Les sciences de la mer au Canada : Relever le défi, saisir l'opportunité

Le comité d'experts sur les sciences de la mer au Canada

Council of Canadian Academies
Conseil des académies canadiennes

La savoir au service du public

LES SCIENCES DE LA MER AU CANADA : RELEVER LE DÉFI, SAISIR L'OPPORTUNITÉ

Le comité d'experts sur les sciences de la mer au Canada

LE CONSEIL DES ACADÉMIES CANADIENNES
180, rue Elgin, bureau 1401, Ottawa (Ontario) Canada K2P 2K3

AVIS : Le projet sur lequel porte ce rapport a été entrepris avec l'approbation du conseil des gouverneurs du Conseil des académies canadiennes (CAC). Les membres du conseil des gouverneurs sont issus de la Société royale du Canada (SRC), de l'Académie canadienne du génie (ACG) et de l'Académie canadienne des sciences de la santé (ACSS), ainsi que du grand public. Les membres du comité d'experts responsable du rapport ont été choisis par le CAC en raison de leurs compétences spécifiques et en vue d'obtenir un éventail équilibré de points de vue.

Ce rapport a été préparé pour le Consortium canadien des universités de la recherche océanographique (CCURO). Les opinions, constatations et conclusions présentées dans cette publication sont celles des auteurs, à savoir les membres du comité d'experts sur les sciences de la mer au Canada, et ne reflètent pas nécessairement les points de vue des organisations où ils travaillent ou auxquelles ils sont affiliés.

Catalogage avant publication de Bibliothèque et Archives Canada
Les sciences de la mer au Canada : relever le défi, saisir l'opportunité / Le Comité d'experts sur les sciences de la mer.

Publié aussi en anglais sous le titre: Ocean science in Canada.

Comprend des références bibliographiques et un index.

Publié en formats imprimé(s) et électronique(s).

ISBN 978-1-926558-68-4 (relié). – ISBN 978-1-926558-69-1 (pdf)

1. Sciences de la mer – Recherche – Canada. I. Conseil des académies canadiennes. Comité d'experts sur les sciences de la mer, auteur

GC59.15.O3414 2013 551.46072'071 C2013-905598-3
C2013-905599-1

Avis de non-responsabilité : Au meilleur de la connaissance du CAC, les données et les informations tirées d'Internet qui figurent dans le présent rapport étaient exactes à la date de publication du rapport. En raison de la nature dynamique d'Internet, des ressources gratuites et accessibles au public peuvent subséquemment faire l'objet de restrictions ou de frais d'accès, et l'emplacement des éléments d'information peut changer lorsque les menus et les pages Web sont modifiés.

© 2013 Conseil des académies canadiennes

Imprimé à Ottawa, Canada

Council of Canadian Academies
Conseil des académies canadiennes

Le Conseil des academies canadiennes

Le savoir au service du public

Le Conseil des académies canadiennes (CAC) est un organisme indépendant à but non lucratif qui soutient des évaluations scientifiques indépendantes, effectuées par des experts, visant à éclairer l'élaboration de politiques publiques au Canada. Dirigé par un conseil de 12 gouverneurs et conseillé par un comité consultatif scientifique de 16 membres, le CAC a pour champ d'action la « science » au sens large, ce qui englobe les sciences naturelles, les sciences sociales, les sciences de la santé, ainsi que le génie et les sciences humaines.

Les évaluations du CAC sont effectuées par des comités pluridisciplinaires indépendants d'experts provenant du Canada et de l'étranger. Ces évaluations visent à cerner des problèmes émergents, des lacunes dans les connaissances, les atouts du Canada, ainsi que les tendances et les pratiques internationales. Ces études fournissent aux décideurs gouvernementaux, aux universitaires et aux parties prenantes les renseignements de haut calibre dont ils ont besoin pour élaborer des politiques publiques éclairées et novatrices.

Toutes les évaluations du CAC sont soumises à un examen formel. Elles sont publiées en français et en anglais et mises à la disposition du public sans frais. Des fondations, des organisations non gouvernementales, le secteur privé et tout palier de gouvernement peuvent soumettre au CAC des questions susceptibles de faire l'objet d'une évaluation.

