distinct du cycle de vie des populations de bélugas). Cette approche permet de mieux tirer parti des travaux existants, de miser sur les forces des experts en la matière et de réduire la complexité. • En général, nous recommandons de n'envisager qu'une seule CV à la fois, bien que de multiples facteurs de stress et séquences d'effets doivent être pris en considération simultanément. On ne s'attend pas à ce que la complexité



Appendice C

ESSA Technologies Ltd.

	<p>supplémentaire de la modélisation de plusieurs CV simultanément soit fructueuse, sauf peut-être dans les cas où il existe des interactions claires au niveau trophique entre les CV (p. ex. mammifères marins et poissons-fourrages). Malgré tout, il s'agirait probablement de questions pour des itérations ultérieures, à mesure que des incertitudes précises sont cernées.</p>
--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



9 Ouvrages cités

- Alves T.M., E. Kokinou, G. Zodiatis, H. Radhakrishnan, C. Panagiotakis and R. Lardner. 2016. Multidisciplinary oil spill modeling to protect coastal communities and the environment of the Eastern Mediterranean Sea. *Scientific Reports* volume 6, Article number: 36882
- Andersen, J.H. & Stock, A. (eds.), Mannerla, M., Heinänen, S. & M. Vinther, M. 2013. Human uses, pressures and impacts in the eastern North Sea. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy. 136 pp. Technical Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 18. <http://www.dmu.dk/Pub/TR18.pdf>
- Anthony, K.R.N.; Dambacher, J.M.; Walshe, T.; Beeden, R. Australian Institute of Marine Science, Townsville; CSIRO, Hobart ; NERP Decisions Hub, University of Melbourne and Great Barrier Reef Marine Park Authority, Townsville. 2013. A framework for understanding cumulative impacts, supporting environmental decisions and informing resilience-based management of the Great Barrier Reef World Heritage Area
- Ban, N.C., H.M. Alidina, J.A. Ardron. 2010. Cumulative impact mapping: Advances, relevance and limitations to marine management and conservation, using Canada's Pacific waters as a case study. *Marine Policy* 34,876–886.
- Ban, N.C., A. Frid, M. Reid, B. Edgar, D. Shaw and P. Siwallace. 2018. Incorporate Indigenous perspectives for impactful research and effective management. *Nature Ecology & Evolution* 2:1680–1683.
- Ban S.S., R.L. Pressey, N.A.J. Graham. 2014. Assessing interactions of multiple stressors when data are limited: A Bayesian belief network applied to coral reefs. *Global Environmental Change* 27: 64–72
- Ban N.C., Lauren Eckert, Madeleine McGreer & Alejandro Frid (2017) Indigenous knowledge as data for modern fishery management: a case study of Dungeness crab in Pacific Canada, *Ecosystem Health and Sustainability*, 3:8, 1379887.
- Berkes. F., Colding, J., and Folke C. (2000). Rediscovery of Traditional Ecological Knowledge as Adaptive Management. *Ecological Applications*, 10(5), 1251–1262.
- Berkes, F. 2018. *Sacred Ecology: Fourth Edition*. Routledge, New York, NY.
- Breiman L, J.H. Friedman, R.A. Olshen and C.J. Stone. *Classification and Regression Trees*. Chapman & Hall (Wadsworth, Inc.): New York, 1984.
- British Columbia (BC) Archaeology Branch. 2015. Site Form Guide
- The Province of British Columbia (BC). 2000. British Columbia Archaeological Inventory Guidelines v1.0. Resources Inventory Committee, BC, Canada.
- Burnham, Kenneth P and David R. Anderson. 1998. *Model Selection and Inference: A Practical Information-Theoretic Approach*. Springer-Verlag. New York, NY.
- Burkhardt-Holm, P. and K. Scheurer. 2007. Application of the weight-of-evidence approach to assess the decline of brown trout (*Salmo trutta*) in Swiss Rivers. *Aquatic Sciences*. 69: 51-70.
- Canadian Environmental Assessment Agency (CEAA), & Canadian Government, 2014. Technical guidance for assessing cumulative environmental effects under the Canadian environmental assessment act, 2012. Ottawa: Canadian Environmental Assessment Agency. Pg. 60.
- Canter L.W. 2008. Conceptual Models, Matrices, Networks, and Adaptive Management – Emerging Methods for CEA. Presented at *Assessing and Managing Cumulative Environmental Effects*,



Appendix C

ESSA Technologies Ltd.

- Special Topic Meeting, International Association for Impact Assessment, November 6-9, 2008, Calgary, Alberta, Canada.
- Center for Ocean Solutions. 2011. Decision Guide: Selecting Decision Support Tools for Marine Spatial Planning. The Woods Institute for the Environment, Stanford University, California
- Chion C., D. Lagrois, J. Dupras, S. Turgeon, I.H. McQuinn, R. Michaud, N. Ménard, L. Parrott. 2017. Underwater acoustic impacts of shipping management measures: Results from a social-ecological model of boat and whale movements in the St. Lawrence River Estuary (Canada). *Ecological Modeling* 354:72-87
- Clarke Murray, C., Mach, M.E., & Martone, R.G. 2014. Cumulative effects in marine ecosystems: scientific perspectives on its challenges and solutions. WWF-Canada and Center for Ocean Solutions. 60 pp.
- Clarke Murray C., S. Agbayani, H.M. Alidina, N.C. Ban. 2015. Advancing marine cumulative effects mapping: An update in Canada's Pacific waters. *Marine Policy* 58,71-77.
- Cominelli S., R. Devillers, H. Yurk, A. MacGillivray, L. McWhinnie, and R. Canessa. 2017. Noise exposure from commercial shipping for the southern resident killer whale population. *Marine Pollution Bulletin* 136:177-220
- Cormier, R., et al. 2013. Marine and coastal ecosystem-based risk management handbook. ICES Cooperative Research Report No. 317. 60 pp.
- Council on Environmental Quality, "Considering Cumulative Effects under the National Environmental Policy Act", January 1997, Executive Office of the President, Washington, D.C., pp. 49-57
- Council of the Haida Nation (CHN). 2011a. Haida Marine Traditional Knowledge Study Volume 1: Methods and Results Summary. Prepared for Council of the Haida Nation by Haida Marine Traditional Knowledge Study Participants, Janet Winbourne, Haida Oceans Technical Team, and Haida Fisheries Program. https://haidamarineplanning.com/wp-content/uploads/2016/08/Haida_Marine_Traditional_Knowledge_vol.1.pdf
- Council of the Haida Nation (CHN). 2011b. Haida Ocean & Way of Life Brochure. https://haidamarineplanning.com/wp-content/uploads/2016/08/OceanWay_LR.pdf
- Davis A.R., A. Broad, W. Gullett, J. Reveley, C. Steele, and C. Schofield. 2016. Anchors away? The impacts of anchor scour by ocean-going vessels and potential response options. *Marine Policy* (73): 1-7
- Depellegrin D., S. Menegon, G. Farella, M. Ghezzi, E. Gissi, A. Sarretta, C. Venier, A. Barbanti .2017. Multi-objective spatial tools to inform maritime spatial planning in the Adriatic Sea. *Science of the Total Environment* 609,1627-1639.
- DFO. 2012. Risk-based Assessment Framework to Identify Priorities for Ecosystem-based Oceans Management in the Pacific Region. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2012/044.
- DFO. 2014. Pilot application of an ecological risk assessment framework to inform ecosystem-based management in the Pacific North Coast Integrated Management Area. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2014/026.
- DFO. 2015. Pathways of Effects for Shipping: An Overview. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2014/059.
- DFO. 2017. Assessing the risk of ship strikes to humpback (*Megaptera novaeangliae*) and fin (*Balaenoptera physalus*) whales off the west coast of Vancouver Island, Canada. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2017/038.



Appendice C

Examen des méthodes d'évaluation des effets cumulatifs du transport maritime

Rapport final

- Dobson, J. Annette. 1990. *An Introduction to Generalized Linear Models*. Chapman & Hall. Boca Raton, FL.
- Draper, Norman R. and Harry Smith. 1998 *Applied Regression Analysis* 3rd Edition. John Wiley & Sons. Toronto, ON.
- Elliott M., D. Burdon, J.P. Atkins, A. Borja, R. Cormier, V.N. de Jonge, R.K. Turner. 2017. "And DPSIR begat DAPSI(W)R(M)!" - A unifying framework for marine environmental management. *Marine Pollution Bulletin* 118(1-2):27-40
- Erbe C., A. MacGillivray, and R. Williams. 2012. Mapping cumulative noise from shipping to inform marine spatial planning. *J. Acoust. Soc. Am.* 132 (5): 423-428
- Erbe C., R. Williams, D. Sandilands, and E. Ashe. 2014. Identifying modeled ship noise hotspots for marine mammals of Canada's Pacific Region. *PLOS ONE* 9(11)
- Fischenich, J.C., "The Application of Conceptual Models to Ecosystem Restoration", ERDC/EBA TN-08-1, February 2008, Ecosystem Management and Restoration Research Program, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, Mississippi.
- Foley, M. M., Mease, L. A., Martone, R. G., Prahler, E. E., Morrison, T. H., Murray, C. C., & Wojcik, D. 2017. The challenges and opportunities in cumulative effects assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 62, 122-134. doi:10.1016/j.eiar.2016.06.008
- French-McCay D.2003. Development and application of damage assessment modeling: example assessment for the North Cape oil spill. *Marine Pollution Bulletin* (47): 341-359
- Furlan, E. 2017. Cumulative impacts assessment in marine areas. A multi-disciplinary approach setting the scene for the adaptive management of the Adriatic Sea.
- Gadgil, M., F. Berkes, and C. Folke. 1993. Indigenous knowledge for biodiversity conservation. *Ambio* 22:151-156.
- Gimpel A., V. Stelzenmüller, R. Cormier, J. Floeter, and A. Temming. 2013. A spatially explicit risk approach to support marine spatial planning in the German EEZ. *Marine Environmental Research* 86: 56-69
- Gissi E, Menegon S, Sarretta A, Appiotti F, Maragno D, Vianello A, et al. (2017) Addressing uncertainty in modeling cumulative impacts within maritime spatial planning in the Adriatic and Ionian region. *PLoS ONE* 12(7): e0180501. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180501>
- Greig, L., C. Wedeles and S. Beukema. 2013. *Evaluation of Tools Available for Cumulative Effects Assessment for the Northwest Territories – Literature Reviews: Models and Management*. Prepared for Government of the Northwest Territories, Department of Environment and Natural Resources Wildlife Research and Management, Wildlife Division. 101 pp.
- Guisan, Antoine, Wilfried T Huiller, Niklaus E. Zimmermann. 2017. *Habitat Suitability and Distribution Models*. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom.
- Halpern, B. S., Selkoe, K. A., Micheli, F., & Kappel, C. V. (2007). Evaluating and ranking the vulnerability of global marine ecosystems to anthropogenic threats. *Conservation Biology*, 21(5), 1301-1315.
- Halpern, B.S., S. Walbridge, K.A. Selkoe, C.V. Kappel, F. Micheli, C. D'Agrosa, J.F. Bruno, K.S. Casey, C. Ebert, H.E. Fox, R. Fujita, D. Heinemann, H.S. Lenihan, E.M.P. Madin, M.T. Perry, E.R. Selig, M. Spalding, R. Steneck, R. Watson. 2008. A global map of human impact on marine ecosystems. *Science* 319, 948-952.



Appendice C

ESSA Technologies Ltd.

- Harvey B.J. 2018. Exploring impacts of noise from shipping and acoustic deterrent devices on cetaceans on the west coast of Scotland using an ecosystem modeling approach. Thesis presented MSc. Ecosystem-based Management of Marine Systems
- Heinänen S., M.E. Chudzinska, J. B. Mortensen, T. Zhi En Teo, K. Rong Utne, L. Doksaeter Sivle, and F. Thomsen. 2018. Integrated modelling of Atlantic mackerel distribution patterns and movements: A template for dynamic impact assessments. *Ecological Modelling* 387: 118-133
- Hobday, A.J., Smith, A.D.M., Stobutzki, I.C., Bulman, C., Daley, R., Dambacher, J.M., Deng, R.A., Dowdney, J., Fuller, M. & Furlani, D. (2011) Ecological risk assessment for the effects of fishing. *Fisheries Research*, 108, 372-384.
- Hoshizaki, L. 2016. The Coastal First Nations' Regional Monitoring System. Presentation For: Marine Biotoxin Workshop North Vancouver, BC October 25th, 2016.
- Houde, N. (2007). The six faces of traditional ecological knowledge: challenges and opportunities for Canadian co-management arrangements. *Ecology and Society* 12(2), 34.
- Huntington, H.P. 2000. Using Traditional Ecological Knowledge in Science: Methods and Applications. *Ecological Applications*, 10(5), 1270-1274.
- Huntington, H.P., Suydam, R.S., and Rosenberg, D.H. (2004). Traditional knowledge and satellite tracking as complementary approaches to ecological understanding. *Environmental Conservation* 31(3):177-180.
- Johanson, A. N., Oschlies, A., Hasselbring, W., & Worm, B. (2017). SPRAT: A spatially-explicit marine ecosystem model based on population balance equations. *Ecological Modelling*, 349, 11-25. doi:10.1016/j.ecolmodel.2017.01.020
- Johnson, R.A. and D.W. Wichern. 2002. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Fifth Edition. Prentice Hall, Upper Saddle River New Jersey.
- Jones, F.C. 2016. Cumulative effects assessment: theoretical underpinnings and big problems. *Environ. Rev.* 24: 187–204
- Judd A.D., T. Backhaus, F. Goodsir. 2015. An effective set of principles for practical implementation of marine cumulative effects assessment. *Environmental Science & Policy* 54: 254–262
- Kalland, A. 2003. Indigenous Knowledge: Prospects and Limitations, Chapter 11 in *Indigenous Environmental Knowledge and its Transformations: Critical Anthropological Perspectives*. Routledge.
- Kelble CR, Loomis DK, Lovelace S, Nuttle WK, Ortner PB, et al. (2013) The EBM-DPSER Conceptual Model: Integrating Ecosystem Services into the DPSIR Framework. *PLoS ONE* 8(8): e70766. doi:10.1371/journal.pone.0070766
- Korpinen S., L. Meski, J.H. Andersen and M. Laamanen. 2012. Human pressures and their potential impact on the Baltic Sea ecosystem. *Ecological Indicators* 15: 105-114
- Korpinen S. and Andersen J.H. 2016. A Global Review of Cumulative Pressure and Impact Assessments in Marine Environments. *Front.Mar.Sci.* 3 (153) doi:10.3389/fmars.2016.00153
- Lacy, R. C., Williams, R., Ashe, E., Balcomb Iii, K. C., Brent, L. J. N., Clark, C. W., . . . Paquet, P. C. (2017). Evaluating anthropogenic threats to endangered killer whales to inform effective recovery plans. *Scientific Reports*, 7(1), 14119-12. doi:10.1038/s41598-017-14471-0
- Lerner, J. 2018. Review of cumulative effects management concepts and international frameworks. Prepared for Transport Canada under Contract T8080-170062



Appendice C

Examen des méthodes d'évaluation des effets cumulatifs du transport maritime

Rapport final

- Lewis, A.E., Hammill, M.O., Power, M., Doidge, D.W., and Lesage, V. 2009. Movement and aggregation of eastern Hudson Bay beluga whales (*Delphinapterus leucas*): a comparison of patterns found through satellite telemetry and Nunavik traditional ecological knowledge. *Arctic* 62(1):13-24.
- Longhurst, R. 2003. "Semi-Structured Interviews and Focus Groups." In *Key Methods in Geography*, editors N. Clifford, M. Cope, T. Gillespie, and S. French, 117–132. London: Sage Publications.
- Marine Plan Partnership (MaPP). 2019. MaPP Marine Plan Portal. <http://mappocean.org/resources/marine-planning-portal/>
- Marmorek, D., D. Pickard, A. Hall, K. Bryan, L. Martell, C. Alexander, K. Wieckowski, L. Greig and C. Schwarz. 2011. Fraser River sockeye salmon: data synthesis and cumulative impacts. ESSA Technologies Ltd. Cohen Commission Tech. Rep. 6. 273p. Vancouver, B.C. www.cohencommission.ca
- Manly, Bryan F.J., Lyman L. McDonald, Dana L. Thomas, Trent L. McDonald, and Wallace P. Erickson. 2002. *Resource Selection by Animals: Statistical Design and Analysis for Field Studies*. 2nd Edition. Kluwer Academic Publishers. Norwell, MA.
- Manuilova, A. 2003. Methods and tools for assessment of environmental risk. Akzo Nobel Surface Chemistry AB. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=F3B89AD0A0E9F1156DE3E802B5657CF8?doi=10.1.1.455.4807&rep=rep1&type=pdf>, p. 21.
- Mach M.E., L.M. Wedding, S.M. Reiter, F. Micheli, R.M. Fujita, R.G. Martone. 2017. Assessment and management of cumulative impacts in California's network of marine protected areas. *Ocean & Coastal Management* 137,1-11.
- Marine Traffic. 2018. What is the Automatic Identification System (AIS)? <https://help.marinetraffic.com/hc/en-us/articles/204581828-What-is-the-Automatic-Identification-System-AIS->
- Marine Plan Partnership (MaPP). 2018. Marine Plan Portal. <http://mappocean.org/resources/marine-planning-portal/>
- McCann, R. K., Marcot, B. G., and Ellis, R. (2006). Bayesian belief networks: applications in ecology and natural resource management. *Can. J. For. Res.* 36, 3053–3062. doi: 10.1139/x06-238
- MEDESS. 2018. Mediterranean Decision Support System for Marine Safety. Oil Spill Models <http://www.medess4ms.eu/oil-spill-models>
- Micheli F, Halpern BS, Walbridge S, Ciriaco S, Ferretti F, et al. (2013) Cumulative Human Impacts on Mediterranean and Black Sea Marine Ecosystems: Assessing Current Pressures and Opportunities. *PLoS ONE* 8(12): e79889. doi:10.1371/journal.pone.0079889
- Mistry, J. and A. Berardi. 2016. Bridging indigenous and scientific knowledge. *Science* 352(6291):1274-1275.
- Nazarea, V.D. 2010. *Ethnoecology: Situated Knowledge/Located Lives*. University of Arizona Press.
- Nelitz, M., H. Stimson, C. Semmens, B. Ma, and D. Robinson. 2018. Impacts of marine vessel traffic on access to fishing opportunities of the Musqueam Indian Band. Prepared for the Musqueam Indian Band
- O, Miriam, Rebecca Martone, Lucie Hannah, Lorne Greig, Jim Boutillier, and Sarah Patton. 2015. An Ecological Risk Assessment Framework (ERAF) for Ecosystem-Based Oceans Management in the



Appendice C

ESSA Technologies Ltd.

- Pacific Region. Ottawa, Ontario: DFO Canadian Science Advisory Secretariat Research Document 2014/072
- O'Neill, C., J. Wladichuk, Z. Li, A.S. Allen, H. Yurk, and D. Hannay. 2017. Cumulative Noise Modeling in the Salish Sea. Document 01369, Version 1.0. Technical report by JASCO Applied Sciences for Noise Exposure to the Marine Environment from Ships (NEMES), University of Victoria.
- The Pacific Salmon Foundation (PSF). 2015. Skeena River Estuary: A Snapshot of Current Status and Condition. Prepared for The Pacific Salmon Foundation by ESSA Technologies Ltd. https://salmonwatersheds.ca/libraryfiles/lib_432.pdf
- Patrício J., Elliott M., Mazik K., Papadopoulou K.N. and Smith C.J. 2016. DPSIR—Two Decades of Trying to Develop a Unifying Framework for Marine Environmental Management? *Front.Mar.Sci.*3:177. doi: 10.3389/fmars.2016.00177
- Pickard, D., M. Porter, E. Olson, B. Connors, K. Kellock, E. Jones, and K. Connors. 2015. Skeena River Estuary Assessment: Technical Report. Pacific Salmon Foundation, Vancouver, BC.
- Piroddi, C., Teixeira, H., Lynam, C. P., Smith, C., Alvarez, M. C., Mazik, K., Uyarra, M. C. (2015). Using ecological models to assess ecosystem status in support of the European marine strategy framework directive. *Ecological Indicators*, 58, 175-191. doi:10.1016/j.ecolind.2015.05.037
- Plagányi, É.E. 2007. Models for an ecosystem approach to fisheries. FAO Fisheries Technical Paper. No. 477. Rome, FAO. 2007. 108p.
- R Core Team: “rpart” or “randomForestSRC” packages (<http://www.r-project.org/>)
- Raoux, A., Tecchio, S., Pezy, J., Lassalle, G., Degraer, S., Wilhelmsson, D., ...Niquil, N. (2017). Benthic and fish aggregation inside an offshore wind farm: Which effects on the trophic web functioning? *Ecological Indicators*, 72, 33-46. doi:10.1016/j.ecolind.2016.07.037
- Reynolds, J. H., Knutson, M. G., Newman, K. B., Silverman, E. D., & Thompson, W. L. (2016). A road map for designing and implementing a biological monitoring program. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(7), 1-25. doi:10.1007/s10661-016-5397-x
- Singh G.G., J. Sinner, J. Ellis, M. Kandlikar, B.S. Halpern, T. Satterfield, and K.M.A. Cha. 2017. Mechanisms and risk of cumulative impacts to coastal ecosystem services: An expert elicitation approach. *Journal of Environmental Management* 199:229-241
- Smith C.J., Papadopoulou K.N., Barnard S., Mazik K., Elliott M., Patrício J., Solaun O., Little S., Bhatia N. and Borja A. 2016. Managing the Marine Environment, Conceptual Models and Assessment Considerations for the European Marine Strategy Framework Directive. *Front. Mar.Sci.*3:144. doi: 10.3389/fmars.2016.00144
- Salomon, A.K., Tanape, N.M., and Huntington, H.P. (2007). Serial depletion of marine invertebrates leads to the decline of a strongly interacting grazer. *Ecological Applications* 17(6):1752-1770.
- Stelzenmüller, V., Lee, J., South, A. & Rogers, S.I. (2010) Quantifying cumulative impacts of human pressures on the marine environment: a geospatial modeling framework. *Marine Ecology Progress Series*, 398, 19-32.
- Stelzenmüller, V., Coll, M., Mazaris, A. D., Giakoumi, S., Katsanevakis, S., Portman, M. E., Ojaveer, H. 2018. A risk-based approach to cumulative effect assessments for marine management. *Science of the Total Environment*, 612, 1132-1140
- Stephenson, S.A., and L. Hartwig. 2009. The Yukon North Slope Pilot Project: An Environmental Risk Characterization using a Pathways of Effects Model. *Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2896: vi+57p.



Appendice C

- Teck S.J., B.S. Halpern, C.V. Kappel, F. Micheli, K.A. Selkoe, C.M. Crain, R. Martone, C. Shearer, J. Arvai, B. Fischhoff, G. Murray, R. Neslo, and R. Cooke. 2010. Using expert judgment to estimate marine ecosystem vulnerability in the California Current. *Ecological Applications*, 20(5), 2010, pp. 1402–1416.
- Teichert, N., Borja, A., Chust, G., Uriarte, A., & Lepage, M. (2016). Restoring fish ecological quality in estuaries: Implication of interactive and cumulative effects among anthropogenic stressors. *Science of the Total Environment*, 542(Pt A), 383-393. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.10.068
- Tengö, M., E.S. Brondizio, T. Elmqvist, P. Malmer, M. Spierenburg. 2014. Connecting Diverse Knowledge Systems for Enhanced Ecosystem Governance: The Multiple Evidence Base Approach. *Ambio* 43:579–591.
- Thornborough, K., Rubidge, E., and O, M. 2018. Ecological Risk Assessment for the Effects of Human Activities at the Endeavour Hydrothermal Vents Marine Protected Area. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/068. ix + 69 p.
- United States Geological Services (USGS). Data Management. Modeling
https://www.usgs.gov/products/data-and-tools/data-management/analyze?qt-science_support_page_related_con=0#modeling
- Weed, D.L. 2005. Weight of Evidence: A Review of Concepts and Methods. *Risk Analysis* 25(6): 1545-1557.
- Williams, R. and P. O'Hara. 2009. Modeling ship strike risk to fin, humpback and killer whales in British Columbia, Canada. *J. CETACEAN RES. MANAGE.* 423
- Willstead E, A.B Gill, S.N.R. Birchenough, S. Jude. 2017. Assessing the cumulative environmental effects of marine renewable energy developments: Establishing common ground, *Science of The Total Environment*, Volume 577, 2017, Pages 19-32, doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.152.
- Worton, B. J. 1987. A review of models of home range for animal movement. *Ecological Modelling* 38: 277-298.
- Worton, B.J., 1989. Kernel methods for estimating the utilization distribution in home range studies. *Ecology* 70 (1), 164–168. <https://doi.org/10.2307/1938423>.