Le CAC bénéficie aussi du soutien de ses trois académies membres fondatrices :

La Société royale du Canada (SRC) est le principal organisme national regroupant d'éminents scientifiques, chercheurs et artistes au Canada. La SRC a pour objectif premier de promouvoir l'acquisition du savoir et la recherche en arts et en sciences. Elle compte près de 2000 membres, des hommes et des femmes choisis par leurs pairs pour leurs réalisations exceptionnelles en sciences naturelles, en sciences humaines et en arts. La SRC s'attache à reconnaître l'excellence, à conseiller les gouvernements et les organisations et à promouvoir la culture canadienne.

L'Académie canadienne du génie (ACG) est l'organisme national par l'entremise duquel les ingénieurs les plus accomplis et chevronnés du Canada offrent des conseils stratégiques sur les enjeux de première importance pour le Canada. L'ACG, un organisme indépendant, autonome et à but non lucratif, a été fondé en 1987. Ses membres sont nommés et élus par leurs pairs, en reconnaissance de leurs réalisations exceptionnelles et de leurs longs états de service au sein de

la profession d'ingénieur. Les membres de l'ACG, qui sont approximativement au nombre de 600, s'engagent à faire en sorte que l'expertise canadienne en génie soit appliquée pour le plus grand bien de tous les Canadiens.

L'Académie canadienne des sciences de la santé (ACSS) reconnaît des personnes qui ont à leur actif de grandes réalisations dans le domaine des sciences de la santé en milieu universitaire au Canada. Fondée en 2004, l'ACSS compte environ 400 membres et elle nomme de nouveaux membres à chaque année. L'organisme est géré par un conseil de direction bénévole et un comité exécutif. La principale fonction de l'ACSS est de fournir des évaluations pertinentes, éclairées et impartiales sur des questions urgentes qui touchent la santé des Canadiens et des Canadiennes. De plus, l'ACSS surveille l'évolution des événements touchant à la santé mondiale afin de renforcer la capacité d'intervention du Canada pour l'avenir, et elle sert de porte-parole au Canada dans le domaine des sciences de la santé sur la scène internationale. Enfin, l'ACSS offre une voix collective et multidisciplinaire faisant autorité au nom de la collectivité des sciences de la santé.

www.sciencepourlepublic.ca
@scienceadvice

Le comité d'experts sur les sciences de la mer au Canada

David Strangway, O.C., MSRC (président), ancien président-directeur général, Fondation canadienne pour l'innovation; ancien président et vice-recteur, Université de la Colombie-Britannique; ancien chef du département de géophysique, NASA; chancelier fondateur, Université Quest (Kelowna, C.-B.)

Louis Fortier, O.C., O.Q., professeur, Département de biologie, Université Laval (Québec, Qc)

Jim Hanlon, directeur général, Halifax Marine Research Institute (HMRI) (Halifax, N.-É.)

Peter Herzig, directeur administratif, GEOMAR – Centre Helmholtz pour la recherche océanographique (Kiel, Allemagne)

Barbara Neis, professeure, Département de sociologie, Université Memorial; codirectrice, SafetyNet Centre for Occupational Health and Safety Research (St. John's, T.-N.-L.)

R. Ian Perry, chercheur scientifique, Pêches et Océans Canada (Nanaimo, C.-B.); professeur agrégé, Université de la Colombie-Britannique (Vancouver, C.-B.)

Martin Taylor, professeur de géographie, Université de Victoria; ancien président-directeur général d'Ocean Networks Canada (Victoria, C.-B.)

Wendy Watson-Wright, secrétaire administrative et directrice-générale adjointe, Commission océanographique intergouvernementale (COI), UNESCO (Paris, France)

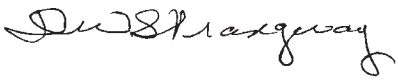
Message du président

Les sciences de la mer sont au cœur de notre compréhension des liens complexes par lesquels l'océan influe sur la vie des Canadiens et les Canadiens influent sur l'océan. Elles sont à la base de l'élaboration de modes durables d'utilisation des ressources (biologiques, minérales et énergétiques) de l'océan au bénéfice de la société tout en assumant le rôle de gardien responsable de l'océan planétaire. Les sciences de la mer sont uniques parce qu'elles puisent à de nombreuse sources d'excellence. Ce domaine de recherche ne connaît pas de frontières disciplinaires ou géographiques. Les sciences de la mer allient les connaissances produites par des scientifiques de nombreuses disciplines aux quatre coins du monde et elles bénéficient des efforts de gens de tous les secteurs de la société. Elles tirent parti des universités et du rôle qu'elles jouent dans l'enseignement et la recherche, ainsi que de la coordination de la recherche et de l'élaboration des politiques assurées par les gouvernements (fédéral, provinciaux et municipaux). Les sciences de la mer font aussi appel à l'expertise du secteur privé pour favoriser une mise en valeur responsable des ressources océaniques, souvent en collaboration avec des innovateurs des secteurs public et privé, pour mettre au point des technologies et des outils indispensables qui ouvriront la voie à de nouvelles façons de faire de la recherche. Enfin, les sciences de la mer s'appuient sur l'expérience et les connaissances des collectivités de toute taille jalonnant les trois côtes du Canada, ainsi que de nombreux autres citoyens intéressés ailleurs au pays.

Le comité d'experts sur les sciences de la mer au Canada a reçu le mandat d'évaluer quelles capacités sont requises pour répondre à une série de questions de recherche fondamentales énoncées par un groupe cadre sur les sciences de la mer canadiennes et quelles capacités parmi celles-ci sont actuellement disponibles au pays. Mais avant tout, ces questions nous incitent à élargir notre vision des sciences de la mer. La compréhension de l'océan, de ses côtes et du plateau continental est une entreprise tridimensionnelle qui exige des méthodes d'étude de plus en plus poussées et un niveau de détail croissant au chapitre de la surveillance et de l'observation. Pour que les sociétés puissent maintenir des systèmes océaniques sains et capables de leur procurer des avantages aujourd'hui et demain, nous devons aussi comprendre comment les systèmes socioécologiques marins changent avec le temps — ce qui ajoute une quatrième dimension à ce défi. La communauté mondiale à laquelle appartiennent les océanologues canadiens s'efforce constamment de repousser les frontières de la recherche afin d'élaborer les méthodes, les outils et les approches nécessaires pour relever les défis complexes inhérents à ces questions de recherche et pour saisir les occasions qu'engendre une meilleure compréhension du rôle du Canada en tant que nation océanique.

J'aimerais remercier mes collègues membres du comité d'experts pour leur engagement et leur esprit exceptionnel qui ont contribué à faire de ce processus une expérience des plus agréables. Le comité d'experts est par ailleurs hautement redevable envers les nombreuses personnes et organisations qui lui ont facilité l'accès à une grande partie des données probantes examinées dans ce rapport. Enfin, le comité d'experts et moi-même tenons à exprimer nos remerciements sincères aux membres du personnel du CAC pour leur excellent soutien dans la collecte de données à de nombreuses sources et leur synthèse, de même que pour leur aide au moment d'amalgamer les diverses idées exprimées par le comité d'experts en un rapport de haute qualité.

Président du comité d'experts sur les sciences de la mer au Canada



David Strangway, O.C., MSRC

Remerciements

Au cours de ses délibérations, le comité d'experts a sollicité le concours de nombreuses personnes et organisations qui lui ont fourni des données et des informations précieuses aux fins de son examen. Des remerciements particuliers s'adressent au personnel du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG), du Conseil de recherches en sciences humaines (CRSH), aux Instituts de recherche en santé du Canada (IRSC), à la Fondation canadienne pour les sciences du climat et de l'atmosphère (devenue le Forum canadien du climat) et à Génome Canada pour leur aide dans la compilation des données sur le financement de la recherche.