Annexe A : Effets cumulatifs et navigation maritime au Canada : Contexte général

Séquences des effets - Navigation maritime

Les séquences des effets sont des modèles conceptuels qui représentent les liens de cause à effet entre les facteurs de stress et leurs effets sur les composantes environnementales, culturelles et socioéconomiques importantes (gouvernement du Canada, 2012). Les modèles d'évaluation par les pairs sont constitués de composantes qui représentent les différentes parties du système (c.-à-d. les activités, les facteurs de stress, les composantes valorisées) reliées par des séquences des effets (exemple générique présenté à la Figure A.1) qui représentent les interactions qui entraînent des effets directs ou indirects sur ces composantes valorisées. Les séquences des effets sont habituellement accompagnées de justifications qui détaillent les preuves à l'appui des relations représentées dans le modèle.

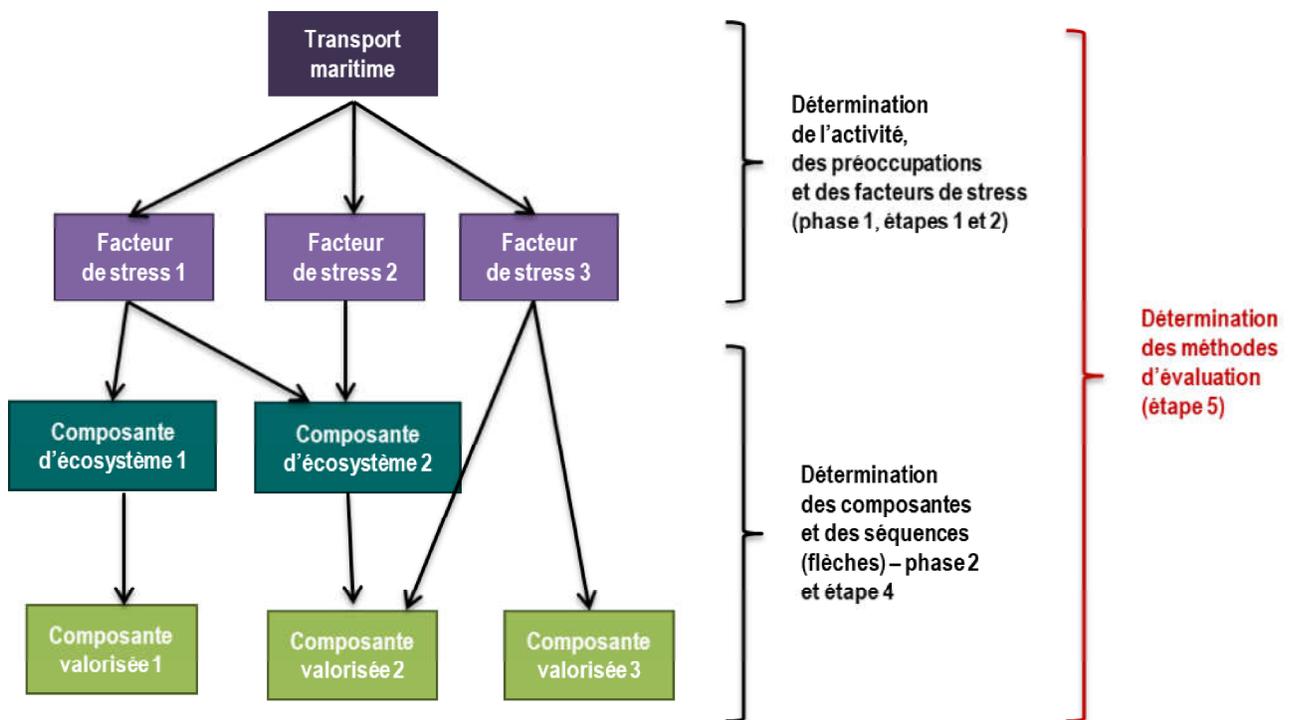


Figure A.1. L'utilité d'utiliser un modèle conceptuel simple pour les séquences des effets comme structure organisationnelle de base pour le cadre des effets cumulatifs est illustrée par l'harmonisation de ce modèle générique avec les phases et les étapes déterminées dans l'initiative ECTM. Il est à noter que les composantes valorisées peuvent être écologiques, culturelles ou socio-économiques.

Appendice C

Les modèles de SdE sont des outils de communication utiles car ils articulent explicitement la compréhension actuelle du système, fournissant une compréhension commune à partir de laquelle faciliter les discussions et prendre des décisions. Les modèles des SdE constituent une étape importante de tout cadre d'évaluation des effets cumulatifs, quelles que soient les approches d'évaluation utilisées.

Le MPO dirige actuellement l'élaboration de modèles de SdE pour la navigation maritime. Les diagrammes finaux des SdE seront éclairés par les travaux antérieurs ainsi que par les opinions d'experts et l'examen de la documentation effectués dans le cadre d'un processus du Secrétariat consultatif scientifique canadien.

Les projets en cours dans le cadre de la phase 2 (2018-2020) comprennent l'identification des composantes valorisées pour six régions pilotes, la cartographie des liens entre les facteurs de stress et les composantes valorisées, et la détermination des méthodes d'évaluation, qui est au cœur du présent rapport. Figure A.2 présente les activités et les facteurs de stress relevés lors de la récente participation de Transports Canada et dans le rapport consultatif scientifique du MPO (2015).

Lorsqu'on leur a demandé comment la navigation maritime pouvait affecter l'environnement ou les utilisations traditionnelles des ressources environnementales, les nations autochtones, les collectivités côtières et d'autres intervenants ont relevé sept grandes catégories d'activités, y compris le débardage/le dragage, l'ancrage, l'échouage/l'épave, les rejets opérationnels et accidentels, les déplacements en eau libre et la récolte (c'est-à-dire les effets des navires de pêche spécifiquement associés aux mouvements des navires). Ces activités entraînent de multiples facteurs de stress (Figure A.2) sur les composantes à valeur écologique et sociale.

Au total, 778 composantes valorisées potentielles (CV) ont été relevées pour les six régions pilotes, y compris les composantes biologiques, physiques et sociales (Figure A.3). Cette liste de CV, dérivée principalement des études d'impact environnemental et social, sera développée plus avant et les CV prioritaires seront déterminés dans le cadre de l'engagement régional à venir dans la phase 2.

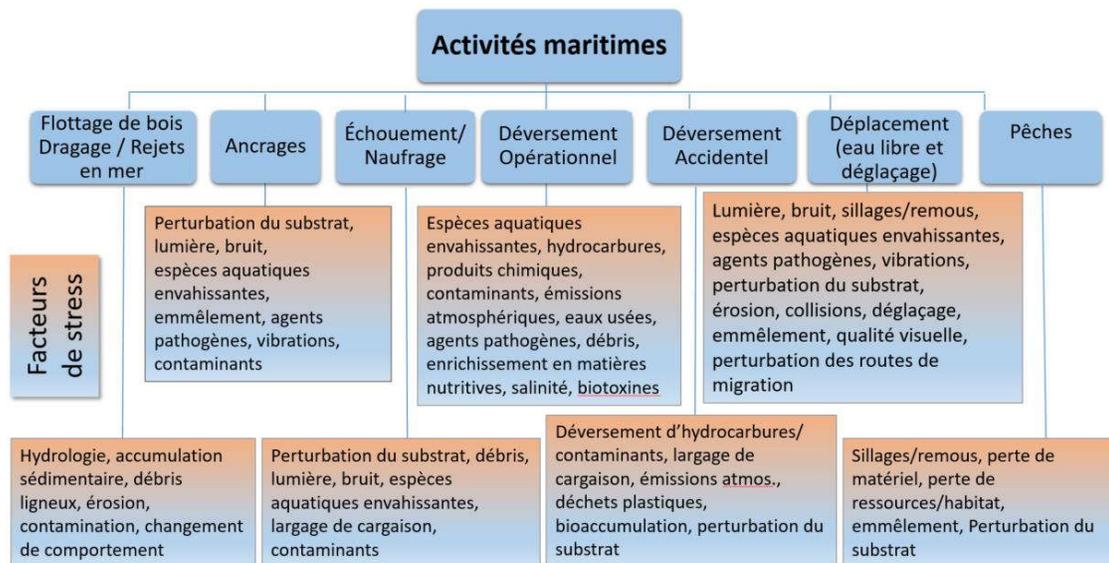


Figure A.2. Activités et facteurs de stress relevés lors de la récente participation de Transports Canada et dans le rapport consultatif scientifique du MPO (2015).



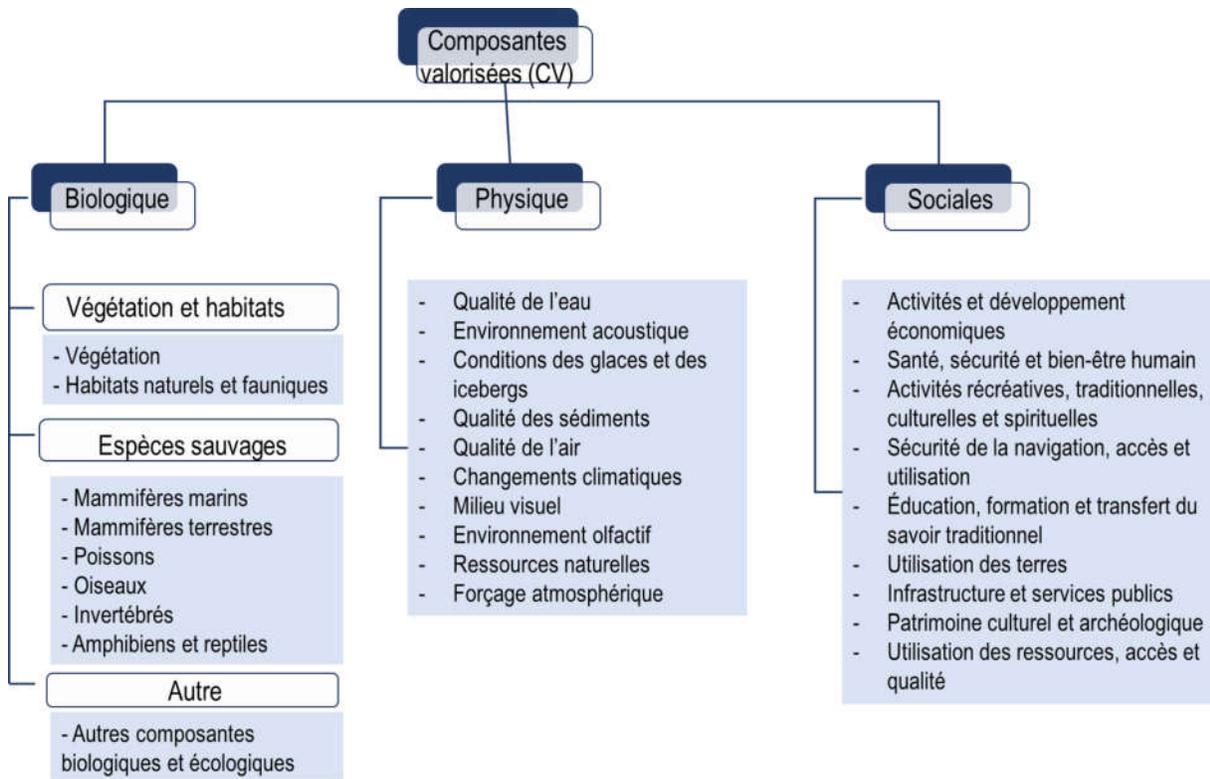


Figure A.3. Catégories générales de composantes valorisées relevées pour les six régions pilotes

Contexte régional

Cette section présente les six régions pertinentes pour l'initiative ECTM, les préoccupations des intervenants pour chacune de ces régions, les types de navires et les activités caractéristiques prévalant dans la région, les composantes valorisées qui ont été relevées jusqu'à présent, ainsi que toute initiative récente ou en cours concernant les effets cumulatifs mis en œuvre dans les régions. La disponibilité des données régionales est résumée dans la section sur la disponibilité des données de la présente annexe.

Arctique

Trafic maritime

Différentes communautés ont exprimé des préoccupations différentes concernant la navigation maritime. Le trafic maritime et l'exploitation minière sont deux activités qui ont été identifiées comme ayant un effet sur la communauté d'Iqaluit. Lors d'un atelier tenu en mai 2018 à Cambridge Bay, les participants ont identifié les « super barges » comme un type de navire particulièrement préoccupant en raison de la perturbation de la faune, du réchauffement des eaux et de l'introduction d'espèces envahissantes (Gouvernement du Canada 2018a). Au cours d'un atelier tenu en juin 2018 à Inuvik (T.N.-O.), les participants ont identifié les types de navires les plus préoccupants pour la région désignée des Inuvialuit, à savoir les navires de croisière, les yachts, les bateaux de plaisance et les embarcations touristiques (IGC 2018).

Cambridge Bay Vessel Transits - All Vessel Types, Sept 2018

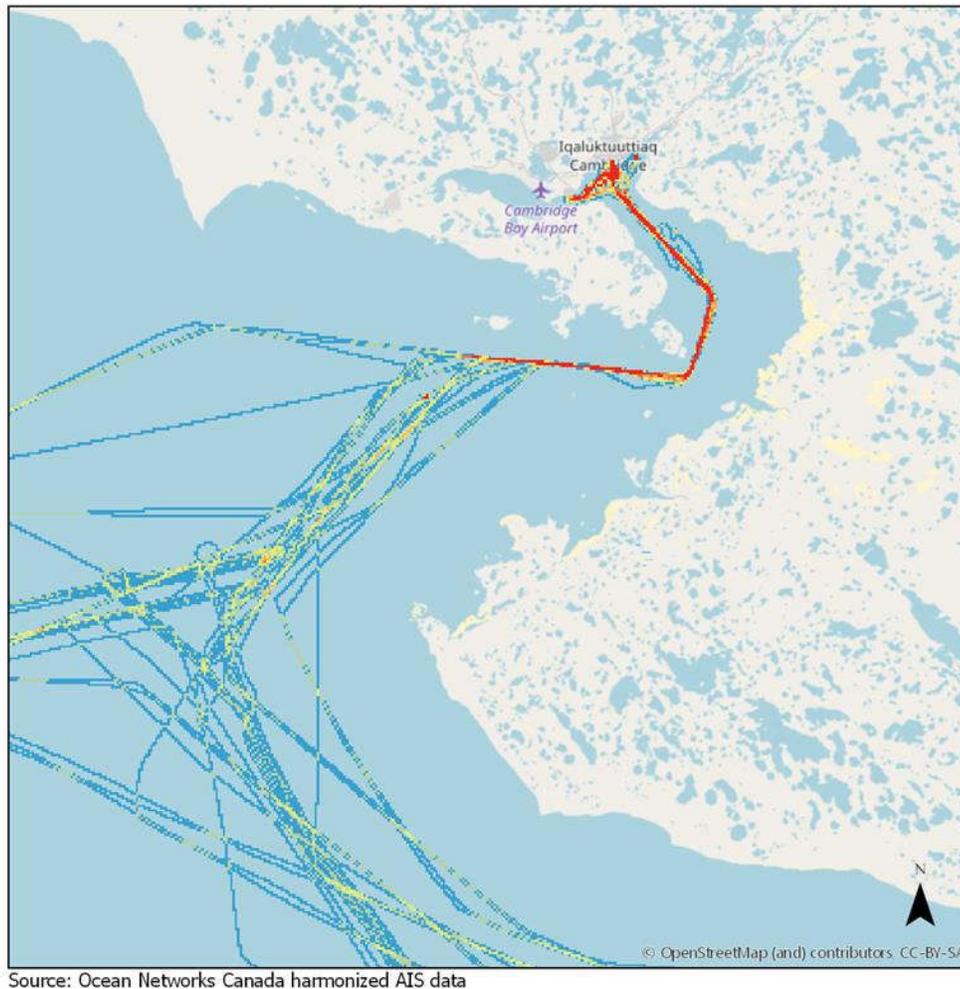


Figure A.4. Carte thermique des navires en transit pour la région de Cambridge Bay. Carte fournie par Transports Canada. Remarque : l'information sur l'activité des navires est fondée sur les données du Système d'identification automatique (SIA) et, par conséquent, les embarcations qui n'utilisent pas le SIA (p. ex. les petits bateaux de plaisance) ne sont pas représentés sur cette carte.

Préoccupations

Lors d'une réunion du Plan de protection des océans (PPO) à Iqaluit en 2017, les intervenants ont exprimé leurs préoccupations les plus prioritaires concernant leur environnement marin. Les zones marines et les sources de nourriture marine dont les Inuits dépendent constituent une grande préoccupation en raison de la dégradation causée par les rejets provenant de l'exploitation minière et de l'expédition (PPO 2017a). L'augmentation des incidences du trafic maritime sur les mammifères marins, le bris des glaces causé par les navires, la pollution des eaux usées des navires, les déversements d'hydrocarbures, le bruit et les effets physiques du mouillage sur les fonds marins sont autant de préoccupations. L'augmentation de la fréquence et de la durée des mouillages a été identifiée comme une préoccupation pour les résidents de la région (letstalktransportation.ca). La perte de morses et le déclin des bélugas, l'évolution des courants, les espèces envahissantes et les déchets dans les filets de pêche et sur les plages autour des îles Belcher ont été soulevés comme une préoccupation locale (IGF 2018, PPO 2017a).

Lors d'un atelier organisé par Transports Canada du 16 au 18 octobre 2017 à St. John's (Terre-Neuve) et portant sur la navigation dans les corridors arctiques, les participants ont exprimé leur appréhension face à plusieurs possibilités liées à la navigation maritime. Il s'agit notamment de la capacité d'intervention en cas de déversement d'hydrocarbures (y compris l'équipement, les lacunes juridiques, l'entretien irrégulier et l'accès à l'équipement et aux ressources d'entreposage et d'élimination), des capacités de sauvetage de masse et des effets du changement climatique sur la navigation maritime et le trafic maritime accru dans les régions arctiques qui pourraient avoir une incidence sur le transport et l'alimentation du narval, du béluga et du phoque (gouvernement du Canada 2017a). L'accès communautaire à la chasse au narval par la rivière Mary, où le trafic de voyageurs et de pétroliers est élevé, était également une préoccupation. Plusieurs de ces préoccupations ont également été exprimées lors d'un atelier tenu en juin 2018 à Inuvik, T.N.-O. (IGF 2018).

Au cours d'un atelier tenu le 2 mai 2018 à Cambridge Bay, les participants ont identifié la sécurité alimentaire, l'augmentation du trafic maritime lié au tourisme, l'interférence des navires pendant la saison de chasse, la pollution, les déversements d'hydrocarbures, le bruit, les eaux grises, le changement des habitudes migratoires des mammifères marins, les effets des brise-glaces sur la chasse et la migration du caribou, et l'incapacité de repérer les petits navires dans la communauté pour être préoccupants (gouvernement du Canada 2018a).

Composantes valorisées

Plusieurs CV biologiques ont été identifiées pour cette région : 19 mammifères marins (y compris les morses, les narvals, les bélugas et les baleines boréales), 12 mammifères terrestres (y compris les ours polaires, les bœufs musqués, les lièvres arctiques et les orignaux), 25 espèces de poissons, 11 oiseaux, 13 invertébrés, 5 plantes, 16 habitats et 5 autres composantes écologiques sont inclus sous cette catégorie.

Les CV physiques comprennent la qualité de l'eau (6), l'environnement acoustique (3), l'état des glaces (1), la qualité des sédiments (4), la qualité de l'air (3), les changements climatiques (1) et le milieu visuel (1).

La région arctique compte un nombre important de sociétés de capital-risque socio-économiques pertinentes. Il s'agit notamment des activités et du développement économiques (7), de la santé, de la sécurité et du bien-être humains (9), des activités récréatives, traditionnelles, culturelles et spirituelles (7), de la sécurité de la navigation, de l'accès et de l'utilisation (4), de la formation et du transfert du savoir traditionnel (3), de l'utilisation des terres (2), des infrastructures et services publics (2), du patrimoine culturel et archéologique (2), et du patrimoine naturel.

État actuel des pratiques de l'EC dans la région

Plusieurs groupes, dont le Partenariat de la mer de Beaufort, le Programme de surveillance des effets cumulatifs des Territoires du Nord-Ouest (PSRC), le Conseil Inuvialuit de gestion du gibier (CIG) et le Fonds mondial pour la nature (WWF), ont entrepris des travaux sur les effets cumulatifs dans la région arctique de Cambridge Bay et ses environs (Partenariat 2009, Campagnola, communication personnelle, IGF 2018, Territoires du Nord-Ouest 2018a). Depuis 2008, la Stratégie d'intendance de l'eau des Territoires du Nord-Ouest travaille à une initiative visant à définir une stratégie relative à l'eau, y compris l'évaluation des effets cumulatifs de l'utilisation anthropique de l'eau et des terres et des dépôts de déchets dans le bassin versant (Territoires du Nord-Ouest 2018b). Le Groupe des corridors arctiques (www.arcticcorridors.ca), en partenariat avec Northern Voices, a étudié et rédigé de nombreux rapports sur des sujets comme les changements climatiques, les effets du tourisme de plaisance et les effets cumulatifs de la navigation maritime (Arctic Corridors and Northern Voices 2018). Des études d'évaluation environnementale ont été réalisées par la Commission du Nunavut chargée de l'examen des répercussions et des efforts de collaboration dans le cadre de l'initiative d'évaluation environnementale stratégique régionale de Beaufort (<https://rsea.inuvialuit.com/>).



Terre-Neuve

Trafic maritime

Placentia Bay
Vessel Transits - All Vessel Types, Sept 2018

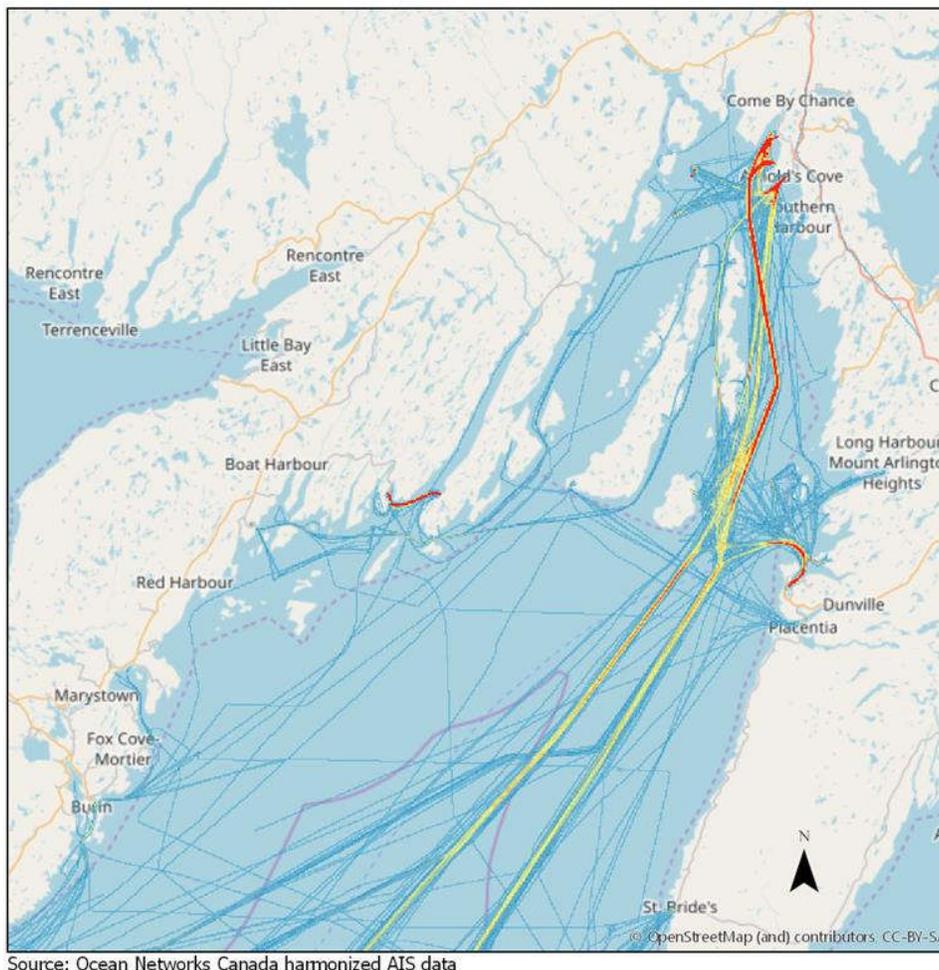


Figure A.5. Carte thermique des navires en transit pour la région de Placentia Bay. Carte fournie par Transports Canada. Remarque : l'information sur l'activité des navires est fondée sur les données du Système d'identification automatique (SIA) et, par conséquent, les embarcations qui n'utilisent pas le SIA (p. ex. les petits bateaux de plaisance) ne sont pas représentés sur cette carte.