En outre, le comité d'experts a largement profité de la contribution des personnes suivantes : Doris Fortin et Dave Hazen, de Recherche et développement pour la défense Canada (RDDC); Frank Welsh, de l'Agence de la santé publique du Canada (ASPC); Lisa Willner et Glen Condran, de Pêches et Océans Canada (MPO); Fred Cotaras, d'Ultra Electronics; Jim MacFarlane et Jim Ferguson, d'International Submarine Engineering; Bob Wilson, du Comité national canadien du Comité scientifique pour les recherches océaniques (CNC-SCOR); Paul Snelgrove, de l'Université Memorial; Paul Yeatman, de Geospectrum Technologies; Sara Iverson et Lucia Fanning, de l'Université Dalhousie; Scott McLean, d'Ocean Networks Canada (ONC); Tony Davis, de l'Université Mount Saint Vincent; Dan Lane et Mark Hannington, de l'Université d'Ottawa; Anne Rodger, du Nova Scotia Community College; Roy Hyndman, de la Commission géologique du Canada; Neil Gall, du gouvernement de Terre-Neuve-et-Labrador; Steve Scott, de l'Université de Toronto; Michael Enachescu, de MGM Energy; Stan Sutcliffe, de Suncor Energy; David Grant, Witty Murray et Greg Crawford, de l'Université de l'Île de Vancouver; Curtis Suttle, de l'Université de la Colombie-Britannique; Karen Kohfeld, de l'Université Simon Fraser; Renée Elio, de l'Université de l'Alberta; Dave Barber, de l'Université du Manitoba; Jaime Palter et Rose Goldstein, de l'Université McGill; Serge Demers, de l'Université du Québec à Rimouski; Ulrich Wortmann, de l'Université de Toronto; Adi Kellerman, du Conseil international pour l'exploration de la mer (CIEM); Bob Gagosian, du Consortium for Ocean Leadership; Ed Urban, du Comité scientifique pour les recherches océaniques (CSRO); Nancy Davis, de la Commission des poissons anadromes du Pacifique-Nord (CPAPN); et Tokio Wada, de l'Agence de recherches sur les pêches du Japon.

Personnel responsable du projet au Conseil des academies canadiennes

Équipe de l'évaluation : Stefan Juncurt, directeur intérimaire de programmes
Jonathan Whiteley, chercheur
Weronika Zych, coordonnatrice de programmes
Emily Maddocks, associée de recherche
CarolAnne Black, stagiaire

Avec la participation de : Clare Walker, révision du texte anglais
Eve Rickert, révision du texte anglais, Talk Science to Me
CIGC inc., services de traduction de l'anglais au français
Accurate Design & Communications, conception graphique

Examen du rapport

Ce rapport a été examiné, à l'état d'ébauche, par les personnes mentionnées ci-dessous. Celles-ci ont été choisies par le Conseil des académies canadiennes en raison de la diversité de leurs points de vue, de leurs domaines de spécialisation et de leurs origines, dans les secteurs des établissements universitaires, de l'entreprise privée, des politiques et des organisations non gouvernementales.

Ces examinateurs ont évalué l'objectivité et la qualité du rapport. Leurs avis — qui demeureront confidentiels — ont été pleinement pris en considération par le comité d'experts, et un grand nombre de leurs suggestions ont été incorporées dans le rapport. Nous n'avons pas demandé à ces personnes d'approuver les conclusions du rapport, et elles n'ont pas vu la version définitive du rapport avant sa publication. Le comité d'experts sur les sciences de la mer au Canada et le Conseil des académies canadiennes assument l'entière responsabilité du contenu définitif de ce rapport.

Le CAC tient à remercier les personnes suivantes d'avoir bien voulu examiner le rapport :

Tim Cowles, vice-président et administrateur, Ocean Observing Activities, Consortium for Ocean Leadership (Washington, DC)

Ken Croasdale, MACG, président, K.R. Croasdale & Associates Ltd. (Calgary, Alb.)

John Cullen, MSRC, Département d'océanographie, Université Dalhousie (Halifax, N.-É.)

Anthony Edward Hill, directeur général, National Oceanography Centre (Southampton, Royaume-Uni)

Leslie O'Reilly, directeur exécutif, OceansAdvance Inc. (St. John's, T.-N.-L.)

Rosemary Ommer, professeure auxiliaire, Université de Victoria (à la retraite) (Salt Spring Island, C.-B.)

Lori Ridgeway, conseillère principale du sous-ministre délégué, ministère des Pêches et Océans (à la retraite) (Ottawa, Ont.)

Paul Snelgrove, professeur et titulaire d'une chaire de recherche du Canada, Université Memorial de Terre-Neuve (St. John's, T.-N.-L.)

Rashid Sumaila, professeur et directeur, Fisheries Centre, Université de la Colombie-Britannique (Vancouver, C.-B.)

Verena Tunnicliffe, MSRC, professeure et titulaire de la chaire de recherche du Canada en biologie et en sciences de la terre et de la mer, Université de Victoria (Victoria, C.-B.)

La procédure d'examen du rapport a été supervisée, au nom du conseil des gouverneurs et du comité consultatif scientifique du CAC, par **M. Joseph D. Wright, MACG,** ancien président-directeur général, Paprican. Son rôle était de veiller à ce que le comité d'experts prenne en considération de façon entière et équitable les avis des examinateurs. Le conseil des gouverneurs du CAC n'autorise la publication du rapport d'un comité d'experts qu'une fois que la personne chargée de superviser l'examen du rapport confirme que le rapport satisfait bien aux exigences du CAC. Le CAC remercie M. Wright d'avoir supervisé consciencieusement l'examen du rapport.

La présidente-directrice générale du Conseil des académies canadiennes,

Elizabeth Dowdeswell, O.C.

Sommaire

Le Canada est façonné par l'océan. Trois bassins océaniques et le plus long littoral du monde tracent les frontières du Canada, influent sur le climat, regorgent de ressources précieuses et d'autres richesses et relient le Canada à ses voisins — rapprochés et éloignés — par le biais du commerce, du transport et des courants océaniques. Les systèmes océaniques procurent une foule de biens et de services aux Canadiens : des aliments provenant du poisson et d'autres organismes marins, de l'énergie tirée des gisements extracôtiers de pétrole et de gaz et de sources renouvelables, des minéraux sous-marins, la biodiversité, des routes de transport, un potentiel récréatif et l'emploi connexe.

Le système océanique complexe est soumis à un stress en raison des changements sans précédents qui se produisent à l'échelle planétaire, notamment le changement climatique, l'acidification de l'océan et la pression de plus en plus grande qu'exerce sur les ressources océaniques une population mondiale croissante et plus affluente. L'exposition importante du Canada à l'océan et à l'Arctique en mutation rapide engendre des possibilités presque illimitées pour la recherche fondamentale afin d'améliorer la compréhension des processus océaniques et pour la recherche appliquée sur le développement et la gestion durables de l'océan et des régions côtières au bénéfice de la société canadienne. Mais cela impose aussi au Canada le devoir d'agir en gardien de l'océan mondial.

Les sciences de la mer fournissent le fondement nécessaire à la compréhension des diverses façons dont l'océan influence la vie sur terre et des interactions entre les sociétés humaines et l'océan. L'ampleur de ces problématiques de recherche par rapport à la population restreinte du Canada soulève un défi primordial pour la société canadienne : comment s'assurer que les capacités en sciences de la mer sont à la fois étendues et adaptatives (tirant parti des enseignements et de l'apport de disciplines, de secteurs et de groupes multiples), conçues de façon appropriée et déployées efficacement. Telles qu'interprétées dans ce rapport, les sciences de la mer englobent toutes les disciplines de recherche qui s'intéressent à l'étude de l'océan et du littoral et de leur rapport avec les sociétés : les sciences naturelles, les sciences sociales et les sciences de la santé, ainsi que le génie, les sciences humaines et la recherche multidisciplinaire. Les sciences de la mer visent à comprendre des systèmes socioécologiques complexes qui interviennent à de multiples échelles, ce qui requiert un modèle de recherche multidisciplinaire fondé sur la collaboration.

Reconnaissant l'importance des sciences de la mer, le Consortium canadien des universités de la recherche océanographique (CCURO, pour Canadian Consortium of Ocean Research Universities) a demandé au Conseil des académies

canadiennes (CAC) de réaliser une évaluation sur l'état des sciences de la mer au Canada. Le CAC s'est attaqué à cette tâche en deux étapes. Premièrement, le CAC a demandé à un groupe cadre formé se spécialistes des sciences de la mer du Canada et de l'étranger d'élaborer un ensemble de questions de recherche prioritaires, lesquelles ont été publiées dans un document intitulé *Les 40 questions prioritaires pour la recherche canadienne en sciences de la mer*. Deuxièmement, le CCURO a demandé au CAC de convoquer un comité d'experts canadiens et étrangers en sciences de la mer pour exécuter le mandat suivant, en prenant pour guide les 40 questions de recherche :

> *Quel sont les besoins et capacités du Canada en matière de recherche en sciences de la mer s'il veut répondre aux principales questions et problématiques touchant ses océans et ses côtes et consolider son rôle de chef de file de la collaboration internationale en sciences de la mer?*