Préoccupations

Des préoccupations générales concernant la protection de l'environnement, les déversements d'hydrocarbures, le manque d'information sur l'état des vents et des vagues, la sécurité, l'inclusion des groupes autochtones dans les initiatives et la protection du savoir traditionnel, des cultures et des facteurs socioéconomiques ont été exprimées lors de la séance de participation du Plan de protection des océans (PPO) à St. John's, Terre-Neuve le 28 mars 2018.

Parmi les préoccupations soulevées par les participants au sujet du processus, mentionnons l'équilibre entre les possibilités économiques et la protection des ressources communautaires, et le fait que le savoir

traditionnel sont incluses dans les initiatives. Les participants voulaient s'assurer que suffisamment de temps est alloué à toute initiative de manière à ce que des analyses approfondies puissent être effectuées, que la protection de la vie privée soit prise en compte et que les risques du trafic maritime soient correctement pris en compte (Lorne Pike & Associates 2018).

Composantes valorisées

Quatre mammifères marins, dont des cétacés, des loutres et des pinnipèdes, un mammifère terrestre, 11 espèces de poissons, dont le thon rouge et la morue franche, 14 oiseaux, 10 invertébrés, 1 herpétile (tortues marines), 4 espèces de plantes aquatiques et terrestres, et 7 habitats aquatiques et terrestres ont été identifiés jusqu'ici comme composantes biologiques valorisées pour Terre-Neuve.

Les CV physiques comprennent quatre considérations relatives à la qualité de l'eau et une considération environnementale acoustique, une considération relative à la qualité des sédiments, une considération relative à la qualité de l'air, une considération relative aux changements climatiques et une considération environnementale visuelle.

Les CV sociales comprennent une activité économique (pêche commerciale), les activités récréatives, traditionnelles, culturelles et spirituelles (3), la sécurité de la navigation, l'accès et l'utilisation (1), l'utilisation du sol (1), l'infrastructure et le service public (1), et le patrimoine culturel et archéologique (1).

État actuel des pratiques de l'EC dans la région

Une ébauche récente d'un plan d'évaluation régionale des forages d'exploration pétrolière et gazière extracôtiers à l'est de Terre-Neuve-et-Labrador a été publiée, qui visera à évaluer les effets cumulatifs actuels et prévus de ces activités, ainsi que les autres perturbations physiques qui pourraient en résulter (gouvernement du Canada, 2018b).

Nouveau-Brunswick

Trafic maritime

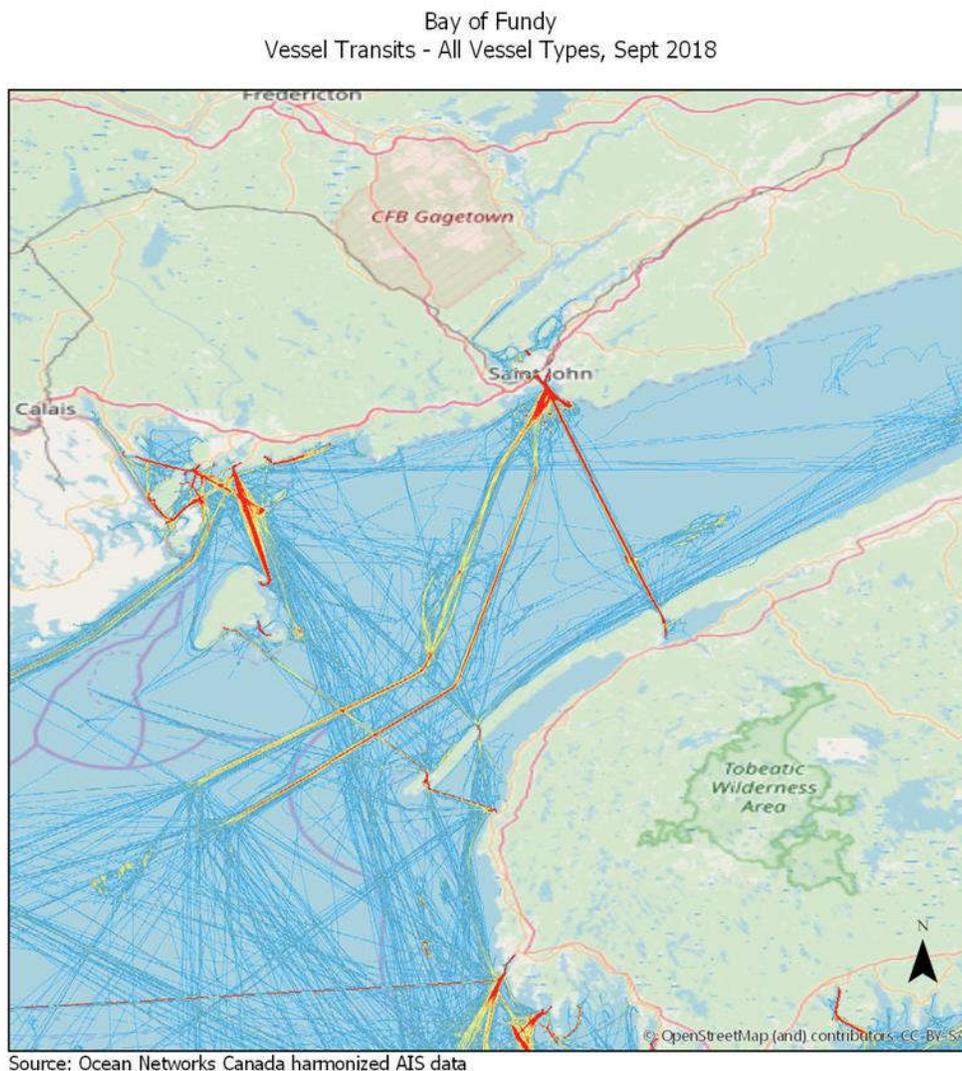


Figure A.6. Carte thermique des navires en transit pour la région de la Baie de Fundy. Carte fournie par Transports Canada. Remarque : l'information sur l'activité des navires est fondée sur les données du Système d'identification automatique (SIA) et, par conséquent, les embarcations qui n'utilisent pas le SIA (p. ex. les petits bateaux de plaisance) ne sont pas représentés sur cette carte.

Préoccupations

Un atelier a été organisé par Transports Canada le 25 janvier 2018 à Moncton, au Nouveau-Brunswick, afin de recueillir des commentaires et des idées sur les éléments du Plan de protection des océans qui sont pertinents pour la région. La principale cause de préoccupation concernant les effets cumulatifs de l'augmentation du trafic maritime était les fuites d'hydrocarbures et la pollution causées par les navires, et les effets qui en résultent sur les zones et les espèces côtières. Les participants se sont également dits préoccupés par les impacts environnementaux des navires coulés et par le risque accru de collision entre la faune marine et les engins de pêche.

Composantes valorisées

Sept espèces/communautés végétales, 9 habitats, 3 mammifères marins dont la baleine noire du Nord, 10 mammifères terrestres dont l'orignal et le lynx, 12 poissons dont le flétan, 5 oiseaux et 5 invertébrés ont été identifiés comme CV biologiques pour cette région.

Les CV physiques de la région comprennent quatre considérations relatives à la qualité de l'eau et une pour l'environnement acoustique, l'état des glaces, la qualité des sédiments, la qualité de l'air, les changements climatiques et l'environnement visuel.

Les CV sociales comprennent 1 activité/développement économique (pêche commerciale), 6 activités de santé, de sécurité et de bien-être, 5 activités récréatives, traditionnelles, culturelles et spirituelles, une activité d'utilisation des terres et une considération du patrimoine culturel et archéologique.

État actuel des pratiques de l'EC dans la région

L'initiative de planification de l'intervention dans les secteurs (PRA) du gouvernement canadien, qui s'est déroulée entre 2014 et 2017, visait à aider la baie de Fundy à élaborer des plans d'intervention en cas de déversement d'hydrocarbures dans quatre secteurs pilotes en utilisant une méthode d'évaluation des risques. Le programme comprenait une évaluation de l'hypersensibilité environnementale (<https://www.tc.gc.ca/eng/marinesafety/oep-ers-arp-4473.html>).



Québec

Trafic maritime

Le trafic maritime, le mouillage des paquebots de croisière près des baies et le trafic des navires de la Garde côtière étaient des activités préoccupantes pour la région.

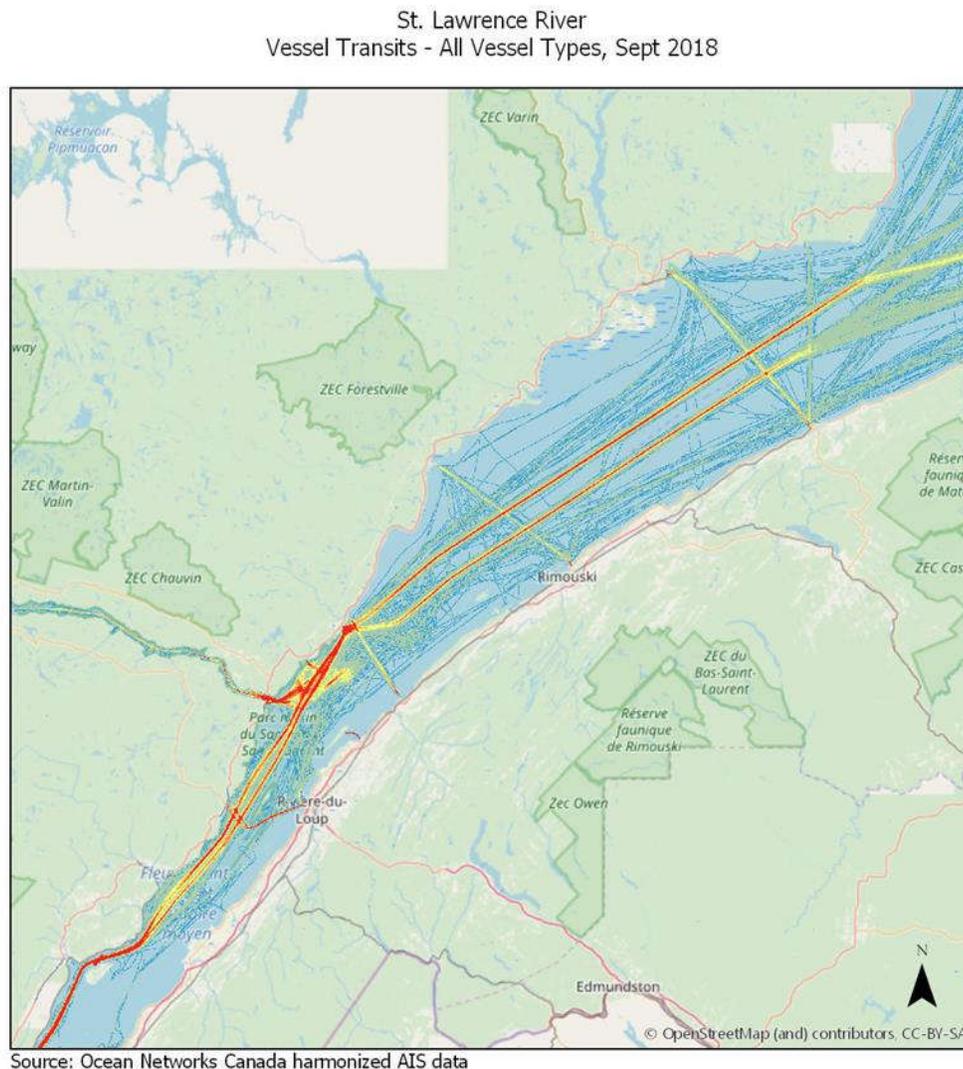


Figure A.7. Carte thermique des navires en transit pour le fleuve Saint-Laurent. Carte fournie par Transports Canada. Remarque : l'information sur l'activité des navires est fondée sur les données du Système d'identification automatique (SIA) et, par conséquent, les embarcations qui n'utilisent pas le SIA (p. ex. les petits bateaux de plaisance) ne sont pas représentés sur cette carte.

Préoccupations

Plusieurs préoccupations relatives aux activités des navires ont été précisées lors des séances de consultation tenues à Québec le 7 novembre 2017 (Premières nations seulement) et le 8 novembre 2017 (intervenants seulement). Il est à noter que les intervenants se sont dits préoccupés par les effets de l'augmentation du trafic maritime en matière d'effets du bruit et des collisions avec les bélugas et autres mammifères marins, le risque de déversements d'hydrocarbures, la pollution lumineuse, les sites du patrimoine marin, les eaux usées des navires, les changements climatiques, la capacité du Saint-Laurent, le dragage, les effets du mouillage sur la faune, les questions relatives aux navires abandonnés, l'introduction des espèces envahissantes, l'érosion côtière due aux vagues des navires (gouvernement du Canada 2017b, IDDPNQL 2017) et autres. La surpêche du homard avec l'arrivée d'un plus grand nombre de navires de passage en Gaspésie est préoccupante (gouvernement du Canada 2017b). Le fait que des facteurs de stress différents s'appliqueraient à différentes composantes valorisées dans des zones distinctes de la région a été soulevé; par exemple, le trafic maritime peut affecter principalement les pêches dans une zone, tandis que l'érosion des rives est une préoccupation prioritaire dans une autre zone. Les participants étaient également préoccupés par le fait que les études sur les effets cumulatifs tiennent compte des études régionales existantes et suivent le cadre de la Loi sur l'évaluation environnementale (LEE) (IDDPNQL 2017). Les intervenants ont affirmé que les prises d'eau, les rejets d'eaux usées et leurs effets de l'érosion devraient être pris en compte (gouvernement du Canada 2017b).

On craignait que l'augmentation du trafic de navires sur la voie maritime n'entraîne une recrudescence des conflits, de la sécurité et de l'accès aux Premières nations qui utilisent les zones proches du fleuve pour la pêche et les loisirs. Un équilibre a été trouvé entre les efforts d'atténuation, tels que la vitesse réduite des navires, et la capacité des Premières nations de participer à des activités telles que la pêche. Les effets sur la pêche au crabe des Premières Nations ont également été mis en évidence. Il a été recommandé que les informations et les données soient recueillies avec la participation des Premières Nations et de plusieurs communautés différentes afin de garantir la prise en compte des différents points de vue (IDDPNQL 2017).

Les intervenants s'inquiétaient de l'étendue spatiale de la région ciblée, suggérant que les zones fluviales du Saint-Laurent et du lac Saint-Pierre soient incluses dans les analyses, car il s'agit de zones dans lesquelles un développement portuaire important est en cours et que des années avant la construction des voies maritimes du Saint-Laurent (1954) sera également incluse dans les analyses temporelles. Il a également été suggéré qu'un site dans les régions du Nunavik et/ou d'Eeyou-Istchee Baie-James soit ajouté à la liste des sites mais ne soit pas inclus dans le site du Saint-Laurent. Ils ont également recommandé de prendre en considération l'ensemble du système plutôt qu'une partie (IDDPNQL 2017, gouvernement du Canada 2017b, Transports Canada 2018).

Composantes valorisées

Les CV biologiques identifiées pour cette région comprennent : 14 espèces et communautés de plantes aquatiques et terrestres, 16 habitats, y compris les marais salants, les herbiers de zostère et les aires protégées, 4 mammifères marins, dont le béluga, 5 mammifères terrestres, dont le caribou, le campagnol rupestre et les belettes pygmée, 17 poissons, 8 oiseaux, 8 invertébrés, y compris coraux et éponges, et 7 herpétiles, incluant différentes espèces de tortues.

La qualité de l'eau, l'environnement acoustique, l'état des glaces, la qualité de l'air et les changements climatiques, ainsi que la qualité des sédiments et les trois composantes valorisées pour l'environnement visuel constituent la catégorie des CV physiques.

Diverses CV sociales sont pertinentes pour cette région, à savoir : 3 activités économiques et de développement, y compris le tourisme et la pêche commerciale, 5 considérations relatives à la santé humaine, la sécurité et le bien-être, 7 activités récréatives, traditionnelles, culturelles et spirituelles, y compris la pêche récréative et l'ornithologie, 2 considérations relatives à la sécurité de la navigation, différentes considérations



Appendice C

Examen des méthodes d'évaluation des effets cumulatifs du transport maritime

Rapport final

relatives à l'accès et à l'utilisation, éducation, formation et transfert du savoir traditionnel (1), utilisation des sols (1), infrastructure et service public (1), patrimoine culturel et archéologique (2), utilisation des ressources, accès et qualité (1).

État actuel des pratiques de l'EC dans la région

Les initiatives portant sur les effets cumulatifs mises en œuvre ou en cours au Québec comprennent la phase 1 du travail de caractérisation pluriannuel des écosystèmes côtiers, qui porte sur la collecte de données dans la zone pilote de l'estuaire marin et l'initiative du Plan d'action national du Canada visant à réduire les effets du bruit des navires et des collisions avec des baleines dans le golfe du Saint-Laurent (gouvernement du Canada 2017b, gouvernement du Canada 2018d).

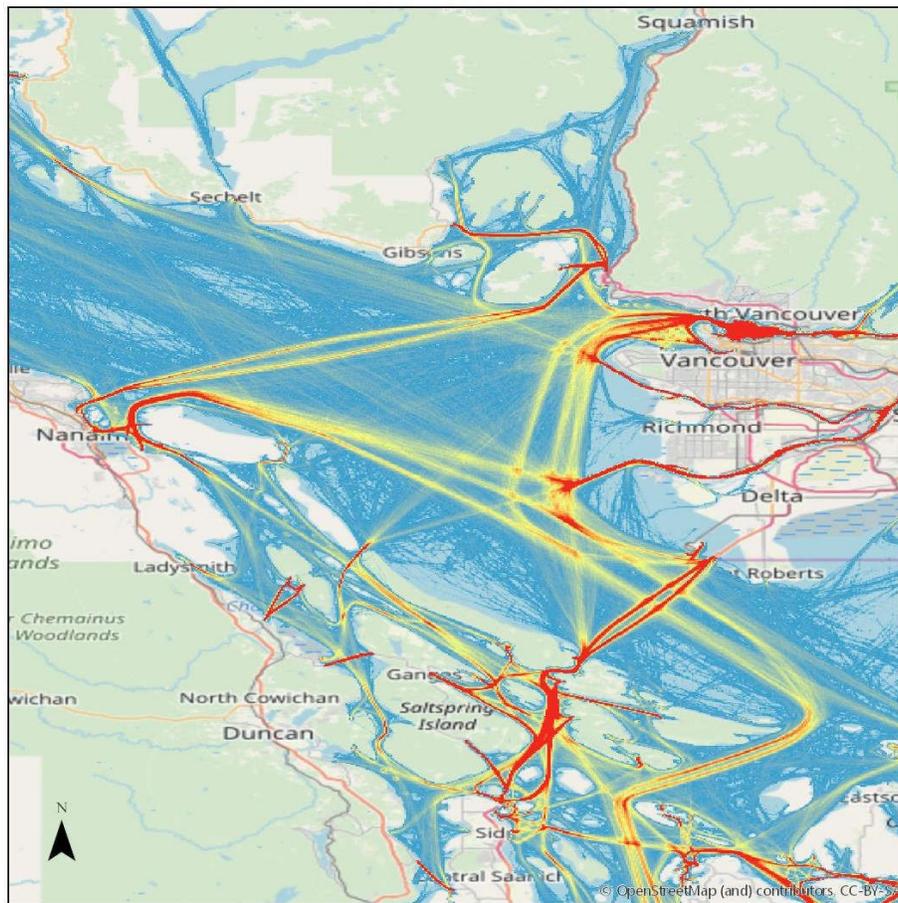
Sud de la C.-B.

Trafic maritime

Le trafic maritime et l'augmentation de la vitesse des navires, liés à la croissance démographique et à l'augmentation correspondante du nombre de bateaux de plaisance et de traversiers, ont été signalés comme des activités extrêmement préoccupantes (One World Inc., 2017a). Le dragage et la pisciculture sont d'autres activités mentionnées qui ont préoccupé les intervenants lors du forum de 2017 à Vancouver (One World Inc. 2017a).



Vancouver Area
Vessel Transits - All Vessel Types, Sept 2018



Source: Ocean Networks Canada harmonized AIS data

Figure A.8. Carte thermique de transit des navires pour la région de Vancouver. Carte fournie par Transports Canada. Remarque : l'information sur l'activité des navires est fondée sur les données du Système d'identification automatique (SIA) et, par conséquent, les embarcations qui n'utilisent pas le SIA (p. ex. les petits bateaux de plaisance) ne sont pas représentés sur cette carte.

Au cours d'un atelier tenu les 23 et 24 octobre 2018 à Victoria, en Colombie-Britannique, on a demandé aux participants d'identifier les types d'activités de navire qu'ils jugeaient les plus pertinents. Ils ont identifié les rejets accidentels et opérationnels, les échouements et démolitions, les déplacements en eau libre et la surveillance et l'échantillonnage comme étant les activités les plus utilisées par les navires dans tous les domaines de discussion (travailleurs, navires gouvernementaux et de recherche, transport maritime, militaire, remorqueurs et barges, pêche commerciale, pêche sportive, bateaux de croisière, bateaux d'observation des baleines et bateaux de plaisance) (McWhinnie et coll. 2018).

Préoccupations

Au cours du forum de dialogue sur la côte sud à Vancouver (One World Inc. 2017a), les intervenants étaient particulièrement préoccupés par la pollution résultant des émissions des navires et des accidents de navire

Appendice C

Examen des méthodes d'évaluation des effets cumulatifs du transport maritime

Rapport final

(émissions dans l'air, déversements d'hydrocarbures, rejets d'eaux usées, résidus de peinture des navires et pollution liée aux catastrophes naturelles), la pollution sonore et lumineuse et les perturbations sur le rivage et les fonds marins (érosion du rivage provoquée par le sillage des navires) sur la santé de l'homme, de l'environnement et des espèces menacées. Perturbations physiques et pollution résultant du dragage et du développement commercial, transmission virale par les piscicultures, espèces envahissantes, déchets de navires, changement climatique, effets des épaulards résidents du Sud dus aux collisions avec des navires et à leurs sources de nourriture, et effets du trafic maritime intensifié sur l'observation des baleines les visites ont également été mises en valeur (One World Inc. 2017a).

Des préoccupations concernant l'étendue spatiale du site pilote du port de Vancouver ont également été mentionnées, et il a été recommandé que les limites spatiales s'étendent au-delà des limites administratives, afin d'inclure les côtes nord et sud, voire l'aire de répartition de l'épaulard résident du sud (One World Inc. 2017a).

Il a également été question de veiller à ce que les Premières nations conservent leurs territoires traditionnels et leurs droits de pêche, et de réduire tout impact économique sur les pêches des Premières nations et commerciales.

Lors du forum de Vancouver, les préoccupations liées au processus ont été notamment de s'assurer que les connaissances des communautés côtières sont incorporées lors de la collecte de données, que les zones situées au-delà du port de Vancouver soient incluses dans toute collecte de données de base afin de prendre en compte les niveaux de pollution déjà présents dans la région et que les effets du changement climatique pourraient obscurcir l'interprétation des mesures de base. Il a également été précisé que les données collectées reflétaient la saisonnalité (One World Inc. 2017a).