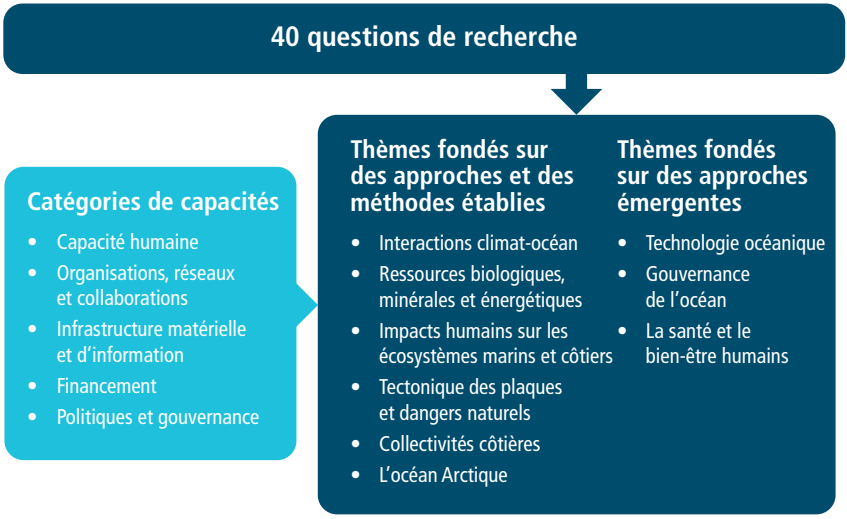


Figure 1

Cadre conceptuel pour répondre au mandat

Le comité d'experts a défini cinq catégories en vue de déterminer les capacités requises pour répondre aux 40 questions de recherche énoncées durant la phase 1 de l'évaluation et estimer la capacité de recherche actuelle au Canada. Pour faciliter l'analyse, le comité d'experts a regroupé les questions de recherche sous neuf thèmes : six thèmes regroupent les questions fondées sur des méthodes et des approches établies en sciences de la mer; les questions de recherche regroupées sous les trois autres thèmes sont davantage tournées vers l'avenir, abordant des besoins de recherche futurs incertains et des changements de paradigme attendus.

Afin de déterminer les capacités requises pour répondre aux 40 questions de recherche et évaluer les capacités actuelles du Canada (les « besoins et capacités » du mandat), le comité d'experts a examiné les données probantes pertinentes aux cinq catégories de capacités et regroupé les questions sous neuf thèmes (figure 1). Certaines questions de portée générale ont été associées à plus d'un thème. Le comité d'experts a employé une analyse bibliométrique des articles parus dans des revues évaluées par les pairs pour estimer la performance actuelle du Canada dans la recherche en sciences de la mer, laquelle a été complétée par un examen et une analyse d'autres renseignements disponibles sur la capacité, comme des données sur le financement et le personnel hautement qualifié et des publications et rapports scientifiques, afin d'articuler des possibilités et des défis sous chacun des thèmes.

LA SITUATION DES SCIENCES DE LA MER AU CANADA

Les sciences de la mer au Canada sont structurées en un réseau de grappes régionales qui regroupent diverses organisations ayant des capacités et des intérêts différents en matière de recherche. Alors qu'une bonne partie de la capacité de recherche sur l'Arctique est regroupée le long du fleuve Saint-Laurent, les principaux centres de recherche sur le pétrole et le gaz extracôtiers sont concentrés sur la côte Est et un observatoire câblé du plancher océanique parmi les meilleurs au monde est situé au large de la côte Ouest. Cette structure permet d'éviter certains des risques inhérents à un établissement de recherche océanographique central, qui pourrait se traduire par une forte concentration géographique de la capacité. Cependant, le réseau de grappes dispersées du Canada peut se révéler problématique pour certaines formes de collaboration, l'alignement des stratégies de recherche, et la coordination et l'utilisation des grands investissements en infrastructure.

Les analyses bibliométriques font ressortir l'importance historique des organisations du gouvernement fédéral au sein de ce réseau, en particulier Pêches et Océans Canada (MPO), Ressources naturelles Canada, Environnement Canada et le Conseil national de recherches du Canada. Ces organisations décentralisées, qui ont des mandats nationaux, représentent des pôles vitaux pour la collaboration et l'accès à l'expertise et aux infrastructures essentielles, telles que les navires, les laboratoires spécialisés, les bases de données et l'infrastructure de traitement des données et de communication. Les universités sont aussi des pivots importants qui collaborent avec les ministères et, de plus en plus, les unes avec les autres au sein de réseaux de recherche. Les activités des ministères, des universités et des autres acteurs varient selon les thèmes de recherche. Le secteur privé dispose d'une capacité de recherche importante dans des domaines tels que la mise en valeur des ressources pétrolières et gazières au large des côtes, l'extraction minière en eaux profondes et la technologie océanique. Ainsi, non seulement les capacités en sciences de la mer au Canada sont-elles dispersées géographiquement, mais elles

sont réparties entre une variété d'organisations ayant des priorités et des mandats différents. Cela ajoute une autre dimension au défi que pose la coordination des activités et des ressources limitées en sciences de la mer à travers le pays.