Activités

Composantes valorisées

Au total, 140 composantes valorisées biologiques ont été identifiées pour le sud de la Colombie-Britannique, le plus grand nombre des six régions ciblées. Quarante poissons, dont des salmonidés, 15 oiseaux, 13 invertébrés, dont des coraux, des éponges et des échinodermes, 32 plantes et 22 habitats contribuent de manière significative à ce nombre. Les mammifères marins (6), y compris plusieurs espèces de baleines, telles que l'épaulard résident du Sud, les mammifères terrestres (3) et les herpétiles (4), constituent le reste.

Les CV physiques comprennent la qualité de l'eau (6), l'environnement acoustique (3), y compris les vibrations et le bruit sous-marin ou aérien, la qualité des sédiments (3), la qualité de l'air (1), l'environnement visuel (4), y compris les effets visuels de la navigation maritime et la beauté des paysages, et ressources naturelles (1).

Six activités économiques et de développement, y compris le tourisme et la pêche commerciale, 5 considérations relatives à la santé, à la sécurité et au bien-être humains, 5 activités récréatives, traditionnelles, culturelles et spirituelles, y compris la pêche récréative, 4 considérations relatives à la sécurité de la navigation, à l'accès et à l'utilisation, 1 éducation, formation et le transfert du savoir traditionnel, 3 l'utilisation des terres, 8 l'infrastructure et le service public, et 4 composantes à valeur sociale du patrimoine culturel et archéologique sont importantes pour cette région.

État actuel des pratiques de l'EC dans la région

La nation Tsleil-Waututh a réalisé des évaluations des effets cumulatifs pour la région et a également formulé des observations sur la pertinence des travaux de renforcement des capacités et de l'addenda à la marine marchande proposés pour le projet du terminal 2 de Robert's Bank (Smith 2016), ainsi que pour le projet de pipeline TransMountain. La bande indienne de Musqueam a récemment terminé une évaluation des effets du trafic maritime sur l'accès aux possibilités de pêche (Nelitz et coll. 2018). Des travaux supplémentaires de renforcement des capacités ont été entrepris dans la baie Howe (Campagnola, J. pers. comm).



Nord de la Colombie-Britannique

Trafic maritime

Le trafic maritime a été la principale activité préoccupante relevée par les intervenants lors du Forum de dialogue sur la côte nord tenu à Prince Rupert (One World Inc., 2017b). La navigation de plaisance, les traversiers, les navires de pêche commerciale et la navigation maritime étaient les formes de trafic maritime les plus préoccupantes.

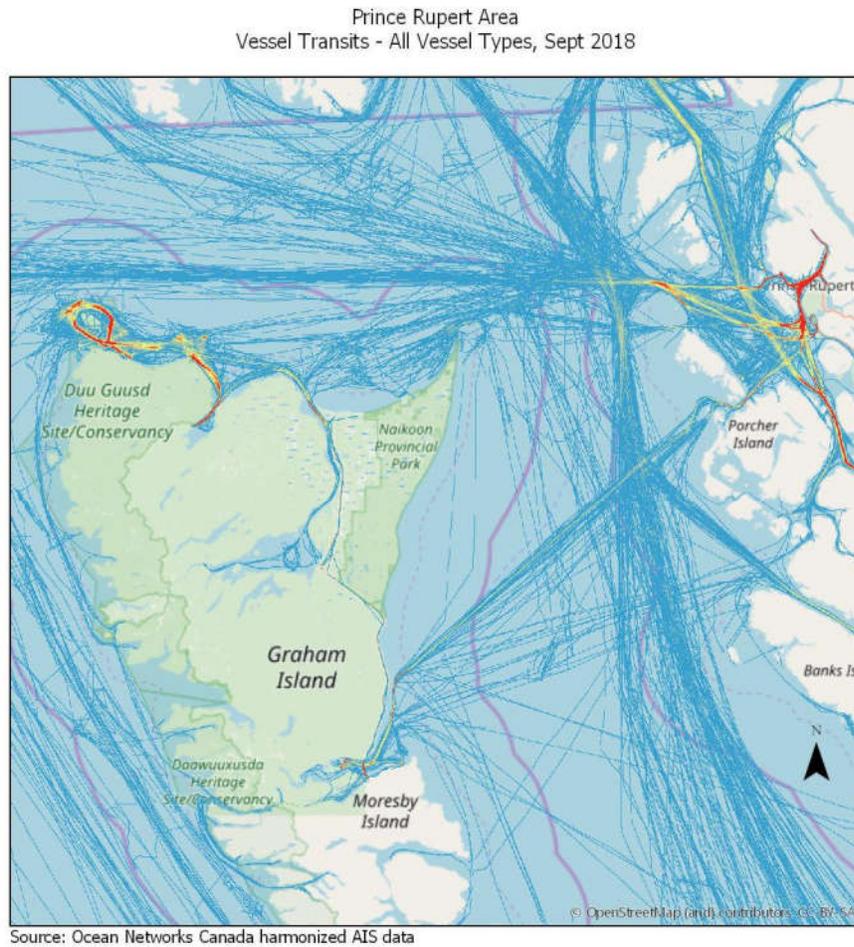


Figure A.9. Carte thermique de transit des navires pour la région de Prince Rupert. Carte fournie par Transports Canada. Remarque : l'information sur l'activité des navires est fondée sur les données du Système d'identification automatique (SIA) et, par conséquent, les embarcations qui n'utilisent pas le SIA (p. ex. les petits bateaux de plaisance) ne sont pas représentés sur cette carte.

Préoccupations

Préoccupations concernant les effets de la pollution de l'eau et de l'air par les navires, les marées noires, les navires transportant du gaz naturel liquéfié (GNL), le bruit et la lumière des navires, les perturbations physiques

Appendice C

Examen des méthodes d'évaluation des effets cumulatifs du transport maritime

Rapport final

(collisions de baleines, érosion du sillage des navires, affouillement d'ancrage, espèces envahissantes), le dragage, le flottage de billes et les effets du changement climatique sur le bien-être de la vie humaine et marine, ainsi que sur la santé de l'écosystème dans son ensemble, étaient une priorité absolue pour Prince Rupert (One World Inc., 2017b, PPO 2018a).

Les interactions entre l'ancrage accru des grands navires et la récolte de pêche des Premières nations et le bien-être du saumon, les navires abandonnés et les interactions des grands navires avec des navires plus petits, comme des navires de pêche, ont également été mentionnées comme une préoccupation de la région. De même, l'interférence de grands navires avec les pêcheries alimentaires, sociales et cérémoniales des Premières Nations (FSC) près de l'estuaire de Skeena a été présentée comme étant un problème (One World Inc., 2017b). Une autre préoccupation notable pour la région était que les analyses des effets cumulatifs devraient englober une zone géographique plus grande, respectant les limites écologiques plutôt que les limites administratives, y compris l'estuaire de Skeena, et s'étendant jusqu'à Haida Gwaii, la pointe sud de l'Alaska et à l'intérieur des lacs et des rivières. (One World Inc., 2017b).

Outre les préoccupations écologiques et sociales, les préoccupations liées aux processus de collecte de données reproductibles, engageant les Premières Nations, prenant en compte la saisonnalité et considérant que différentes priorités de la communauté en matière de collecte ont également été soulevées. Il a également été noté que les données recueillies historiquement devaient être incluses dans les évaluations des effets cumulatifs (One World Inc., 2017b). Les Premières Nations ont exprimé des préoccupations quant à la sensibilité lors de la prise en compte des aspects socio-économiques des études dans lesquelles elles sont engagées (PPO 2018a).

Composantes valorisées

114 CV biologiques ont été identifiées pour le nord de la Colombie-Britannique, notamment : 38 espèces et communautés de plantes aquatiques et terrestres, y compris la fougère de réglisse, la canneberge des marais et plusieurs espèces d'arbres à feuillage persistant, 18 habitats, 4 mammifères marins, 5 mammifères terrestres, dont le grizzli et l'orignal, 9 poissons, 9 oiseaux, 18 invertébrés et 9 reptiles.

Les CV physiques comprennent la qualité de l'eau (4), l'environnement acoustique (1), la qualité des sédiments (3), la qualité de l'air (3), l'environnement visuel (2) et le forçage atmosphérique (2).

En ce qui a trait aux CV sociales, 3 activités économiques et de développement, 4 considérations de santé, de sécurité et de bien-être humain, y compris la maladie et la consommation de drogue, 4 activités récréatives, traditionnelles, culturelles et spirituelles, y compris les conchylicultures, 2 considérations de sécurité de la navigation, d'accès et d'utilisation, 3 sur l'utilisation des sols, 9 d'infrastructure et de services publics tels que l'infrastructure électrique et les services de gestion des déchets, et 1 considération du patrimoine culturel et archéologique sont d'intérêt.

État actuel des pratiques de l'EC dans la région

De nombreuses initiatives des effets cumulatifs sont ou seront effectués le long de la côte nord de la Colombie-Britannique.

Le partenariat pour le plan marin (MaPP) a élaboré un cadre des effets cumulatifs MaPP, et continue à l'élaborer et à le peaufiner dans la sous-région MaPP de la côte nord (MaPP 2017). Dans le cadre de ce travail, le coordonnateur des effets cumulatifs MaPP a travaillé à d'autres initiatives d'effets cumulatifs dont l'initiative de surveillance des effets cumulatifs (ISEC), l'initiative de gestion des effets cumulatifs par la Première nation Metlakatla et l'initiative de gérance environnementale - Projet de démonstration des effets cumulatifs sur la côte nord (MaPP 2017). Une stratégie de surveillance de la qualité de l'eau de la côte nord a été élaborée en 2018 dans le cadre de ce travail et est maintenant dans la phase d'initiation et de mise en œuvre (PPO 2018a).



Appendice C

ESSA Technologies Ltd.

Avec l'initiative fédérale de surveillance des effets cumulatifs dans la région (CEMI) dans la région de Prince Rupert, l'ébauche en 2016 d'un plan provisoire, et une proposition détaillée de surveillance ont été élaborés pour la région (PPO 2018a). Depuis 2014, la Première nation Metlakatla a entamé l'initiative de la gestion des effets cumulatifs par la Première nation Metlakatla, qui cherche à caractériser les valeurs de priorité et les indicateurs associés, établir des repères de gestion et surveiller 10 valeurs déterminées.

Le projet ESI côte nord met l'accent sur les valeurs de priorité dans la région de Skeena. Il s'agit de l'un des cinq projets pilotes ESI en Colombie-Britannique et le seul axé sur l'environnement marin. Il s'agit d'une collaboration qui inclue les Premières nations de la côte nord, le gouvernement provincial (ministère de l'Énergie, des mines et des ressources pétrolières, et le ministère des Forêts, terres, exploitations des ressources naturelles et du développement rural), et le partenariat pour le plan marin. À ce jour, ils ont élaboré des modèles de séquences des effets, des indicateurs basés sur les objectifs de gestion et une approche préliminaire à l'évaluation (dont la détermination de seuils) et ont commencé à recueillir des données en utilisant un plan préliminaire de surveillance.

Des initiatives précédentes visant à évaluer les effets cumulatifs dans l'estuaire de la Skeena comprennent la Pacific Salmon Foundation's Skeena River Estuary Assessment (Pickard et coll. 2015), et la World Wildlife Foundation Skeena Cumulative Effects Assessment (WWF 2018).



Résumé des données disponibles

Types de données utilisées dans les évaluations des effets cumulatifs

L'évaluation des effets cumulatifs exige des données pour lier les activités et les facteurs de stress aux composantes valorisées (CV). Les exigences en matière de données dépendent surtout du type de méthode d'évaluation utilisé. La disponibilité des données influencera le choix de la méthode d'évaluation. Les EEC très quantitatives, par exemple celles utilisant des modèles statistiques complexes, exigent des ensembles de données d'entrée larges et complexes. (Jones 2016). En outre, ces ensembles de données devront peut-être être analysés avec différentes échelles spatiales et temporelles.

De nombreux types de données peuvent être utilisés dans le cadre des évaluations des effets cumulatifs, dont l'information quantitative et qualitative, les données géoréférencées, le savoir traditionnel, etc. Ces différents types de données proviennent de sources variées, notamment, des études et des rapports, des ateliers, des programmes de surveillance, des études sur le terrain, des résultats d'exercices de modélisation, etc.

Les données spatiales (c.-à-d., points, lignes et polygones) sous la forme d'information géoréférencée sur le lieu et l'intensité des pressions (p. ex., la densité du trafic des navires) et l'occurrence des composantes de l'écosystème (p. ex., des polygones représentant les habitats d'espèces données) sont souvent employées dans les évaluations des effets cumulatifs (Korpinen et Andersen 2016). Même si l'évaluation n'est pas explicite sur le plan spatial, il y aura des données spatiales dans la plupart des méthodes d'évaluation.

Le manque d'information empirique sur les interactions entre les facteurs de stress et les récepteurs est un problème commun dans les évaluations des effets cumulatifs. Une façon de remédier à ce manque de données est d'obtenir les connaissances d'experts sur certains aspects de l'évaluation, comme la détermination de la vulnérabilité des écosystèmes marins à de multiples facteurs de stress anthropiques (Teck et coll. 2010) ou l'analyse des séquences des effets et l'attribution de notes d'impact (Singh et coll. 2017). La connaissance des experts est surtout recueillie par des questionnaires ou des ateliers techniques; d'habitude de façon itérative (voir la section 6.2)

Le savoir autochtone, fait référence aux connaissances acquises par les groupes autochtones qui vivent depuis longtemps sur leurs territoires et des ressources qui s'y trouvent. Ce type de savoir est très important, surtout pour une perspective historique lors d'un manque de données scientifiques sur le long terme. Plus précisément, l'une des lacunes des données de référence écologiques dans les évaluations cumulatives est que les données disponibles sont habituellement récentes et qu'elles reflètent l'environnement dans un état dégradé affecté par les impacts historiques (Clarke Murray et coll. 2014, Korpinen et Andersen 2016). Dans ce contexte, les connaissances écologiques traditionnelles et locales peuvent contribuer à comprendre les tendances écologiques ou à définir les conditions de référence ou de prédéveloppement des CV (Clarke Murray et coll. 2014).

Données disponibles pour l'initiative ECTM

Transports Canada procède actuellement à l'identification des sources de données et à la collecte d'ensembles de données qui éclaireront et appuieront l'élaboration et la mise en œuvre de l'initiative ECTM. Ce processus est à une étape préliminaire et les ensembles de données finaux seront définis une fois les limites spatiales et temporelles et les composantes valorisées (CV) de priorité auront été établis pour chaque région pilote.

Jusqu'à maintenant, Transports Canada a compilé une liste de sources de données potentielles en fonction d'une sélection préliminaire d'informations disponibles (rapports, coordonnées, autres ministères et initiatives du gouvernement, etc.); les listes de sources de données qui ont été compilées pour d'autres initiatives dans le cadre du plan de protection des océans, comme l'initiative Marine Regional Response Planning (RRP); une stratégie régionale en matière de planification et de préparation aux interventions en cas d'incident de pollution



Appendice C

ESSA Technologies Ltd.

marine mis en œuvre dans la région Pacifique. Cette liste préliminaire comprend des sources d'information potentiellement pertinentes pour caractériser les CV (p. ex.. aires de répartition des habitats, études sur la faune, zones protégées, ensembles de données sur les attributs physiques comme la couverture de glace et les marées) et les facteurs de stress (principalement les données sur le trafic maritime).

Certaines des sources de données identifiées pour l'Arctique comprennent de l'information sur les tendances de la navigation et les zones marines importantes sur le plan culturel, ainsi que sur les valeurs socio-économiques des comités de surveillance. Ocean Networks Canada a une station de surveillance à Cambridge Bay dont les données sont disponibles en ligne (Campagnola, J. comm. pers.).

Il existe certaines initiatives au niveau national qui pourraient fournir des données relatives à la navigation maritime, telles que Clear Seas. Center for Responsible Marine Shipping, le Marine Environmental Observation, Prediction and Response Network (MEOPAR), ou Ocean Networks Canada, qui surveille les paramètres écologiques, physiques et marins des utilisations sur les côtes Est et Ouest et dans l'Arctique.

En général, les sources de données sur les CV sociales ne sont pas bien réparties entre les régions, comparativement aux CV biologiques ou physiques.

Grâce au processus d'engagement avec les intervenants dans les régions pilotes, d'autres sources potentielles de données sont en cours d'identification. Par exemple, l'Initiative pour un milieu marin vert au Québec et le Groupe de travail sur le trafic maritime et la protection des mammifères marins dans le golfe du Saint-Laurent (G2T3M) pourraient fournir des renseignements utiles concernant les effets du bruit sous-marin. Les données sur les écosystèmes côtiers recueillies dans le cadre de la présente étude de « caractérisation des écosystèmes côtiers » seront disponibles sur le site Internet de le St. Lawrence Global Observatory (<https://ogsl.ca/en>).

Les intervenants de la région du Pacifique ont identifié un certain nombre d'entités qui pourraient avoir des données pertinentes pour la côte sud de la Colombie-Britannique lors d'un forum de dialogue sur la côte sud à Vancouver (One World Inc. 2017a). Ces entités comprennent, entre autres, le gouvernement du Canada, le gouvernement de la Colombie-Britannique, la Garde côtière des États-Unis, Islands Trust, le Port de Vancouver, la Fondation David Suzuki, Streamkeepers, l'Aquarium de Vancouver, des universités et des groupes d'intendance autochtones (One World Inc. 2017a). Les ensembles de données possibles provenant de ces sources comprennent des données sur la qualité de l'eau, les incidents de navires, les poissons, le vent et les marées, les changements climatiques et les effets des embarcations.

Pour la côte nord de la Colombie-Britannique, un certain nombre de sources de données ont été identifiées lors du Forum de dialogue sur la côte nord tenu à Prince Rupert (2017). Les données du gouvernement canadien, du gouvernement de la Colombie-Britannique, des ministères des Pêches et du savoir traditionnel des Premières nations, de la Tsimshian Environmental Stewardship Authority, du Marine Plan Partnership for North Pacific Coast (MaPP), de la T Buck Suzuki Foundation et d'autres ONG Figure nt sur cette liste (One World Inc., 2017b). Une initiative à long terme du port de Prince Rupert visant à recueillir des données sur l'eau, l'air, le vent et le bruit dans 31 zones au moyen de stations d'émission autour du port et grâce à un partenariat avec ONC est en cours depuis quelques années (One World Inc., 2017b). De nombreuses sources de données identifiées pendant ce forum relevaient de la pollution de l'eau et de l'air, des stocks de poissons, du bruit et des données historiques.

Données relatives au trafic maritime

Les données sur le trafic maritime sont essentielles à l'évaluation des effets cumulatifs. Ce type d'information est utilisé comme mesure de l'activité de la navigation maritime dans de nombreuses méthodes d'évaluation. Il s'agit également d'un intrant essentiel pour diverses approches de modélisation, comme les modèles de prévision de la propagation du bruit sous-marin, des déversements d'hydrocarbures ou des collisions avec la faune.



Appendice C

Le **système d'identification automatique** (SIA) est un système de localisation global qui permet aux embarcations de voir le trafic aux alentours, et de se faire voir par d'autres embarcations. Les informations transmises automatiquement par les embarcations comprennent leur emplacement, leur vitesse et leurs dimensions. Les récepteurs terrestres et spatiaux peuvent également enregistrer des données du SIA. [La Garde côtière canadienne](#) dispose d'un réseau de stations terrestres pour le suivi en temps réel des navires à une distance de quelques milles marins. Les données du SIA actuelles et historiques peuvent également être achetées auprès de sociétés qui possèdent des constellations de satellites qui enregistrent ces informations.

Les navires de plus de 300 tonnes effectuant des voyages internationaux et les navires de plus de 500 tonnes n'effectuant pas de voyages internationaux doivent être équipés d'un télépointeur SIA¹². Les navires de pêche et la plupart des bateaux de plaisance et de recherche ne sont donc pas couverts par le réseau SIA (Figure A.4 - Figure A.9).



Figure A.10. Couverture du SIA partout au Canada (Source : Garde côtière canadienne).

Dans les zones où les petites embarcations constituent le type d'embarcation prédominant, les données de SIA ne sont pas disponibles. Erbe et coll. (2012) ont déterminé ces limites avec les modèles de bruit qui se basent exclusivement sur le SIA. Dans leur étude du bruit cumulatif dans la zone économique exclusive de l'Ouest canadien, ils utilisent le Système de soutien des opérations de trafic maritime (SSOTM) des Services de communications et de trafic maritimes (SCTM) de la Garde côtière canadienne comme source alternative d'information sur le trafic maritime.

Transports Canada a récemment proposé des modifications¹³ au Règlement sur la sécurité de la navigation, y compris l'exigence de la technologie SIA pour les embarcations à passagers qui transportent plus de douze passagers ou les embarcations de plus de huit mètres de longueur et qui sont certifiées pour transporter des passagers.

¹² <http://www.ccg-gcc.gc.ca/eng/CCG/Maritime-Security/SIA#guidelines>

¹³ <https://letstalktransportation.ca/navigation-safety-regulations>



Annexe B : Résumé des articles de synthèse

Comme nous l'avons mentionné précédemment, dans le cadre du niveau 1, nous avons passé au crible 20 articles de synthèse qui comparent et mettent en contraste des méthodes et des outils précis. Bien que ces examens aient une portée et un objectif différents de ceux de la présente évaluation, il a été instructif de comprendre comment d'autres études ont encadré et analysé les méthodes et les outils d'évaluation des effets cumulatifs et les leçons qui ressortent de la documentation. Cette section présente les principales conclusions des treize documents les plus pertinents pour cette évaluation.

Référence: Lerner, J. 2018. Examen des concepts de gestion des effets cumulatifs et des cadres internationaux. Préparé pour Transports Canada en vertu du contrat T8080-170062.

Aperçu : À la demande de Transports Canada, Lerner (2018) a effectué une analyse documentaire des cadres internationaux de gestion des effets cumulatifs, y compris l'évaluation de l'EC, en mettant l'accent sur la navigation maritime et les contextes côtiers. L'analyse documentaire a porté sur 262 documents, y compris des documents universitaires, de la littérature grise et sept études de cas sur des systèmes de gestion des effets cumulatifs mis en œuvre (3 au Canada et 4 à l'étranger).

Idées clés : Cette étude regroupe les modèles et les outils habituellement utilisés pour analyser les liens de cause à effet entre les activités et les composantes valorisées en quatre catégories : les cadres causaux (p. ex., DPSIR, séquences des effets); les cadres d'évaluation des risques écologiques (ERAF); les modèles d'écosystèmes (p. ex., Ecopath avec Ecosim, Atlantis) et la cartographie des effets cumulatifs. Ces quatre catégories ne sont pas explicitement évaluées, mais Lerner fournit un ensemble de critères qualitatifs pour aider au choix d'une méthode d'évaluation précise. Ces critères comprennent : les ressources disponibles (c.-à-d. les données, le temps et les coûts), la gérabilité, la généralité, le réalisme et la précision.

Référence : Stelzenmüller, V., Coll, M., Mazaris, A. D., Giakoumi, S., Katsanevakis, S., Portman, M. E., Ojaveer, H. 2018. A risk-based approach to cumulative effect assessments for marine management. *Science of the Total Environment*, 612, 1132-1140

Description : Les auteurs passent en revue les lacunes communes et les défis des évaluations des effets cumulatifs entreprises dans les milieux marins, en mettant l'accent sur le traitement de l'incertitude dans ces études. Les auteurs ont passé en revue 154 études portant sur les données d'entrée, les méthodes et les outils utilisés dans le processus de gestion des risques respectif. Ils ont proposé une approche modifiée basée sur le risque pour l'EEC.

Idées clés : Chaque étape du processus d'évaluation des effets cumulatifs exige des analyses et une expertise scientifiques différentes et, par conséquent, les études d'évaluation des effets cumulatifs comportent habituellement une sélection de méthodes adéquates pour chacune de ces étapes.

Référence : Foley, M. M., Mease, L. A., Martone, R. G., Prahler, E. E., Morrison, T. H., Murray, C. C. et Wojcik, D. 2017. The challenges and opportunities in cumulative effects assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 62, 122-134.

Description : Foley et coll. (2017) a mené une étude comparative, par un relevé expert, pour évaluer l'état de l'exercice des EEC dans les environnements marins et côtiers de quatre juridictions avec des cadres réglementaires environnementaux avancés : Californie (É.-U.), Colombie-Britannique (Canada),



Queensland (Australie) et Nouvelle Zélande. Les auteurs maintiennent que les professionnels font toujours face à des défis importants lors de la mise en œuvre des EEC, même s'il y a eu des avancées scientifiques importantes dans les outils et méthodes en analyse des EEC. Le but de cette étude est la détermination des défis majeurs et des suggestions pour l'amélioration des EEC face aux nouvelles connaissances scientifiques.

Idées clés : Les insuffisances principales qui affectent les pratiques courantes des EEC sont, d'après Foley. (2017) : détermination de la portée des paramètres d'effet, établissement des lignes de base, définition des limites spatiales et temporelles et détermination de l'importance des effets. Les résultats des relevés des experts indiquent que les processus des EEC sont complexes pour les quatre compétences et que les professionnels luttent pour trouver les données et outils nécessaires pour procéder à des évaluations rigoureuses.

Référence : Korpinen S. et Andersen J.H. 2016. A Global Review of Cumulative Pressure and Impact Assessments in Marine Environments. *Front.Mar.Sci.* 3 (153).

Aperçu : Cette étude tente d'offrir un aperçu des méthodes et pratiques employées par les EEC dans les environnements marins. Les auteurs ont analysé le commun dans les approches, les meilleures pratiques émergentes et les manières dont ces études ont traité les critiques courantes des EEC. L'étude a évalué 40 EEC internationales publiées depuis 2000 et incluant au moins deux facteurs de stress.

Idées clés : La méthode d'évaluation principale des effets cumulatifs est l'analyse spatiale basée sur l'approche développée par Halpern. (2008) et impliquant la combinaison de l'information spatiale de l'intensité des pressions/facteurs de stress avec les données sur la distribution et caractéristiques des composantes de l'écosystème. Selon Kornipen et Andersen (2016), des problèmes clés de la pratique courante sont le manque de repères ou de seuils pour les pressions, qui empêche une bonne estimation des effets, et l'étendue limitée des études qui ne couvrent que quelques pressions sur les écosystèmes marins. Vingt-cinq pour cent des études évaluées sont bâties sur un modèle conceptuel qui identifie systématiquement les liens entre l'activité humaine et l'effet sur des composantes des écosystèmes.

Référence : Jones, F.C. 2016. Cumulative effects assessment: theoretical underpinnings and big problems. *Environ. Rev.* 24 : 187–204.

Aperçu : Dans le présent document d'analyse, Jones (2016) évalue les pratiques actuelles en matière d'évaluation des effets cumulatifs (EEC) et documente, à l'aide de données probantes tirées de la documentation, les théories à l'appui (EEC) et les principaux défis et problèmes que pose la mise en œuvre.

Idées clés : Jones (2016) soutient qu'il y a consensus sur les étapes du processus de l'EEC. Toutefois, il n'y a pas de consensus sur les meilleures méthodes et outils pour procéder à ces étapes. La science a fait des grands pas dans le domaine de l'EEC. Il existe des modèles numériques pour l'évaluation des effets. La raison pour laquelle les études de l'EEC sont toujours qualitatives n'est pas due à la science, mais plutôt aux cadres réglementaires et administratifs dans lesquels ces études sont réalisées.

Référence : Smith C.J., Papadopoulou K.N., Barnard S., Mazik K., Elliott M., Patricio J., Solaun O., Little S., Bhatia N. et Borja A. 2016. Managing the Marine Environment, Conceptual Models and Assessment Considerations for the European Marine Strategy Framework Directive. *Front. Mar.Sci.* 3 :144.



Aperçu : Smith (2016) a évalué l'utilisation des modèles conceptuels dans les études réalisées dans le cadre de la directive-cadre stratégique du milieu marin européen. Ils se sont concentrés spécifiquement sur le cadre du Driver-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR), largement utilisé en Europe, et ont analysé si cette approche est applicable à l'organisation et l'évaluation dans de véritables situations marines.

Idées clés : Les auteurs ont relevé plusieurs défis qui empêchent les modèles conceptuels de servir d'évaluations réelles : manque de données pour valider les liens de causalité entre les facteurs de stress et les composantes qui expliquent les interactions entre facteurs de stress (p. ex., synergétique, antagoniste, additif, etc.), l'incertitude et le faible niveau de confiance dans les prévisions. Cet article offre d'autres approches complémentaires au DPSIR : matrices, modèles d'écosystèmes, réseaux de croyances bayésiennes et approches du noeud papillon.

Référence : Judd A.D., T. Backhaus, F. Goodsir. 2015. An effective set of principles for practical implementation of marine cumulative effects assessment. *Environmental Science & Policy* 54 : 254–262.

Aperçu : Judd et coll. (2015) ont abordé les diverses définitions et cadres conceptuels d'EEC, et ont proposé un cadre pour l'évaluation basée sur les principes de l'évaluation du risque des facteurs environnementaux. Cette approche basée sur le risque exige le contrôle des séquences selon la probabilité d'une exposition.

Idées clés : Les méthodes fondées sur l'analyse spatiale ou la cartographie des pressions cumulatives peuvent aider à formuler le problème, mais elles ne constituent pas en soi des évaluations complètes des effets cumulatifs. L'extrait d'une EEC doit inclure l'identification et l'évaluation des options de gestion pour adresser les risques cumulatifs.

Référence : Clarke Murray, C., Mach, M.E. et Martone, R.G. 2014. Cumulative effects in marine ecosystems: scientific perspectives on its challenges and solutions. *WWF-Canada and Center for Ocean Solutions*. 60 pp.

But : Cette évaluation des connaissances et pratiques de pointe en matière d'EEC et de gestion des écosystèmes marins explore les défis communs des EEC et analyse les modèles et outils élaborés pour ces types d'évaluations.

Idées clés : Les auteurs font la distinction entre *les modèles*, plus spécialisés et plus scientifiques, et *les outils*, destinés à un public plus large et employés en général en décisions de gestion. Les deux sont employés pour estimer les changements dans les écosystèmes basés sur les rapports connus entre les facteurs de stress et les composantes. Selon la fonctionnalité principale fournie, Clarke Murray et coll. (2014) font la distinction entre trois catégories de modèles et d'outils : i) la visualisation, y compris les séquences des effets et les méthodes d'analyse spatiale ; ii) l'évaluation, utilisée pour mesurer la façon dont les facteurs de stress affectent les composantes valorisées (p. ex. modèles de déversement d'hydrocarbures, modèles écologiques, outils de simulation); et iii) les outils et modèles de gestion, notamment ceux qui permettent l'évaluation de scénarios possibles (p. ex., EcoPath avec Ecosim, MIMES, INVEST).

L'incertitude toujours présente et les données de base dynamiques sont deux des défis importants en matière d'EEC. Il y a toujours l'incertitude dans les évaluations, surtout où les facteurs de stress interagissent (p. ex., les effets synergétiques) et dans la distinction des contributions relatives des facteurs de stress/activités des effets sur les récepteurs. Il faut davantage de recherches et d'analyses systématiques à de multiples échelles pour réduire ou quantifier cette incertitude.



L'affectation des données de base selon les conditions courantes est aussi problématique puisqu'elle entraîne le risque de mesurer les changements sur un système déjà dégradé. Clarke Murray et coll. (2014) suggèrent de chercher le savoir traditionnel et local pour définir le pré-développement ou l'état de référence de l'écosystème.

Référence : [Center for Ocean Solutions. 2011. Decision Guide: Selecting Decision Support Tools for Marine Spatial Planning. The Woods Institute for the Environment, Stanford University, California](#)

Aperçu : Ce rapport est un guide de décision pour aider le choix d'un outil d'aide à la décision pour la planification du milieu marin. Ce guide est le résultat d'une série d'ateliers du Center for Ocean Solutions et présente une sélection d'outils d'aide à la décision pour la planification du milieu marin disponibles.

Idées clés : Ce guide décrit neuf outils d'aide à la décision pour la planification du milieu marin disponibles. Ces outils sont classifiés en fonction de leurs fonctions quant au cycle de la planification spatiale marine (p. ex., cartographie et visualisation, développement et analyse de scénarios de rechange, participation des intervenants, gestion et évaluation adaptatives, etc.). Les auteurs soutiennent qu'une meilleure accessibilité à ces produits est nécessaire pour promouvoir leurs utilisations dans les processus de planification et d'évaluation marine.

Certains de ces outils appuient les EEC. Un des outils ayant fait l'objet de discussions est le modèle [Effets cumulatifs](#); un outil développé par le National Center for Ecological Analysis and Synthesis (NCEAS) qui utilise des données spatiales et des opinions pondérées d'experts pour prédire les résultats des effets cumulatifs sur une région.

Référence : [Greig, L., C. Wedeles et S. Beukema. 2013. Evaluation of Tools Available for Cumulative Effects Assessment for the Northwest Territories – Literature Reviews: Models and Management. Prepared for Government of the Northwest Territories, Department of Environment and Natural Resources Wildlife Research and Management, Wildlife Division. 101 pp.](#)

Description : Cet article évalue 12 modèles d'EEC sur les caribous dans les Territoires du Nord-Ouest (Canada). Neuf critères, dont les données nécessaires, un usage facile, interprétation des résultats, etc., ont été analysés pour chaque modèle. Greig et coll. (2013) fournissent aussi une revue exhaustive des facteurs contribuant aux effets cumulatifs pour les quatre écotypes de caribous dans les TNO.

Idées clés : La sélection d'un modèle est liée aux questions de gestion que l'étude cumulative cherche à répondre. La meilleure stratégie pour répondre aux questions liées aux effets cumulatifs sur les caribous des TNO est une approche multi-outils/modèle qui réunit les meilleurs éléments des modèles pour chaque question spécifique.

Référence : [IFC \(International Finance Corporation\). 2013. Good Practice Handbook Cumulative Impact Assessment and Management : Guidance for the Private Sector in Emerging Markets](#)

Description : Ce guide propose une approche en six étapes pour le déroulement des EEC selon les meilleures pratiques dans les pays en voie de développement. Ce guide n'est pas exhaustif et reconnaît que l'EEC est un domaine en évolution. Plutôt que d'être normatifs, les auteurs décrivent chaque étape et



fournissent des études de cas, de la documentation et des ressources pour aider les utilisateurs dans la réalisation de leurs études.

Idées clés : Selon ce guide, l'ECC implique la prévision de la valeur future des composantes valorisées fondées sur les effets des développements courants, passés et raisonnablement envisageables pour l'avenir. Cette évaluation exige la compréhension des seuils des composantes valorisées et des limites de leur état au-delà desquelles les effets peuvent compromettre la durabilité ou la survie des composantes. Les auteurs relèvent quatre groupes distincts de types d'évaluations : modèles d'effets, modèles numériques, analyse spatiale utilisant les systèmes d'information géographique (SIG), et les approches à base d'indicateurs.

Référence : **Canter L.W. 2008. Conceptual Models, Matrices, Networks, and Adaptive Management – Emerging Methods for CEA. Presented at Assessing and Managing Cumulative Environmental Effects, Special Topic Meeting, International Association for Impact Assessment, November 6-9, 2008, Calgary, Alberta, Canada.**

Aperçu : Canter (2008) évalue quatre types de méthodes (modèles conceptuels, matrices modifiées, réseaux et gestion adaptée) pour aider à l'évaluation des effets cumulatifs (EEC). L'auteur plaide en faveur de l'utilisation de ces méthodes dans le cadre du processus d'évaluation des effets cumulatifs et décrit les études de cas dans lesquelles ces approches ont été utilisées et les leçons tirées de ces exemples.

Idées clés : L'auteur fait la distinction entre deux grandes catégories de méthodes d'EEC selon leurs buts : méthodes d'identification et de prévision. Les méthodes d'identification servent à définir les CV, affecter les limites spatiales et temporelles, sélectionner les indicateurs liés aux CV et à communiquer les résultats de l'évaluation. Les méthodes de prévision sont essentielles pour évaluer les effets et déterminer leur importance. Les résultats de ces deux processus (c.-à-d., l'identification et la prévision) peuvent être intégrés avec le cadre décisionnel. Une étude type d'EEC exige une sélection d'une ou de plusieurs méthodes pour atteindre ses objectifs.

Référence : **Council on Environmental Quality, “Considering Cumulative Effects under the National Environmental Policy Act”, January 1997, Executive Office of the President, Washington, D.C., pp. 49-57**

Aperçu : Ce guide évalue l'EEC selon la United States National Environmental Policy Act (Loi des États-Unis sur la politique environnementale nationale). Cette référence est un guide pour le déroulement d'une EEC, de l'étendue, la description de l'environnement touché et la détermination des conséquences des effets.

Idées clés : Une des sections de ce guide évalue les méthodes, outils et techniques utilisés pour l'EEC. Les auteurs regroupent les méthodes en trois groupes fonctionnels : celles qui décrivent un lien cause-effet entre les facteurs de stress et les composantes (p. ex., matrices, organigramme); celles qui analysent les tendances en ressources ou facteurs de stress avec le temps et celles qui superposent les éléments paysagers pour identifier les zones sensibles, la distribution des composantes ou éléments, etc.





Annexe C : Autres indications issues de l'atelier technique

On trouvera ici d'autres commentaires détaillés formulés par certains participants après l'atelier technique que Transports Canada a mené à Ottawa les 20 et 21 février 2019. Ils compléteront l'analyse dont le présent rapport constitue le compte rendu et pourront orienter les étapes suivantes de l'initiative.

Problèmes posés par l'évaluation des effets cumulatifs en milieu marin et l'éventuelle mise sur pied d'un cadre national

Mike Elliott – Professeur à l'Institut d'études estuariennes et côtières (IECS) de l'Université de Hull (Royaume-Uni)

Roland Cormier – Institut de recherche sur les littoraux rattaché au centre de recherche sur les matériaux et le littoral *Helmholtz-Zentrum Geesthacht* (HZG) – Allemagne

Défis à relever

Les plus grandes difficultés à résoudre – et dont l'ensemble constitue peut-être le principal défaut des méthodes actuelles – sont au nombre de 10. Le mode d'EEC choisi devra en quelque sorte répondre à la liste de contrôle ci-dessous :

1. Accroître notre faible capacité actuelle à mesurer dans l'espace et dans le temps l'empreinte des effets des pressions exercées par les activités considérées;
2. Déterminer l'étendue, la durée et la fréquence des pressions exercées par une activité – et non de celle-ci à proprement parler – en un certain endroit et à un moment donné (ne pas identifier une activité à une pression systématique);
3. Déterminer les effets relatifs des pressions gérées endogènes, auxquelles seront superposées les pressions non gérées exogènes;
4. Attribuer leur poids relatif aux empreintes des différents effets, dans l'espace et dans le temps, sans tenir pour acquis qu'ils se cumulent de manière linéaire et arithmétique (possibles actions antagonistes ou exponentielles);
5. Savoir ce qui se trouve dans la zone considérée, quelles activités y sont menées, quels y sont les récepteurs, quelle en est la pertinence (dans quel secteur, à quel moment...);
6. Étudier l'empreinte des effets exercés sur les récepteurs mobiles (les espèces, généralement) et non pas seulement sur les récepteurs sédentaires (habitats et espèces);
7. Accepter la prémisse selon laquelle l'EEC portera sur « tous les impacts de toutes les activités » et non pas seulement sur « tous les impacts d'une activité donnée ou dans un secteur particulier » (il ne s'agirait alors que d'une étude d'impact environnemental en bonne et due forme; la qualifier d'EEC serait fautif);
8. Déterminer s'il existe un point de bascule ou un seuil quand tous les impacts sont considérés ensemble et que les empreintes des effets se chevauchent;



9. Passer d'un impact sur les récepteurs naturels à ceux qui s'exercent sur les récepteurs humains (et ainsi décrire le continuum qui s'étend des structures et du fonctionnement des écosystèmes aux services qu'assurent ces derniers et aux avantages qu'en tire l'édifice social);
10. Résoudre les difficultés conceptuelles attachées au continuum qui va des études d'impact environnemental (EIE) aux évaluations des effets cumulatifs (EEC) et aux évaluations environnementales stratégiques (EES).

Recette d'une bonne évaluation des impacts ou effets cumulatifs

1. Définir la vision applicable à l'étendue d'eau considérée, fixer les objectifs de l'EEC et faire en sorte qu'ils soient stratégiques, mesurables, réalisables, réalistes et limités dans le temps (« SMART »);
2. Définir l'activité (étendue, durée et fréquence) et les pressions qui s'exercent dans la zone considérée; déterminer l'empreinte des effets; s'il y a lieu, prévoir une zone tampon;
3. Cartographier l'empreinte des effets dans l'espace et dans le temps des activités et pressions recensées (utiliser les listes génériques d'activités et de pressions, en les adaptant à la zone considérée);
4. Pour les différentes pressions, définir et appliquer des règles de pondération fondées sur le niveau de gravité; à l'aide d'une analyse de risques, distinguer les risques faibles à forte probabilité des risques élevés à faible probabilité;
5. Prioriser l'étude des activités et des pressions sans tenir pour acquis qu'une activité entraîne systématiquement une pression (on ignorerait ainsi les éventuelles mesures de mitigation en place);
6. Déterminer quels récepteurs se trouvent dans les empreintes des effets en utilisant des méthodologies d'évaluation des risques, indiquer comment et quand ils se chevauchent; utiliser les outils disponibles - SIG, modèles, prévisions, meilleur jugement des experts
7. Définir les indicateurs à utiliser pour détecter les changements subis par les récepteurs; déterminer le niveau de base ou les conditions de référence (par établissement d'une zone de contrôle, prévision a posteriori, modélisation ou recours au jugement des experts, tout en sachant que chacune de ces méthodes présente des défauts);
8. Déterminer l'importance des changements subis par les récepteurs, les points de décision et les seuils; faire le lien avec les mesures de gestion prédéfinies à prendre en cas de dépassement (autrement dit, repérer les changements par rapport à un niveau de base ou à la valeur d'un indicateur);
9. S'assurer que l'EEC repose sur l'EIE dans le cas des projets individuels et se fonde dans l'EES comme partie intégrante du plan d'aménagement de l'espace marin (PAEM);
10. Vérifier que le continuum EEC-EIE-EES-PAEM répond aux 10 principes ci-dessus;
11. Préciser les mesures de prévention et d'atténuation ou de compensation prévues selon une approche de gestion des risques (pour les récepteurs et l'empreinte des effets considérés);
12. Mener une étude d'impact de la réglementation (analyse des synergies ou conflits avec les autres mesures réglementaires en place, avec prise en compte des influences transfrontalières ou transnationales);
13. S'assurer que les intéressés donnent leur avis à chaque étape; inclure les différentes catégories prévues dans la typologie des parties prenantes; vérifier si tel ou tel groupe particulier (groupes autochtones, par exemple) ne doit pas intervenir davantage;



14. Veiller au lien entre impact et importance sociétale, suivant les approches axées sur les services écosystémiques et sur les avantages dont en tire l'édifice social;
15. Vérifier les résultats, croiser les méthodes, prévoir des boucles de rétroaction et établir une filière de vérification pour s'assurer que méthodes et résultats sont justifiables; suivre les principes d'assurance de la qualité entourant les décisions prises en matière d'environnement;
16. À chaque étape, indiquer le niveau de confiance des résultats (en se limitant à « élevé », « moyen » ou « faible »), si nécessaire.

Cadre national sur les effets cumulatifs du transport maritime : les points à considérer

Edward Gregr – Nuu-chah-nulth Nation

Structure du cadre national

1. Je recommande l'adoption d'une approche par paliers similaire à celle suivie pour l'outil InVEST (et aussi, semble-t-il, par MaPP pour l'évaluation entourant le fleuve Skeena). Plusieurs raisons militent en ce sens :
 - a. Aller jusqu'au bout est essentiel; si l'on définit un premier palier, il y a plus de chances d'y parvenir. À ce que je sache, les cadres sont bien connus pour être difficiles à opérationnaliser; on se heurte toujours à des complications imprévues. En travaillant à un niveau suffisamment général, on courra moins le risque de s'enliser dans les détails de telle ou telle étape.
 - b. Quelle que soit l'activité de modélisation entreprise, l'approche par itérations successives aide réellement à comprendre les méthodes et les résultats, et à en informer les partenaires. C'est important : la qualité d'une évaluation se limite souvent à celle de son maillon le plus faible. Par l'itération, une évaluation de palier 1 peut servir à prioriser les lacunes en matière d'information et à déterminer à quel sujet on en possède suffisamment (il est tentant mais inutile de s'attacher à ce qui se règle facilement plutôt que d'affronter les véritables problèmes).
 - c. En poussant vers une analyse plus équilibrée (avec le même niveau de complexité ou de détail pour toutes les composantes) ou en fixant le niveau de complexité minimum qui s'impose, on saisira et communiquera plus facilement les incertitudes associées à l'analyse. Selon moi, ce n'est que de cette façon qu'on mènera une EEC crédible.
2. Je recommande qu'on s'intéresse davantage aux modes de gestion adaptative. Selon moi, c'est essentiellement ainsi que le savoir traditionnel s'établit (Berkes et coll., 2000) et c'est donc de cette manière qu'on obtiendra le plus sûrement la participation des groupes communautaires. Il faudra sans doute distinguer entre méthodologie de gestion adaptative proprement dite (cf. p. ex. Williams & Brown, 2016) et cooptation du terme décrivant une approche d'atténuation utilisée par les promoteurs des projets de développement.

Il existe toutes sortes de cadres (cf. p. ex. « Managing for climate change on protected areas », Tanner-McAllister, 2017) – et d'approches visant à résoudre les inégalités (ex. : Specht et coll., 2019),



et que vous pourriez étudier afin de jeter une solide passerelle entre la science « newtonienne » et la conception plus holistique qu'ont les Premières Nations des impacts cumulatifs.

3. Le cadre devra étudier l'impact sur les avantages que les humains tirent des écosystèmes, et non pas seulement les « choses » qui produisent lesdits avantages (dans la littérature consacrée aux écoservices, on distingue les services aux humains et les fournisseurs des services en question). Les scientifiques ont tendance à passer au large de cette partie de l'analyse, car elle implique des questions confuses sur les valeurs et la priorisation des avantages. Je suis conscient qu'on n'est pas loin ici de l'appréciation des risques, mais je crois qu'il ne suffira pas de s'en tenir aux impacts sur les « choses ». Comme le problème est épineux et dépend des conditions locales, je recommande un développement conjoint à l'échelle régionale avec les communautés touchées, mais en réservant une place à la question au sein du cadre national.
4. Sur le plan technique, je suggère que vous teniez compte des différences d'interprétation qu'impliquent les présentations des analyses et des résultats selon qu'on suit une approche matricielle ou vectorielle. Un bon nombre des outils qui composent votre palette sont de type matriciels. Techniquement parlant, c'est logique, car ces outils facilitent le traitement des données. Toutefois, les gens voudront voir comment leurs zones d'intérêt locales seront affectées. Or, si celles-ci sont représentées par un quadrillage dont les mailles sont larges de deux kilomètres, cela causera de la confusion et soulèvera des questions, notamment dans les zones côtières.

La principale méthode qu'utilisent les Premières Nations pour recueillir leurs données écologiques locales est de type points et polygones. Je recommande fortement que toute analyse – même conduite dans un espace matriciel – soit traduite et présentée dans un espace vectoriel (points et polygones), pour une communication plus facile et une meilleure compréhension.

Collecte et représentation du savoir autochtone

Parmi les représentants des Premières Nations présents à l'atelier, l'avis général est que le cadre devra s'appuyer sur des méthodes rigoureuses relevant des sciences sociales (et pouvant être qualitatives, quantitatives ou participatives) afin d'être en accord avec les points de vue que les Premières Nations et les communautés nourrissent sur les impacts sociaux et écologiques.

Par souci d'efficacité et d'efficacités, je recommande qu'on confie le nécessaire examen de la documentation à un spécialiste des sciences sociales ayant fait la preuve de son expertise dans le domaine considéré. Un de mes collègues à l'Université de Colombie-Britannique, Nathan Bennett, D. Ph., pourrait être disposé à rédiger un rapport ou une section complémentaire sous l'angle des sciences sociales. Depuis quelques années, ce spécialiste des enjeux de conservation en milieu marin s'intéresse particulièrement à la mesure et à la gestion des types d'impacts sociaux qui ont été abordés lors de l'atelier (accès aux ressources, avantages que l'appareil social tire des écosystèmes marins, etc.). Entre autres travaux menés par Nathan Bennett, citons Bennett (2019), Bennett et coll. (2018) et Kaplan-Hallam et coll. (2017).

Problèmes généraux à résoudre – Commentaires

Niveaux de base et points de référence

J'ai tendance à croire que les responsables des EEC régionales auront du mal à s'entendre sur les niveaux de base et les points de référence. Je comprends pourquoi Transports Canada s'attache aux activités de navigation maritime, mais il n'en demeure pas moins qu'elles se déroulent dans des milieux déjà fortement affectés.



Appendice C

Il est raisonnable pour Transports Canada de commencer par estimer les effets des facteurs de stress associés aux activités de navigation considérées isolément, mais la question de savoir par rapport à *quel niveau de base* les effets cumulatifs seront évalués risque d'être contentieuse. Pensez aux possibles réactions des gens face aux stress supplémentaires subis par les populations d'épaulards ou de harengs en Colombie-Britannique. Ou à l'effet cumulatif du déglacage et de la raréfaction des glaces due aux changements climatiques dans l'Arctique. Les gens ne verront probablement pas d'un bon œil que les effets du transport maritime soient considérés isolément.

Il pourrait être intéressant que le cadre national assure un certain encadrement ici, plutôt que de s'en remettre pour tout aux régions. Selon moi, la définition des niveaux de base et des seuils passe obligatoirement par une forme quelconque de développement conjoint.

Transports Canada doit se demander s'il est possible ici de dire « ne dépassons pas tel seuil ». Cela peut conduire à des questions sur la possibilité de prioriser ou non le transport maritime dans les zones déjà mises à rude épreuve (on pourrait par exemple faire passer beaucoup plus de navires par le détroit de Georgie s'ils étaient tous plus silencieux; le Canada pourrait aussi choisir de restreindre les expéditions de charbon américain vers l'Asie et de favoriser ainsi un trafic plus conforme à l'intérêt national).

Méthodes de modélisation

L'un des enjeux de taille sera à nouveau cette divergence entre la vision newtonienne du monde – selon laquelle tout peut être décomposé et analysé – et celle des Premières Nations, selon lesquelles tout est interrelié.

La manière « occidentale » d'aborder l'évaluation des effets cumulatifs et de concevoir les autres modèles consiste à isoler les systèmes en jeu afin d'en comprendre les composantes, puis de réassembler celles-ci pour obtenir le modèle du système. Par définition, la modélisation implique de ne prendre en considération que les éléments jugés « les plus importants ».

À mon avis, les Premières Nations peuvent s'accommoder de cette réduction d'un système en ses éléments constitutifs, mais beaucoup moins d'un réassemblage incomplet sur le plan conceptuel et analytique à la fois. Les questions les plus fréquentes que j'entends lors des rencontres d'évaluation, surtout venant des Premières Nations, commencent par « Qu'en est-il de... ».

Le cadre EEC devra répondre au problème de la complétude. La complétude et la pertinence des résultats dépendront étroitement du degré de développement conjoint des évaluations avec les communautés touchées.

Références

- Bennett NJ. Marine Social Science for the Peopled Seas. Coastal Management. 2019 Jan 21:1-9.
- Bennett NJ, Kaplan-Hallam M, Augustine G, Ban N, Belhabib D, Brueckner-Irwin I, Charles A, Couture J, Eger S, Fanning L, Foley P. Coastal and Indigenous community access to marine resources and the ocean: a policy imperative for Canada. Marine Policy. 2018 Jan 1; 87:186-93.
- Kaplan-Hallam M, Bennett NJ. Adaptive social impact management for conservation and environmental management. Conservation Biology. 2018 Apr;32(2):304-14.
- Specht MJ, Santos BA, Marshall N, Melo FP, Leal IR, Tabarelli M, Baldauf C. Socioeconomic differences among resident, users and neighbour populations of a protected area in the Brazilian dry forest. Journal of environmental management. 2019 Feb 15; 232:607-14.



Tanner-McAllister SL, Rhodes J, Hockings M. Managing for climate change on protected areas: An adaptive management decision making framework. *Journal of environmental management*. 2017 Dec 15; 204:510-8.

Williams BK, Brown ED. Technical challenges in the application of adaptive management. *Biological Conservation*. 2016 Mar 1; 195:255-63.

Cadre régional sur les effets cumulatifs : la question de la gouvernance

Pour comprendre le contexte dans lequel les méthodes seront choisies, on dispose des documents de référence ci-dessous, qui peuvent aider l'administration fédérale et les gouvernements autochtones et provinciaux à établir des **mécanismes de gouvernance** collaboratifs, partagés ou conjoints qui permettront de fixer les modalités d'engagement entourant l'évaluation des effets cumulatifs régionaux du transport maritime.

- **Rapport de la nation Tseil-Watuth** – La méthodologie relevant du droit autochtone de l'Université de Victoria (groupe de Val Napoleon) a permis d'établir un cadre à partir duquel les intervenants ont pu définir les critères d'évaluation puis utiliser des sources secondaires et le savoir traditionnel pour recueillir les données nécessaires à l'évaluation. <https://twnsacredtrust.ca/assessment-report-download/>
- Aperçu du **modèle d'évaluation environnementale menée par les Autochtones** – Rapport du Gwich'in Council on Impact Assessment in the Arctic (examen des nouvelles pratiques) : https://gwichincouncil.com/sites/default/files/Firelight%20Gwich%27in%20Indigenous%20led%20review_FINAL_web_0.pdf

Le mode de collaboration à privilégier passera probablement par une approche intergouvernementale à long terme existante (la mise au point et la mise en œuvre d'un nouvel accord de gouvernance exigent beaucoup de temps et de ressources).

- Le Bureau des évaluations environnementales de la Colombie-Britannique commence à miser sur la collaboration, mais on n'en est qu'aux balbutiements (ex. : entente conclue entre la nation Taku River Tlingit et la province à propos des prises de décision communes sur la question des ÉE – se retrouve en ligne).
- Les nouveaux projets de loi canadiens relatifs à l'évaluation des impacts (actuellement étudiés par le sénat) ouvrent la voie à des ententes avec d'autres gouvernements, y compris les gouvernements autochtones et provinciaux, en vue de processus d'évaluation environnementale collaboratifs. De même, le Canada a mis sur pied un comité consultatif autochtone, mais qui s'intéresse surtout aux ÉE liées aux projets particuliers (<https://www.canada.ca/en/environmental-assessment-agency/advisory/advisory-groups/Indigenous-advisory-committee.html>). Les participants à l'atelier souhaitaient plutôt une évaluation des effets cumulatifs régionaux qui orienterait les EEC menées dans le cadre de chaque projet.



Appendice C

- Le Mackenzie Valley Environmental Impact Review Board, la Commission du Nunavut chargée de l'examen des répercussions, le Yukon Environmental & Socio-Economic Assessment Board, l'organisme des Cris de la Baie-James, etc. ont été mis sur pied dans le cadre des traités modernes. Ils établissent des comités de gestion paritaire et à long terme des ÉE. Certains ont lancé des programmes parallèles d'évaluation des effets cumulatifs (cf. p. ex. <https://www.enr.gov.nt.ca/en/services/cumulative-impact-monitoring-program-cimp>).



Annexe D : Document d'information préparé en vue de l'atelier technique mené les 20 et 21 février 2019

Présentation

Dans le cadre du [Plan de protection des océans](#) national, Transports Canada mène l'initiative sur les effets cumulatifs des activités maritimes en vue d'élaborer un cadre d'évaluation des effets cumulatifs des activités maritimes actuelles et potentielles. Cette initiative, qui est mise en œuvre par un processus collaboratif avec les communautés autochtones, les intervenants locaux et les communautés côtières dans six sites pilotes¹⁴ couvrant les trois côtes du Canada, comprend les phases suivantes :

- **Phase 1** (2017-2018) *Comprendre le contexte national* : La première année de l'initiative a consisté à déterminer les préoccupations liées aux activités maritimes ainsi qu'à cerner les **facteurs de stress**¹ préoccupants pour chaque site pilote.
- **Phase 2** (2018-2020) *Comprendre le contexte régional* : Cette phase, qui est en cours, inclut la sélection de **composantes valorisées**² (CV) pour chaque site et l'établissement des liens entre les facteurs de stress et les composantes valorisées (c.-à-d. la séquence des effets). Elle implique également la collecte de données régionales existantes et l'identification de la méthodologie favorisée pour l'évaluation des effets cumulatifs.
- **Phase 3** (2020-2021) *Effectuer les évaluations régionales* : La méthodologie d'évaluation sélectionnée sera appliquée dans les six sites pilotes. Le cadre d'évaluation des effets cumulatifs, qui inclut cette évaluation, sera mis au point selon ces expériences pilotes.
- **Phase 4** (2021-2022) *Cerner les mesures à prendre* : Selon les résultats de l'application du cadre d'évaluation des effets cumulatifs, des stratégies de gestion régionales et des mesures et des outils pour diminuer les effets potentiels des activités maritimes seront choisis.

L'objectif de ce processus d'évaluation était d'examiner et de comparer les méthodologies d'évaluation potentielles pertinentes à l'évaluation des **effets cumulatifs**³ associés aux activités maritimes (phase 2). Ce document d'information sur l'atelier fournit un résumé de l'évaluation. Vous pouvez trouver de l'information détaillée et des discussions dans le rapport complet, qui comprend huit sections et deux annexes :

- La section 1 fournit un contexte important qui précise la nature de ce rapport.
- La section 2 décrit notre approche pour compléter l'évaluation.
- La section 3 décrit la phase de présélection de notre évaluation.

¹⁴ Le Nord de la Colombie-Britannique, le Sud de la Colombie-Britannique, le fleuve St-Laurent au Québec, la baie de Fundy au Nouveau-Brunswick, la baie Placentia à Terre-Neuve et Cambridge Bay au Nunavut.



Appendice C

Examen des méthodes d'évaluation des effets cumulatifs du transport maritime

Rapport final

- La section 4 fournit l'évaluation détaillée, y compris une description des méthodes possibles et des outils associés et une évaluation de leur pertinence, de leur rigueur et de leur faisabilité.
- La section 5 présente une analyse comparative des méthodes et un certain nombre d'études de cas qui illustrent l'application de ces méthodes et la façon dont elles pourraient être utilisées dans le contexte de l'initiative sur les effets cumulatifs des activités maritimes.
- La section 6 traite des méthodes de soutien appliquées fréquemment dans l'EEC, y compris : le savoir autochtone, l'intervention d'experts et les outils d'aide à la décision.
- La section 7 présente des exemples de cadres d'évaluation des effets cumulatifs et comment l'étape d'évaluation peut s'adapter dans un contexte plus vaste.
- La section 8 fournit les conclusions générales, y compris les enseignements tirés de l'évaluation, comment utiliser la trousse d'outils d'évaluation et les prochaines étapes des effets cumulatifs.
- L'annexe A décrit le contexte additionnel qui a influencé notre évaluation. Notamment, nous fournissons un bref résumé de l'état de l'élaboration du modèle des séquences des effets du transport maritime, du contexte régional dans les sites pilotes et de la disponibilité des données.
- L'annexe B fournit un résumé des articles de synthèse clés sur les méthodes d'évaluation des effets cumulatifs et les outils.

Qu'est-ce que l'évaluation des effets cumulatifs?

Le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) définit l'évaluation des effets cumulatifs (EEC) comme le *processus systématique d'identification, d'analyse et d'évaluation des effets cumulatifs*. Idéalement, l'EEC inclut une série de méthodes qui évaluent la condition de l'environnement, décrivent les séquences causales qui relient les facteurs de stress et les effets cumulatifs, et prédisent les risques et avantages associés aux scénarios de rechange (Jones 2016). Bien qu'il y ait un consensus sur les étapes générales du processus de l'EEC (Jones 2016), il y a un débat quant aux méthodes qui devraient être utilisées à chacune de ces étapes (Jones 2016, Stelzenmüller et coll. 2018). Il est important de comprendre la structure du cadre général des effets cumulatifs dans lequel la méthode sera appliquée (Greig et coll. 2013). En d'autres termes, quelle est la portée de l'évaluation et quelles stratégies de gestion sont influencées par les résultats de l'évaluation?

Nous avons créé un diagramme qui affiche les éléments importants dans un cadre d'une EEC pour montrer notre compréhension de la façon dont l'étape d'évaluation appuie le cadre plus large dans le contexte de l'initiative sur les effets cumulatifs des activités maritimes menée par Transports Canada. Bien que le cadre général de l'ECC ait une séquence naturelle présentée dans la [Figure D.5](#), la mise en pratique est itérative.



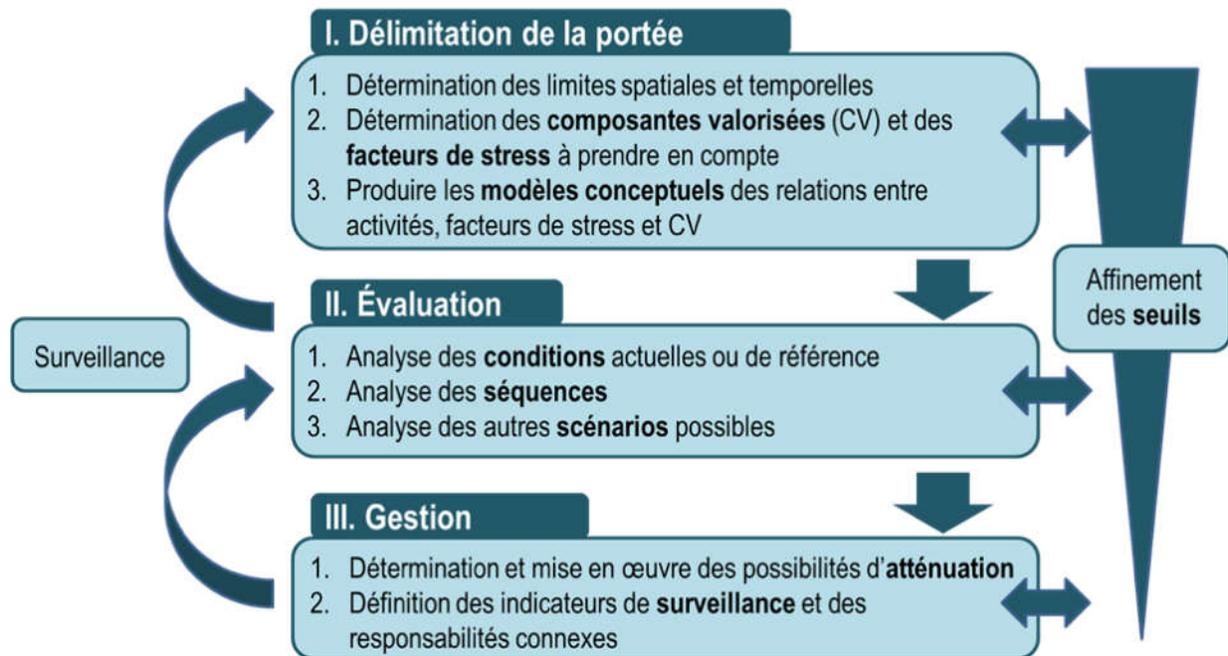


Figure D.5 : Cette figure montre comment l'étape d'évaluation s'adapte dans un cadre plus large d'évaluation des effets cumulatifs. L'étape de détermination de la portée, menée par Transports Canada et influencée par les ateliers régionaux, se passe simultanément. Ce rapport est centré sur les méthodes potentielles pour l'étape d'évaluation. L'étape de gestion sera abordée à la phase 4 de l'initiative sur les effets cumulatifs des activités maritimes.

Méthodologie

Le processus d'évaluation (*Figure D.6*) a suivi une approche progressive. **Le niveau 1** était la présélection générale des méthodologies d'évaluation possibles. Par la suite, un examen détaillé des méthodes les plus prometteuses (**niveau 2**) a été effectué. Simultanément, nous avons résumé le contexte pertinent de l'évaluation, y compris : les leviers possibles relatifs à la gestion, les séquences des effets des activités maritimes, les préoccupations dans chacune des six régions pilotes et les sources possibles de données. Une série d'entrevues avec des experts clés a complété cette information.

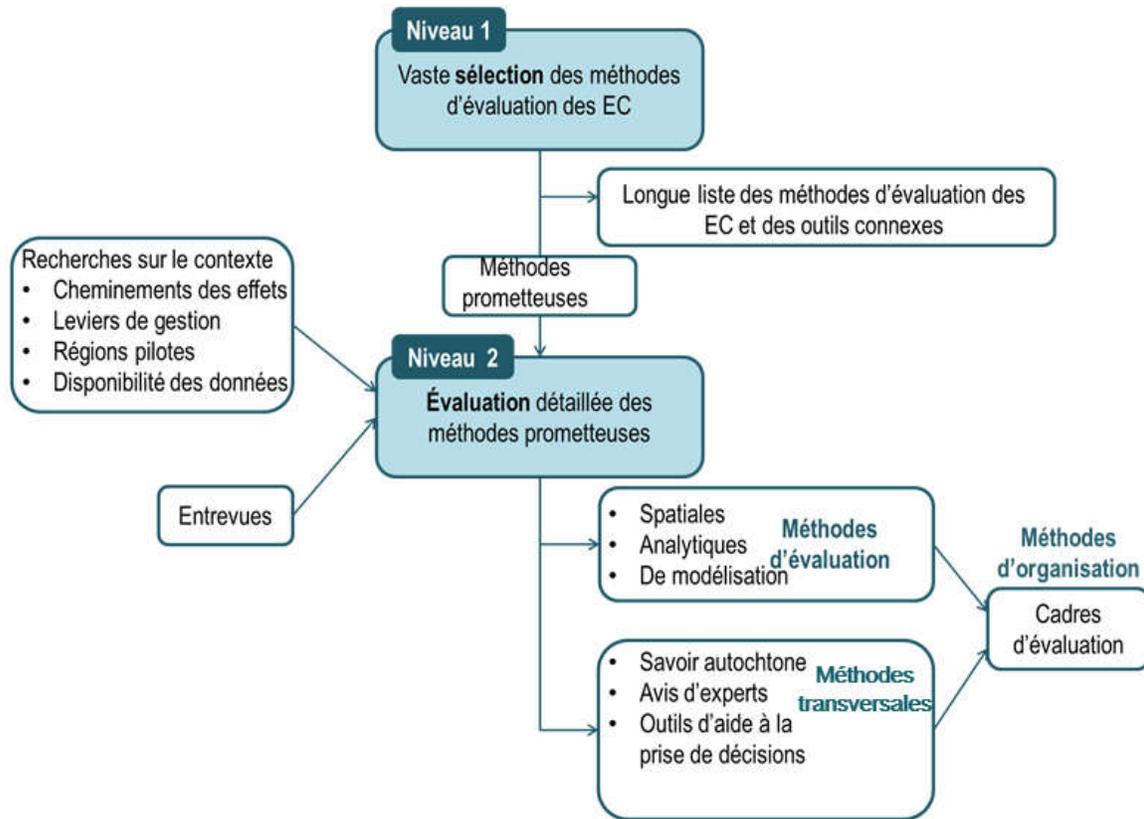


Figure D.6 : Cadre d'évaluation montrant la circulation de l'information et les principaux extrants.

L'ensemble de méthodologies d'évaluation qu'on nous avait demandé d'étudier comprenait une combinaison de méthodes, d'outils et d'études de cas, ce qui faisait en sorte qu'il était difficile de les comparer directement. Pour les fins de ce rapport, nous avons défini ces termes de la façon suivante :

Méthodologie : L'ensemble collectif de méthodes employées par un domaine particulier, dans ce cas l'évaluation des effets cumulatifs.

Méthode : Une procédure ou un procédé pour obtenir un objet, dans ce cas l'évaluation des effets cumulatifs. Dans certains cas, il peut y avoir des outils pour appuyer la méthode, mais une méthode peut exister sans outil.

Outil : Un moyen d'arriver à ses fins, un instrument ou appareil utilisé pour effectuer une opération. Dans le cas présent, les outils sont conçus pour appuyer une ou plusieurs méthodes d'évaluation des effets cumulatifs. Les outils varient selon la spécificité, des applications spécifiques (p. ex. l'outil d'inventaire des émissions marines d'ECMC) aux logiciels génériques (p. ex. ArcGIS).

Étude de cas : L'application spécifique d'une ou plusieurs méthodes et d'outils connexes. Il s'agit habituellement de cas uniques qui emploient une combinaison des méthodes discutées dans ce rapport pour obtenir une conclusion spécifique.

Dans le cadre de la phase de présélection, nous avons examiné plus de 200 références, notamment des documents sur les méthodes et outils spécifiques, des documents de synthèse, des cadres d'évaluation, des

documents d'informations clés, etc. En plus d'une compréhension générale de l'éventail et des types de méthodologies et d'outils d'évaluation des effets cumulatifs, plusieurs observations sont ressorties de cet examen :

- Des méthodes plutôt que des outils spécifiques ont été établies comme étant l'unité d'évaluation la plus appropriée pour l'examen détaillé (niveau 2).
- Différentes méthodes d'évaluation fournissent différentes fonctions et une combinaison des méthodes et des outils associés sera probablement nécessaire pour l'initiative sur les effets cumulatifs des activités maritimes.
- Les documents de synthèse regroupent les méthodes selon leur nature méthodologique (p. ex. analyse spatiale, modèles numériques, évaluation du risque) ou leur fonction dans le processus d'évaluation (p. ex. visualisation, évaluation de scénarios).

D'après ces constatations, nous avons établi trois catégories de méthodes pour l'examen détaillé : les méthodes spatiales, analytiques et de modélisation. Dans chaque catégorie, nous avons organisé les méthodes selon la partie du système sur laquelle ils se concentrent : les facteurs de stress, les CV ou les séquences (*Figure D.7*). Bien que les méthodes ne se divisent pas parfaitement en catégories mutuellement exclusives (p. ex. plusieurs méthodes incorporent une composante spatiale), nous avons trouvé qu'il s'agissait d'une structure d'organisation utile pour l'évaluation de niveau 2.

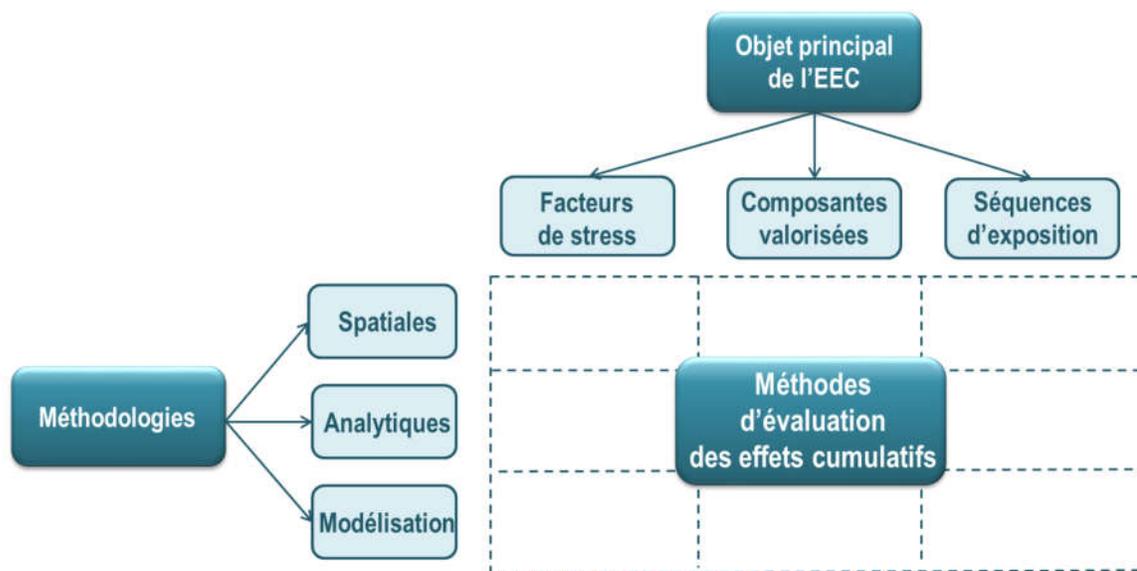


Figure D.7 : La structure organisationnelle pour l'évaluation des méthodes d'évaluation des effets cumulatifs.

L'évaluation de niveau 2 fournit une vue d'ensemble et une évaluation de chacune des trois catégories de méthodes (*section 4¹⁵*).

- **Vue d'ensemble** : Une description détaillée des méthodes et outils connexes spécifiques tels qu'appliqués aux éléments suivants : facteurs de stress, CV et séquences.

¹⁵ Les références de section en italique renvoient au rapport complet.

- **Évaluation** : Une évaluation des méthodologies par rapport à un ensemble de critères fixes. Ces critères rendent compte des attributs des méthodes qui sont particulièrement importants lors de la sélection d'une approche : la **pertinence** de la méthode par rapport à l'initiative sur les effets cumulatifs des activités maritimes, la **rigueur** de l'approche en ce qui concerne la façon dont elle est établie dans la pratique d'EC, le niveau d'information appuyant l'évaluation et le traitement de l'incertitude, et sa **faisabilité** comme estimation générale du degré de facilité pour mettre en œuvre l'approche d'évaluation.

Pour aider à déterminer les méthodes qui seraient appropriées sous différents scénarios, l'évaluation de niveau 2 :

- Fournit un classement qualitatif (élevé, moyen, bas) pour chaque méthode et critère (*section 5.2*).
- Documente l'application générale des méthodes, fournit des exemples hypothétiques de leur utilisation dans le cadre de l'initiative sur les effets cumulatifs des activités maritimes et établit les méthodes et outils spécifiques pertinents pour chaque catégorie de méthode (*section 5.3*).
- Décrit 30 études de cas (*section 5.4*) qui illustrent l'application des méthodes d'évaluation dans un contexte pertinent pour Transports Canada. Généralement, les études de cas utilisent plus d'une méthode ou un outil combiné pour réaliser les objectifs de leur étude. Ces études de cas ne sont pas incluses dans ce document d'information sur l'atelier.

Évaluation détaillée des méthodes candidates

Méthodes spatiales

Vue d'ensemble

Les méthodes spatiales pour évaluer les effets cumulatifs impliquent l'établissement des emplacements des facteurs de stress et des CV pour comprendre comment les CV sont exposées aux facteurs de stress (c.-à-d. un chevauchement géographique) et la façon dont cette exposition entraîne différents niveaux d'effets. Les approches spatiales peuvent impliquer la cartographie d'emplacements pour comprendre où il y a différents types de facteurs de stress et de CV ainsi que l'utilisation des caractéristiques des facteurs de stress et des CV avec des approches analytiques ou de modélisation pour mieux comprendre l'ampleur des effets. De cette façon, les approches spatiales ne sont pas distinctes des méthodes de modélisation et analytiques, mais plutôt complémentaires.

Les caractéristiques les plus pertinentes des méthodes spatiales comprennent ce qui suit :

- Les méthodes spatiales sont **l'une des approches les plus courantes** observées dans notre évaluation et devraient être une méthode clé pour l'initiative des effets cumulatifs des activités maritimes.
- Les évaluations spatiales peuvent être particulièrement **utiles au cours des premières itérations** pour préciser la portée (p. ex. relever les points chauds géographiques) et pour cerner les lacunes en matière d'information.
- Bien qu'il existe de nombreuses façons de recueillir des données spatiales et de nombreuses façons d'utiliser l'information spatiale qui en résulte, à la base des approches spatiales se trouve **une seule méthode simple sur le plan conceptuel** : Cartographier les lieux et les caractéristiques des activités/facteurs de stress et des CV.



Appendice C

ESSA Technologies Ltd.

- Les déductions ne devraient pas être faites à des **échelles spatiales** qui sont plus fines que ne le permettent les ensembles de données.
- Il est souvent plus facile de recueillir des données sur les activités ou les facteurs de stress que des données sur les CV, ce qui peut entraîner une **plus grande incertitude quant aux conclusions relatives aux CV**.
- Compte tenu des besoins importants en données, les évaluations exigent souvent des **hypothèses lorsque peu ou pas d'information est disponible**. Lorsque l'évaluation spatiale fait appel à des approches analytiques ou de modélisation complémentaires, les hypothèses relatives à ces méthodes s'appliquent également.

Application à l'initiative sur les effets cumulatifs des activités maritimes

Le type de trafic maritime ainsi que son intensité diffèrent spatialement le long des côtes du Canada. Cerner et cartographier les facteurs de stress apparaissant dans différents espaces vous permet de relever les points chauds préoccupants ou les endroits où les efforts de gestion peuvent être concentrés (Ban et coll. 2010). Cerner et cartographier davantage les CV permet de mettre en évidence les espaces où des mesures de gestion spécifiques peuvent être appliquées pour réduire les effets sur les valeurs spécifiques. Dans le contexte de l'initiative sur les effets cumulatifs des activités maritimes, les méthodes spatiales peuvent soutenir (*Tableau D.2*) la cartographie des emplacements et de l'intensité des facteurs de stress du transport ainsi que de l'emplacement des composantes valorisées dignes d'intérêt. Superposer ces deux ensembles d'information spatiale permet l'établissement des points chauds ou des domaines de préoccupation.

Tableau D.2 : Application générale des méthodes spatiales

Catégorie	Application générale	Exemple spécifique de la façon dont l'initiative sur les effets cumulatifs des activités maritimes pourrait utiliser les méthodes dans chaque catégorie	Méthodes et outils connexes
Facteur de stress	Cartographier les lieux et l'intensité des facteurs de stress liés aux activités maritimes	En utilisant les données de SIA, les informations sur la densité des embarcations peuvent être utilisées pour établir d'une façon spatialement explicite l'ampleur des nombreux facteurs de stress associés au mouvement en cours. En liant ces données spatialement explicites à des modèles associés aux facteurs de stress, les ampleurs estimées des facteurs de stress peuvent ensuite être examinées avec les emplacements des CV pour établir les secteurs géographiques préoccupants. Par exemple, le bruit sous-marin pourrait être modélisé en fonction de la densité du trafic, et cette information peut ensuite être superposée à l'information sur la répartition des mammifères marins.	Outils : ArcGIS, QGIS, SeaSketch
Composante valorisée	Cartographier l'emplacement des observations	Les cartes d'emplacements d'observations de mammifères marins et des habitats critiques des mammifères marins (tel qu'établis par le MPO), liées à l'exemple de facteur de stress dans la ligne ci-dessus, peuvent être surimposées aux informations sur la densité des navires pour établir les zones géographiques concernées. Cette information peut	Outils : ArcGIS, QGIS



Appendice C

		par la suite déterminer où plus de travail pourrait être requis pour suivre et/ou modéliser les effets.	
--	--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Évaluation

Tableau D.3 : Évaluation des méthodes spatiales

Catégorie	Méthode	Critères d'évaluation		
		Pertinence	Rigueur	Faisabilité
Facteurs de stress	Cartographie	Utile pour comprendre la variabilité spatiale de différents types de facteurs de stress, notamment parce que le type de trafic maritime et son intensité diffèrent au niveau spatial dans les eaux canadiennes. Le savoir autochtone peut être utilisé avec cette méthode. Élevé	Les méthodes pour cartographier les facteurs de stress sont bien documentées dans les documents approuvés par les pairs. Élevé	L'application et l'interprétation de la méthode sont intuitives. Elle peut intégrer plusieurs types de données qui sont relativement faciles à recueillir. La compilation des données requiert des compétences et des outils qui sont couramment utilisés. Élevé
Composantes valorisées	Cartographie	Utile pour comprendre la condition spatiale des composantes valorisées (CV), et en plus des informations sur les facteurs de stress, l'exposition des CV à différents facteurs de stress. Le savoir autochtone peut être utilisé avec cette méthode. Élevé	Les méthodes pour cartographier les facteurs de stress sont bien documentées dans les documents approuvés par les pairs. Élevé	L'application et l'interprétation de la méthode sont intuitives. Elle peut intégrer plusieurs types de données, et la compilation de données requiert des compétences et des outils qui sont couramment utilisés. La collecte de données peut être coûteuse si ces données n'existent pas déjà. Élevé
Séquences	Cartographie de l'effet cumulatif	Une façon spatialement explicite d'associer les facteurs de stress aux effets sur l'écosystème sous-jacent en utilisant des données limitées. Peut être utile selon les besoins en matière d'évaluation. Bien qu'il ne soit pas commun avec les autres applications, le savoir autochtone pourrait être utilisé avec cette méthode. Moyen	La cartographie de l'effet cumulatif a été appliquée à plusieurs endroits avec une approche qui est bien documentée dans les documents approuvés par les pairs. Les besoins en matière de données sont élevés, ce qui entraîne un manque de données et requiert l'établissement d'hypothèses pour tirer des conclusions. Moyen	Il y a plusieurs applications documentées à suivre lors de son application. Toutefois, puisque les exigences élevées en matière de données nécessitent l'établissement d'hypothèses, il y a une certaine complexité dans la nuance de l'application. La réalisation d'exercices de recherche d'experts est également requise. Moyen

Méthodes analytiques

Vue d'ensemble

La caractéristique principale de ces méthodes est l'utilisation de **données empiriques**⁴ (c.-à-d. des données tirées d'observations). Dans le contexte de l'initiative sur les effets cumulatifs des activités maritimes, les méthodes analytiques seraient utilisées pour cerner les répartitions spatiales des CV et évaluer la nature des relations entre les facteurs de stress et les CV (c.-à-d. les séquences).



Les méthodes analytiques pour établir la répartition spatiale des CV comprennent l'estimation du domaine vital et les modèles de qualité de l'habitat. Le concept de ces méthodes est simple, bien que les modèles de qualité de l'habitat nécessitent une analyse un peu plus impliquée, et il y a plusieurs outils logiciels disponibles gratuitement pour les appuyer. Une combinaison de connaissances en système d'information géographique et statistiques sont requises.

Le rapport décrit également un large éventail de méthodes analytiques pour évaluer les séquences, y compris : l'évaluation du risque, l'analyse de régression, les arbres et forêts de classification et de régression, l'analyse des composantes principales et les approches de pondération des éléments de preuve. Ces méthodes varient du point de vue de leur complexité, de leur rigueur, et de leurs exigences en matière de données.

Les principaux enseignements tirés de l'évaluation des méthodes analytiques comprennent :

- L'évaluation des relations fonctionnelles entre les facteurs de stress et les CV à l'aide de **données empiriques est un élément essentiel de l'évaluation des effets cumulatifs**. Cette étape est essentielle pour valider la nature des trajectoires hypothétiques, préciser la portée en déterminant les séquences les plus importantes, améliorer l'exactitude des modèles utilisés pour évaluer les scénarios de rechange, informer l'élaboration de seuils significatifs, prioriser les activités d'atténuation et quantifier l'incertitude.
- Ces méthodes comprennent beaucoup de données et leur applicabilité dépend de la **disponibilité et de la qualité des données**.
- **On prévoit que l'évaluation des risques** sera une méthode de détermination de la portée utile pour l'initiative des effets cumulatifs afin d'aider à préciser les priorités dans chaque région.
- **On s'attend à ce que le poids de la preuve** soit une méthode utile pour l'initiative des effets cumulatifs afin d'évaluer l'importance relative des différentes séquences d'exposition dans chaque région. On s'attend particulièrement à ce que ce soit le cas au début des premières itérations de l'initiative, en supposant que les données sont limitées et de nature variée, comme c'est le cas pour toute nouvelle initiative.
- Il faudrait investir dans des **méthodes plus complexes et plus riches en données** pour les séquences prioritaires où les incertitudes et les avantages potentiels sont élevés. Il s'agit notamment d'appuyer la surveillance pour combler les lacunes critiques en matière de données.
- **Le logiciel statistique R** est offert gratuitement, bien documenté, accepté en milieu universitaire et dispose d'outils facilement accessibles pour appuyer la plupart des méthodes analytiques abordées.

Application à l'initiative sur les effets cumulatifs des activités maritimes

Les méthodes analytiques peuvent appuyer l'initiative sur les effets cumulatifs des activités maritimes de plusieurs façons (*Tableau D.4*) :

- Déterminer la répartition spatiale des CV d'intérêt.
- Développer des modèles de qualité de l'habitat pour que les répartitions puissent être prédites selon les caractéristiques de l'habitat.
- Effectuer des évaluations du risque pour établir les zones hautement prioritaires ou les séquences où l'exposition et les conséquences sont élevées.
- Quantifier l'ampleur et la nature des relations fonctionnelles entre les facteurs de stress et les CV (c.-à-d. les séquences).



Appendice C

- Établir l'importance relative des différentes séquences (c.-à-d. les vecteurs du système).

Tableau D.4 : Application générale des méthodes analytiques

Catégorie	Application générale	Exemple spécifique de la façon dont l'initiative sur les effets cumulatifs des activités maritimes pourrait utiliser les méthodes dans chaque catégorie	Méthodes et outils associés
Composante valorisée	Déterminer la répartition spatiale des CV d'intérêt. Développer des modèles de qualité de l'habitat pour que les répartitions puissent être prédites selon les caractéristiques de l'habitat.	Les observations sur les loutres de mer pourraient être utilisées pour établir leurs domaines vitaux durant différentes périodes de l'année et différentes périodes de leur cycle de vie. Cette information pourrait être utilisée pour orienter les décisions/restrictions quant au mouvement des embarcations sur le plan temporel durant les périodes les plus vulnérables. Si les données autorisées ou du financement pouvaient être obtenus pour le suivi, des informations supplémentaires sur l'habitat pourraient être utilisées pour générer un modèle de qualité de l'habitat. Cela permettrait aux chercheurs d'effectuer des prévisions sur les répartitions spatiales dans des emplacements sans observations directes ou sous des scénarios futurs alternatifs.	Méthodologie : Distribution de l'utilisation, élaboration de modèles de qualité de l'habitat Outils : Langage de programmation R, logiciel d'indice de qualité de l'habitat de l'unité Services géologiques des États-Unis (USGS)
Séquence unique	Effectuer des évaluations du risque pour cerner les zones hautement prioritaires ou les séquences où l'exposition et les conséquences sont élevées.	L'initiative sur les effets cumulatifs des activités maritimes pourrait procéder à des évaluations du risque pour les CV prioritaires dans chaque région pour cerner les séquences facteurs de stress-CV où le risque est le plus élevé. Cela permettrait aux régions de consacrer plus d'efforts de suivi et de modélisation sur un sous-ensemble plus petit de CV prioritaires qui sont plus vulnérables aux facteurs de stress observés dans chaque région. Exemple : <ul style="list-style-type: none"> • Dans l'Arctique, une évaluation du risque pourrait être utilisée pour déterminer quelles préoccupations (p. ex. les effets accrus du trafic maritime sur la sécurité alimentaire) soulevées par les communautés autochtones et les intervenants sont plus à risque en raison des activités de transport maritime accrues ou actuelles. • Dans la baie de Fundy, l'évaluation du risque pourrait être utilisée pour déterminer quelles espèces préoccupantes sont plus à risque d'être exposées à des déversements d'hydrocarbures, la principale source de préoccupation dans cette région. 	Méthodologie : Évaluation du risque Outils : EcoFate
Séquence unique	Quantifier l'ampleur et la nature des relations fonctionnelles entre les facteurs de stress et les CV (c.-à-d. les séquences).	Quantifier les effets du mouvement en cours sur les colonies d'oiseaux nicheurs permettrait de déterminer combien d'effets constituent trop d'effets. Dans plusieurs cas, la relation fonctionnelle entre un facteur de stress et une réponse observée dans une CV est non-linéaire, c'est-à-dire qu'il peut y avoir des points critiques. Dans cet exemple, il est possible qu'un certain nombre de perturbations puissent être tolérées avant qu'un nid soit abandonné. Une fois que ces relations fonctionnelles sont quantifiées, elles peuvent être intégrées dans les modèles de simulation qui associent les divers scénarios de facteurs de	Méthodologie : Régression Outils : Langage de programmation R



Appendice C

Catégorie	Application générale	Exemple spécifique de la façon dont l'initiative sur les effets cumulatifs des activités maritimes pourrait utiliser les méthodes dans chaque catégorie	Méthodes et outils associés
		stress aux réactions au niveau de la population ou de l'écosystème.	
Séquences multiples	Établir l'importance relative des différentes séquences (c.-à-d. les vecteurs du système).	Une approche privilégiant le poids de la preuve pourrait être utilisée pour établir les séquences les plus préoccupantes pour les populations de bélugas dans le fleuve Saint-Laurent. Cela impliquerait de recueillir les meilleures données disponibles sur les facteurs de stress possibles (p. ex. le bruit, les collisions, les déversements d'hydrocarbures, le tourisme, les eaux usées des navires, les changements climatiques) et les populations de bélugas. Si un ou deux facteurs de stress ressortent, ils peuvent ensuite être priorisés dans le cadre d'efforts futurs de suivi et de modélisation. De plus, toute information sur l'ampleur et la nature de la relation fonctionnelle peut être intégrée dans les efforts de modélisation et d'atténuation futurs tel que décrit dans l'exemple de la séquence unique.	Méthodologie : Régression, CART (arbre de décision), forêts, ACP, Pondération des éléments de preuve Outils : Langage de programmation R

Évaluation

Tableau D.5 : Évaluation des méthodes analytiques

Catégorie	Méthode	Critères d'évaluation		
		Pertinence	Rigueur	Faisabilité
Composantes valorisées	Estimation du domaine vital	Cerner les habitats critiques. Moyen	Utilisation bien documentée dans les documents universitaires. Permet de prendre en compte l'incertitude. Élevé	L'application et l'interprétation de la méthode sont intuitives. Elle est relativement flexible en ce qui concerne les exigences en matière de données et peut intégrer plusieurs sources de différents degrés de précision. La méthode nécessite au moins des observations géoréférencées pour la CV d'intérêt. Il existe plusieurs outils logiciels disponibles gratuitement pour appuyer cette méthode. Élevé
	Modèle de qualité de l'habitat	Cerner les habitats critiques et prédire la répartition des espèces. Élevé	Utilisation bien documentée dans les documents universitaires. Permet de prendre en compte l'incertitude. Élevé	L'application et l'interprétation de la méthode sont intuitives. Les exigences en matière d'analyse et de données sont plus approfondies que pour les études de domaine vital. En plus des observations géoréférencées de la CV, des données pour l'habitat à des emplacements avec ou sans CV sont requises. Les utilisateurs doivent avoir des connaissances en statistique de niveau intermédiaire. Moyen



Appendice C

Catégorie	Méthode	Critères d'évaluation		
		Pertinence	Rigueur	Faisabilité
Séquences	Évaluation du risque	Utile pour établir les séquences critiques où l'exposition et les conséquences sont élevées. Comme outil de détermination de la portée et de priorisation, cette méthode est très pertinente. Ce n'est pas une méthode appropriée pour quantifier la réponse fonctionnelle réelle d'une CV à une activité ou un facteur de stress. Moyen - élevé	Utilisation bien documentée dans les documents universitaires. Toutefois, la méthode est moins normalisée et moins quantitative que plusieurs des autres méthodes analytiques. Des méthodes ponctuelles sont parfois utilisées pour aborder l'incertitude. Moyen	L'application et l'interprétation de la méthode sont intuitives. Elle est relativement flexible en ce qui concerne les exigences en matière de données et peut intégrer plusieurs sources de différents degrés de précision. Élevé
	Analyse de régression	Évaluer l'ampleur et la nature des relations fonctionnelles entre les facteurs de stress et les CV <u>ainsi</u> qu'établir l'importance relative des différentes séquences (c.-à-d. les moteurs du système). Élevé	La méthode analytique la plus établie discutée dans ce rapport. Utilisation bien documentée dans les documents universitaires. Permet de prendre en compte l'incertitude. Quand il y a suffisamment de données, il s'agit de la méthode préférée pour quantifier les relations. Élevé	Comprend un grand volume de données. La mise en œuvre et l'interprétation sont difficiles. Les utilisateurs doivent avoir de bonnes connaissances en statistique. L'application à une seule séquence est moins difficile (c.-à-d. qu'elle nécessite moins de données et est plus facile à mettre en œuvre et interpréter) que d'essayer d'évaluer l'importance relative de plusieurs facteurs de stress sur une composante valorisée spécifique. Faible
	Arbres ou forêts de classification et de régression	Évaluer l'ampleur et la nature des relations fonctionnelles entre les facteurs de stress et les CV. Élevé	Un développement plus récent dans la documentation, mais cette approche est tout de même bien documentée dans les documents universitaires. Les méthodes de l'amorçage sont utilisées pour tenir compte de l'incertitude. Moyen	Cette approche comprend un plus grand volume de données que l'analyse de régression. La méthode est assez facile à mettre en œuvre et interpréter grâce à l'utilisation d'outils logiciels disponibles gratuitement. Elle peut être utile lorsqu'il y a une quantité importante de facteurs de stress potentiels et de l'incertitude en ce qui a trait à la nature des relations. Il existe plusieurs outils logiciels disponibles gratuitement pour appuyer cette méthode. Les utilisateurs doivent avoir des connaissances en statistique de niveau intermédiaire. Moyen
	Analyse en composantes principales	Établir l'importance relative des différentes séquences (c.-à-d. les moteurs du système). Utile principalement dans ce contexte pour aider à préciser la portée. Moyen	Utilisation bien documentée dans les documents universitaires. Permet de prendre en compte l'incertitude. Élevé	Comprend un grand volume de données. La mise en œuvre et l'interprétation peuvent être intimidantes sans connaissances en statistique. Faible ou moyen?



Catégorie	Méthode	Critères d'évaluation		
		Pertinence	Rigueur	Faisabilité
	Poids de la preuve	Établir l'importance relative des différentes séquences (c.-à-d. les moteurs du système). Élevé	Utilisation bien documentée dans les documents universitaires, toutefois la méthode est moins normalisée et moins quantitative que plusieurs des autres méthodes analytiques. L'incertitude peut être abordée de façon quantitative ou en utilisant des approches ponctuelles dans certaines sources de données et non d'autres. Moyen	Cette méthode a un fondement intuitif et est simple du point de vue conceptuel mais peut intégrer des informations plus rigoureuses le cas échéant. La méthode peut intégrer plusieurs sources de données de qualité et quantité variable. Élevé

Méthodes de modélisation

Vue d'ensemble

Les modèles sont des outils qui permettent l'abstraction et la représentation des systèmes naturels et la prédiction de leur comportement. En ce sens, une caractéristique principale des approches de modélisation est qu'elles peuvent être utilisées pour mettre à l'essai différents scénarios ou des options de gestion. En ajustant les paramètres du modèle, nous pouvons examiner comment le système réagit aux changements des facteurs de stress ou à la mise en œuvre des mesures d'atténuation.

Pour l'environnement marin, un vaste éventail d'approches de modélisation a été utilisé pour modéliser les effets cumulatifs (Clarke Murray et coll. 2014), des modèles conceptuels décrivant le système et les interactions entre les facteurs de stress et les CV aux modèles prédictifs quantitatifs complexes évaluant les effets des séquences spécifiques ou facteurs de stress.

Contrairement aux méthodes analytiques, les modèles peuvent être développés en l'absence de données empiriques. Cet usage permet de tester des solutions de rechange à l'aide de connaissances d'experts et d'hypothèses actuelles sur le système. L'analyse de sensibilité peut aider à délimiter le problème et à cerner les parties les plus sensibles du système. Les séquences ayant la plus grande influence ou l'incertitude la plus grande quant à leur effet sur la CV peuvent alors être classées par ordre de priorité en matière de collecte de données.

Les modèles avec un seul facteur de stress, comme les modèles de bruit sous-marin ou de déversement d'hydrocarbures, sont extrêmement utiles pour prédire l'intensité d'un facteur de stress spécifique dans une région. Ces modèles sont bien établis et sont le fruit de décennies de recherche et d'études de cas et des applications peuvent être trouvées pour différents contextes géographiques. Par exemple, des modèles de propagation du bruit ont été élaborés pour la région du Pacifique (Erbe et coll. 2012, O'Neill et coll. 2017, Cominelli et coll. 2018), l'Arctique (Aulanier et coll. 2017, Halliday et coll. 2017), et l'estuaire du Saint-Laurent (Chion et coll. 2017).

Les modèles écologiques, qui se concentrent sur une seule espèce ou plusieurs espèces dans l'ensemble de l'écosystème, ont surtout été appliqués à la gestion des pêches. Il y a des modèles visant une seule espèce, telle que l'analyse de la viabilité de la population, qui peuvent être combinés à de l'information sur les facteurs de stress anthropiques pour évaluer l'effet des activités humaines sur une espèce au niveau de la population (Lacy et coll. 2017). Les cadres de modélisation de l'écosystème trophique, tels que Ecosim avec Ecopath (EwE) sont de plus en plus appliqués aux problèmes environnementaux et de gestion autres que ceux des

Appendice C

Examen des méthodes d'évaluation des effets cumulatifs du transport maritime

Rapport final

pêches. Harvey (2018) a récemment étudié les effets du bruit sous-marin sur les populations de cétacés près des côtes de l'Écosse en utilisant un cadre de modélisation EwE.

Les modèles de séquence unique permettent d'avoir une connaissance plus approfondie d'une séquence d'intérêt (c.-à-d. les effets d'un facteur de stress donné sur une CV prioritaire). Plus important encore, ils peuvent être utilisés pour mettre à l'essai divers scénarios ou mesures de gestion et leurs effets sur les interactions entre les facteurs de stress et les composantes valorisées. Par exemple, Chion et coll. (2017) a utilisé le modèle 3MTSim pour estimer comment les mesures de restriction liées aux activités maritimes affectent la population de bélugas dans le fleuve Saint-Laurent.

Les modèles à séquences multiples sont des cadres d'articulation de problème et peuvent être appliqués à toute combinaison de facteurs de stress et de composantes valorisées (Patricio et coll. 2016). Ces modèles varient en complexité, des modèles conceptuels simples (p. ex. les séquences des effets) aux modèles spatialement explicites qui combinent plusieurs techniques de modélisation sous un cadre prédictif spatialement explicite et qui permettent une évaluation globale du système et facilitent l'évaluation des diverses mesures de suivi et de gestion (Bastos et coll. 2017).

Les enseignements généraux sur les méthodes de modélisation tirés de l'évaluation comprennent ce qui suit :

- Les méthodes de modélisation se distinguent principalement par le fait qu'elles peuvent être utilisées pour mettre à l'essai **d'autres scénarios** ou options de gestion, le troisième volet de l'étape d'évaluation (*Figure D.5*).
- Contrairement aux méthodes analytiques, les **modèles peuvent être développés en l'absence de données empiriques**. Cet usage permet de tester des solutions de rechange à l'aide de connaissances d'experts et d'hypothèses actuelles sur le système. L'analyse de sensibilité peut aider à délimiter le problème et à cerner les parties les plus sensibles du système. Les séquences ayant la plus grande influence ou l'incertitude la plus grande quant à leur effet sur la CV peuvent alors être classées par ordre de priorité en matière de collecte de données.
- **Les modèles de simulation spatialement explicites qui établissent un lien entre les facteurs de stress et les CV et permettent d'évaluer d'autres scénarios sont la méthode ultime d'EEC**. Cependant, le niveau de données, d'efforts et d'expertise requis pour leur mise en œuvre rend les modèles spatialement explicites qui conviennent le mieux aux échelles régionales pour un sous-ensemble de CV de haute priorité et pour les séquences les plus efficaces et offrant un potentiel d'amélioration.

Application à l'initiative sur les effets cumulatifs des activités maritimes

Notre examen a permis de recenser un large éventail de méthodes de modélisation qui pourraient soutenir l'initiative sur les effets cumulatifs des activités maritimes. Ces méthodes peuvent aider à formuler des hypothèses et à déterminer la portée (c.-à-d. les modèles conceptuels), à quantifier l'intensité des facteurs de stress (modèles de facteurs de stress), à évaluer l'état et l'interaction entre les composantes de l'environnement (modèles de composantes valorisées), à lier les facteurs de stress à leurs effets sur les composantes valorisées (modèles à séquence unique) et à étudier comment les différentes séquences peuvent avoir des effets sur une ou plusieurs composantes valorisées (modèles à séquences multiples).



Appendice C

Tableau D.6 : Application générale des méthodes de modélisation

Catégorie	Application générale	Exemple spécifique de la façon dont l'initiative sur les effets cumulatifs des activités maritimes pourrait utiliser les méthodes dans chaque catégorie	Méthodes et outils associés
Facteur de stress	Modéliser l'ampleur ou la répartition du facteur de stress associé à une activité particulière.	L'effet de l'ancrage dans le nord de la Colombie-Britannique pourrait être examiné en modélisant d'abord la perturbation du substrat ou « l'empreinte d'ancrage » pour les bateaux individuels sous différentes conditions (p. ex. la marée, le vent, le courant) et ensuite en utilisant ce modèle pour évaluer la perturbation actuelle ainsi que les futurs scénarios possibles. Cette information pourrait plus tard être superposée à l'information de répartition des composantes valorisées ou de l'habitat pour informer l'ampleur de l'effet (c.-à-d. l'évaluation de la séquence unique).	Modèles de bruit : RAM, RANDI, NONM, NEMES Modélisation des déversements d'hydrocarbures : MOTHY, MEDSLIK, MEDSLIK-II, POSEIDON-OSM, SAMSON, H3D, SPILLCALC Émissions : MEIT
Composante valorisée	Simuler comment un ou plusieurs facteurs de stress peuvent affecter une composante écologique de l'environnement à l'échelle des espèces, de l'habitat ou de l'écosystème.	Un modèle de cycle de vie pour le saumon pourrait être généré pour éclairer les analyses de la viabilité de la population. En d'autres termes, les nombreux paramètres de cycle de vie (p. ex. la survie des juvéniles) pourraient être ajustés pour évaluer les effets à long terme sur la population. Le modèle pourrait ultérieurement être associé aux modèles de facteurs de stress pour évaluer les réactions au niveau de la population aux différents scénarios de gestion (p. ex. les modèles à séquence unique ou à séquences multiples).	Méthode : Analyse de la viabilité de la population (AVP) Méthode/outils : ECOPATH avec ECCOSIM (EwE), Atlantis
Séquence unique	Associer les facteurs de stress aux composantes spécifiques en simulant le processus par lequel les effets se produisent d'un lien à l'autre le long d'une séquence particulière.	Un modèle de facteur de stress unique qui décrit la position et le mouvement des navires-citernes pourrait être généré pour établir les secteurs qui ne sont plus disponibles pour la pêche. Ce modèle pourrait ensuite être lié à un deuxième modèle qui décrit une possibilité théorique de pêche (c.-à-d. des ouvertures temporelles et spatiales ou des secteurs utilisés traditionnellement). La combinaison de ces deux modèles pourrait être utilisée pour évaluer les possibilités de pêche actuelles perdues et les scénarios futurs possibles sous différentes options de migration. Un modèle de séquences peut également combiner un modèle de propagation de bruit sous-marin à un modèle de répartition de cétacés sensibles pour évaluer les effets potentiels du bruit accru engendré par le trafic maritime. Les modèles de collision entre les navires fonctionnent de la même façon, combinant les données relatives au trafic à la répartition de certaines espèces pour évaluer le risque de collisions.	Méthode: liaison du facteur de stress et des modèles de CV Outils : Modèle 3MTSim, Application du modèle d'effets du déversement (SIMAP)
Séquences multiples	Les cadres d'articulation de problèmes qui peuvent être appliqués à toute combinaison de facteurs de stress et de composantes valorisées pour comprendre l'effet combiné de séquences multiples ainsi que leur importance relative.	Sous un cadre FPEIR (facteurs, pression, état, effet, réaction) ou du réseau bayésien (BBN), les multiples séquences des effets de transport (bruit, risque de collisions entre les navires, etc.) pourraient être conceptualisées et étudiées pour évaluer leur importance relative et mettre à l'essai de nombreuses options de gestion.	Méthodes : FPEIR, BBN, SdE, modèles spatialement explicites



Évaluation

Tableau D.7 : Évaluation des méthodes de modélisation

Catégorie	Méthode	Critères d'évaluation		
		Pertinence	Rigueur	Faisabilité
Facteurs de stress		Très utile pour étudier l'intensité des facteurs de stress spécifiques (bruit, déversements d'hydrocarbures) et explorer les scénarios de gestion. Les modèles existent pour quelques facteurs de stress associés aux activités maritimes. Élevé	Ces modèles sont le résultat d'une recherche bien établie. Ils sont bien documentés. Abordent explicitement les incertitudes. Élevé	Exigences importantes et spécifiques en matière de données. Les utilisateurs doivent posséder des compétences quantitatives et connaître le sujet de façon approfondie. Les coûts peuvent inclure l'achat d'un logiciel spécifique. Moyen
Composantes valorisées	Une seule espèce	Utile pour explorer les scénarios et comprendre la réaction aux facteurs de stress d'une espèce qui a une importance particulière (CV prioritaire). Moyen	Utilisation bien documentée dans les documents universitaires. Élevé	Nécessite des données et des connaissances approfondies sur les espèces visées. Les utilisateurs doivent posséder des connaissances en statistique/quantitatives. Moyen
	Plusieurs espèces	Ces modèles portent sur la simulation des interactions trophiques/des prédateurs. Lien nébuleux aux pressions anthropiques. Faible	Plusieurs études de cas et documents universitaires documentent les applications de ces modèles. Traitement rigoureux des données et prise en compte de l'incertitude de manière explicite. Élevé	Nécessite des données et des connaissances approfondies sur les espèces visées. Les utilisateurs doivent avoir de bonnes connaissances en statistiques pour modéliser les interactions des espèces. Faible
	Écosystèmes	Utilisés principalement pour la gestion des pêches, ces modèles commencent à être appliqués pour rendre compte des activités humaines. Toutefois, on ignore comment cela s'appliquerait à l'initiative sur les effets cumulatifs des activités maritimes à moins que la composante valorisée elle-même soit un écosystème. Moyen	Vaste documentation sur ces modèles. Plusieurs outils et méthodes disponibles avec de la documentation spécifique. Les incertitudes sont habituellement documentées. Élevé	En général, il s'agit de modèles avec un volume de données important qui nécessitent de vastes ensembles de données pour calibrer et effectuer les simulations. Faible
Séquence unique		Ces modèles établissent les interactions entre les facteurs de stress et les CV et peuvent être utilisés pour évaluer les divers scénarios. Élevé	Bien documenté dans la documentation. Les incertitudes (dans la base de connaissance et les prédictions du modèle) sont bien documentées. Élevé	Exigences importantes et spécifiques en matière de données. Équipes multidisciplinaires ayant des connaissances approfondies. Les coûts peuvent inclure l'achat d'un logiciel spécifique. Moyen
Séquences multiples	SdE	Une compréhension explicite des liens de causalité entre les facteurs de stress et les	Les SdE sont considérés comme une pratique exemplaire. La qualité des preuves venant appuyer les	Les modèles des SdE peuvent être élaborés par plusieurs intervenants



		composantes devrait être la base de tout modèle. Élevé	liens détermine le niveau d'incertitude du modèle. Moyen	selon les données et les connaissances disponibles. Élevé
	FPEIR	L'approche flexible d'articulation de problème qui peut être appliquée à plusieurs contextes. Un modèle axé sur les politiques. Élevé	Application pratique limitée; la plupart des évaluations sont semi-quantitatives. Moyen	Ce modèle est flexible en ce qui a trait aux données et peut être adapté aux ressources disponibles. Élevé
	Réseaux de croyance bayésiens (BBN)	L'application est limitée aux problèmes marins, mais ces modèles apparaissent comme une solution dans des contextes où les données sont limitées. Élevé	L'incertitude est explicitement abordée. Élevé	Les modèles BBN peuvent combiner des données empiriques et des connaissances d'experts. Élevé
	Spatialement explicite	Approche de modélisation globale qui évalue les effets des effets cumulatifs dans l'espace. Élevé	Des études de cas bien documentées dans la littérature. L'incertitude est habituellement documentée. Élevé	Ces modèles exigent des compétences particulières (modélisation spatiale et stochastique) et sont plus axés sur les données que les autres modèles à séquences multiples. Moyen

Méthodes de soutien et d'organisation

En dehors des trois catégories de méthodes d'évaluation (p. ex. méthode spatiale, méthode analytique et méthode de modélisation) évaluées en détail, nous avons trouvé et résumé plusieurs autres méthodes qui pourraient être utiles pour l'initiative sur les effets cumulatifs des activités maritimes.

Méthodes de soutien

Le savoir autochtone et les méthodes de **recherche d'experts** peuvent soutenir l'évaluation des effets cumulatifs de diverses façons, surtout pour compléter les données limitées sur les systèmes socio-écologiques en cours d'étude. Par exemple, le savoir autochtone détenu par les individus dans les collectivités côtières comprend une mine d'informations qui peut être utile pour mieux comprendre les dynamiques des systèmes complexes, fournir des indications sur les liens entre les pratiques de gestion traditionnelles et les croyances culturelles, informer les décisions de gestion du milieu marin, et appuyer la résilience dans un contexte d'écosystèmes changeants.

De la même manière, les différentes méthodes ont utilisé des interventions d'experts pour identifier les composantes importantes à inclure dans l'évaluation, y compris les activités humaines qui devraient être incluses, les facteurs de stress engendrés par chaque activité, et les composantes du système socio-écologiques qui sont importantes à inclure. Les interventions d'experts ont également été utilisées pour quantifier la relation entre les différentes composantes dans le système. Par exemple, l'approche de cartographie de l'effet cumulatif développée par Halpern et coll. (2008) implique d'obtenir des conseils d'experts pour estimer les niveaux d'effets spécifiques à l'écosystème pour les multiples facteurs anthropiques de changements d'ordre écologique.

Méthodes d'organisation

Notre évaluation a également permis de recenser des cadres d'organisation qui intègrent une série de méthodes et d'outils d'évaluation d'une façon qui permet aux décideurs d'utiliser l'information générée par le processus d'évaluation (Figure D.8).

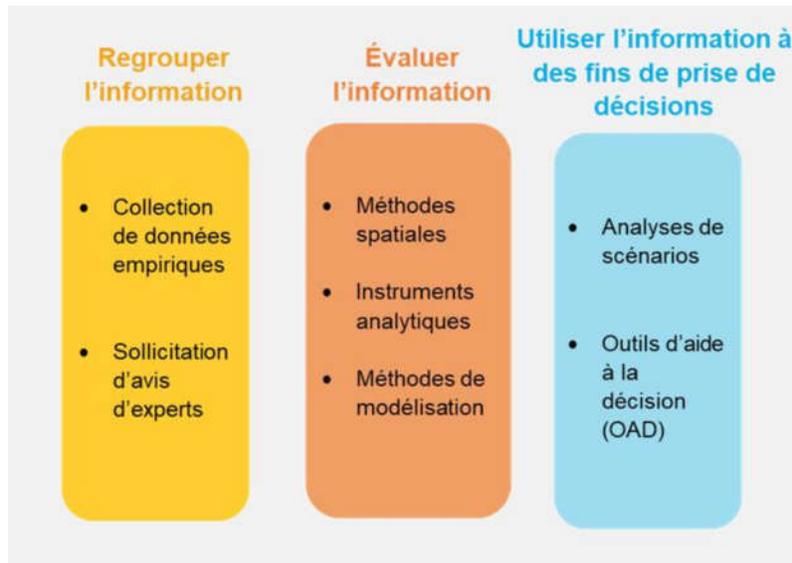


Figure D.8 : Un diagramme conceptuel qui montre comment un cadre peut aider à organiser la façon dont nous rassemblons, évaluons et utilisons l'information pour parvenir à des décisions de gestion.

Les cadres d'évaluation du risque permettent d'évaluer qualitativement et quantitativement l'exposition d'une composante valorisée à un facteur de stress et sa sensibilité. Le cadre peut utiliser des évaluations spatiales et analytiques, le savoir autochtone, l'intervention d'experts, les relations de cause à effet et les résultats de modèles pour évaluer l'effet relatif de divers facteurs de stress sur les composantes valorisées.

Des cadres tels que le **Cadre stratégique pour le milieu marin de l'UE** et le **Cadre sur les effets cumulatifs de la Colombie-Britannique** permettent aux évaluations des effets cumulatifs d'aborder explicitement les préoccupations de gestion en définissant clairement les objectifs et les seuils (c.-à-d. ce qui est considéré comme un « bon état écologique »), et de permettre des analyses à résolution large ou fine en présentant des objectifs spécifiques par échelle. Ces exemples et les autres exemples existants peuvent fournir des modèles utiles pour l'initiative sur les effets cumulatifs des activités maritimes.

Conclusions

Observations déterminantes

Évaluer les effets cumulatifs dans le cadre de l'initiative sur les effets cumulatifs des activités maritimes nécessitera une combinaison de méthodes d'évaluation. Par elles-mêmes, la plupart des méthodes évaluées ne sont pas suffisantes pour réaliser une évaluation complète. Toutefois, elles peuvent toutes jouer un rôle important lors du processus d'évaluation, surtout :

- Les méthodes spatiales sont les plus utiles pour évaluer l'état de référence des activités/facteurs de stress ou des CV et pour comprendre comment les CV sont spatialement exposés aux activités/facteurs de stress;
- Les méthodes analytiques fondées sur des données empiriques sont utiles pour interpréter les données spatiales afin d'éclairer notre compréhension des principaux besoins en matière d'habitat, d'évaluer les risques et de quantifier les relations entre les facteurs de stress et les CV (c.-à-d. les séquences des effets);
- Les méthodes de modélisation s'appuient sur les deux catégories précédentes et sont nécessaires pour évaluer des scénarios de rechange.

Les exemples portant sur les CV sociales étaient moins fréquents dans l'évaluation, mais les connaissances s'appliquent généralement aux CV écologiques et sociales.

Les activités maritimes sont pertinentes à l'échelle nationale, tandis que les CV et les séquences des effets diffèrent selon les régions. Il peut être possible de choisir un seul outil de modélisation pour les facteurs de stress préoccupants (p. ex. hydrocarbures ou bruit) et de les reproduire dans plusieurs régions. Cela permettrait d'améliorer l'efficacité, de renforcer les capacités et de comparer plus facilement les résultats d'une région à l'autre. Cependant, il est probable que différentes méthodes et outils connexes seront nécessaires pour évaluer les CV et les séquences des effets dans chaque région, selon la nature des CV, l'intensité des facteurs de stress, la disponibilité des données locales et la capacité.

Principes directeurs préliminaires

La liste de principes directeurs suivante est ressortie de l'évaluation.

Tableau D.8 : Principes directeurs pour la mise en œuvre de l'étape d'évaluation de l'initiative sur les effets cumulatifs des activités maritimes.

Principes	Description
Déterminer les objectifs de gestion au début du processus.	La détermination des décisions de gestion à l'avance aidera à caractériser les scénarios d'intérêt possibles. La détermination des possibilités d'atténuation qui sont sous le contrôle de l'initiative des effets cumulatifs aidera également à cibler les efforts d'évaluation.
Mettre l'accent sur l'essentiel	Il n'est pas possible de tout évaluer. La détermination de la portée d'un ensemble gérable de CV prioritaires (p. ex. moins de 10), des facteurs de stress préoccupants et des séquences d'exposition les plus importantes est essentielle à la réussite de l'étape de l'évaluation. L'initiative sur les effets cumulatifs des activités maritimes est actuellement en train d'affiner la portée dans chaque région. Le processus d'établissement des priorités et les décisions qui en découlent devraient être documentés. On s'attend à ce que l'amélioration de la portée se poursuive de façon itérative à mesure que l'évaluation progresse.
Faire fond sur les travaux existants	Dans la mesure du possible, tirez parti des travaux existants plutôt que de repartir à zéro. Il existe un certain nombre d'initiatives connexes qui pourraient être utilisées pour soutenir différents aspects de l'initiative sur les effets cumulatifs des activités maritimes. Cela peut inclure tout ce qui suit : les cadres d'évaluation des effets cumulatifs, les outils de modélisation existants, les analyses quantifiant les séquences d'exposition, les seuils et les systèmes de surveillance et de gestion des données.

Déterminer explicitement les incertitudes	Il peut s'agir d'hypothèses de modèle, de données manquantes ou d'incertitude quant aux données. L'incertitude peut être exprimée de manière quantitative ou qualitative.
Garder les choses simples	Les modèles sont des méthodes d'évaluation complexes, et cette complexité augmente au fur et à mesure que la portée du modèle augmente (p. ex. les séquences d'exposition plutôt que les facteurs de stress uniques ou les CV). Pour éviter les complications inutiles, il convient de choisir le modèle le plus simple qui permet d'atteindre les objectifs de l'évaluation. Nous recommandons de coupler plusieurs modèles plus petits et plus simples plutôt que de créer un seul modèle global (p. ex. relier un modèle des facteurs de stress du bruit à un modèle distinct du cycle de vie des populations de bélugas). Cette approche permet de mieux tirer parti des travaux existants, de miser sur les forces des experts en la matière et de réduire la complexité. En général, nous recommandons de n'envisager qu'une seule CV à la fois, bien que de multiples facteurs de stress et séquences d'exposition doivent être pris en considération simultanément. On ne s'attend pas à ce que la complexité supplémentaire de la modélisation de plusieurs CV simultanément soit fructueuse, sauf peut-être dans les cas où il existe des interactions claires au niveau trophique entre les CV (p. ex. mammifères marins et poissons-fourrages). Malgré tout, il s'agirait probablement de questions pour des itérations ultérieures, à mesure que des incertitudes précises sont cernées.

Sélection de la méthode d'évaluation

Le choix de méthodes spécifiques et d'outils connexes dans chaque catégorie dépend de la pertinence (p. ex. CV prioritaires), de la rigueur (p. ex. crédibilité de la méthode et qualité des résultats) et de la faisabilité (p. ex. capacité ou financement) des différentes options dans cette catégorie. En général, les premières itérations de l'étape d'évaluation tendent à utiliser des méthodes plus simples et moins gourmandes en données et sont davantage axées sur le raffinement de la portée et le recensement des lacunes dans les connaissances. Alors que les itérations ultérieures peuvent impliquer des méthodes plus complexes appliquées à une portée plus étroite (p. ex. les séquences les plus importantes).

Nous proposons une série de questions d'orientation à considérer lors de la sélection de méthodes d'évaluation à utiliser avec les tableaux sommaires détaillés du rapport (*tableaux 5.2 et 5.3*) :

- **Pertinence**
 - *À quelle étape du processus d'évaluation en êtes-vous?*
 - *Les séquences les plus importantes ont-elles été déterminées?*
 - *Quelles décisions de gestion sont éclairées par l'évaluation des effets cumulatifs?*
- **Rigueur**
 - *Quel niveau d'information est disponible pour les CV et les facteurs de stress prioritaires?*
 - *Est-il possible de compléter les informations disponibles par le savoir autochtone ou d'experts?*
 - *Est-il possible de recueillir de nouvelles données?*
- **Faisabilité**
 - *Quel est le niveau général de connaissances et de compétences de l'équipe qui dirige l'évaluation des effets cumulatifs?*



Appendice C

ESSA Technologies Ltd.

- *Quelles sont les ressources (p. ex. temps, argent) disponibles pour mener l'évaluation des effets cumulatifs?*
 - *Existe-t-il déjà des applications de méthodes ou d'outils pour les CV prioritaires, les facteurs de stress préoccupants ou les séquences d'effet?*
 - *Qui sont les principaux intervenants et quelle est la meilleure façon de communiquer les résultats?*
-

¹ **Un facteur de stress** est tout procédé physique, chimique ou biologique qui, à un niveau d'intensité donné, a le potentiel d'avoir un effet négatif sur une composante valorisée. [Thornborough et coll. 2018 (MPO)]

² **Les composantes valorisées** font référence aux caractéristiques environnementales qui peuvent être affectées par une activité et qui ont été établies comme étant une préoccupation par le promoteur, les organismes gouvernementaux, les peuples autochtones ou le public. La valeur d'une composante ne concerne pas seulement son rôle dans l'écosystème, mais également la valeur que les gens leur accordent. Par exemple, elle peut avoir été identifiée comme ayant une importance scientifique, sociale, culturelle, économique, historique, archéologique ou esthétique. [La définition est adaptée de la LCEE 2012.]

³ **L'effet cumulatif** est un changement dans l'environnement causé par plusieurs interactions entre les activités humaines et les processus naturels qui s'accumulent dans l'espace et le temps.

⁴ **Empirique** « Qui provient ou repose sur l'observation ou l'expérience » (traduction de la définition du Merriam-Webster) [<https://www.merriam-webster.com/dictionary/empirical>].