L'ÉTAT ET LA CAPACITÉ DES SCIENCES DE LA MER AU CANADA

Le comité d'experts a constaté que les données et les informations requises pour évaluer les capacités en sciences de la mer se trouvent actuellement entre les mains d'un grand nombre d'établissements et ont été colligées dans des formats non comparables et souvent incomplets ou non accessibles au public. La nature multidisciplinaire des sciences de la mer signifie aussi qu'il est difficile de les isoler dans les ensembles de données existants. Le comité d'experts a identifié un certain nombre de domaines où l'information était limitée ou structurée d'une manière qui en réduisait l'utilité aux fins de l'évaluation, par exemple le nombre de chercheurs actifs en sciences de la mer, la capacité au sein des universités, les activités de recherche dans le secteur privé, les dépenses consacrées aux sciences de la mer par les divers ministères, les parcs de gros instruments et la collaboration internationale. En se basant sur les meilleurs renseignements disponibles, le comité d'experts a esquissé un aperçu de la capacité des sciences de la mer au Canada et a formulé les observations clés suivantes :

- **L'état de la capacité humaine en sciences de la mer ne peut être déterminé en raison des limites des données**. Malgré l'augmentation continue du nombre d'étudiants au premier cycle et aux cycles supérieurs dans plusieurs disciplines liées aux sciences de la mer au Canada entre 2001 et 2009, il est difficile de dire si les tendances générales de la capacité humaine sont globalement positives, ou si les compétences requises pour répondre aux 40 questions de recherche sont disponibles. En raison de leur nature interdisciplinaire, les sciences de la mer font intervenir du personnel hautement qualifié provenant de nombreux programmes et départements, ce qui signifie que la capacité humaine constitue l'une des catégories les plus difficiles à évaluer. Cela suscite une préoccupation particulière du fait que la capacité humaine déterminera l'utilisation et la productivité de tous les autres volets de la capacité des sciences de la mer.
- **Le Canada dispose d'une flotte de navires de recherche importante mais vieillissante**. La Garde côtière canadienne opère la flotte de navires de recherche du Canada qui comprend plusieurs grands navires océanographiques et un brise-glace réservé à la recherche qui permet d'avoir accès à l'Arctique. La moitié de ces navires ont été construits il y a plus de 25 ans, et les plus âgés sont davantage sujets à des pannes, à des coûts plus élevés et à des pertes de temps-navire opérationnel pour des raisons d'entretien. En outre, le comité d'experts a observé que d'autres pays avaient mis en place des systèmes plus transparents de répartition du temps-navire qui favorisent une utilisation plus efficiente du temps-navire et fournissent des données servant à la planification des investissements en infrastructure. Le renouvellement en cours de la flotte

de recherche canadienne fournit l'occasion non seulement de moderniser une infrastructure vieillissante, mais aussi d'assurer une meilleure correspondance entre les spécifications des navires et les besoins de la science.

- **Le Canada possède plusieurs systèmes d'observation et de surveillance océaniques de calibre mondial; cependant, l'extension de la couverture géographique et l'intégration de la gestion des données posent des défis**. Le Canada a récemment investi dans des plateformes d'observation novatrices comme l'observatoire câblé NEPTUNE et l'Ocean Tracking Network, qui exploitent des forces historiques dans le développement des technologies de détection et d'observation à distance. Alors que ces systèmes sont à la fine pointe du progrès et attireront des océanologues réputés de partout dans le monde, des problèmes subsistent au niveau de la couverture géographique des activités d'observation et de surveillance, en particulier dans l'Arctique. D'autres défis continuent de se poser en ce qui a trait à l'intégration et à l'accessibilité des données par le biais de portails de données modernes. Il est notamment important de résoudre ces difficultés aux fins de la recherche sur les changements à l'échelle planétaire, notamment le changement climatique.
- **Même si le financement alloué aux sciences de la mer dans les universités canadiennes va en augmentant, les tendances du financement total demeurent imprécises en raison d'une insuffisance de données**. Les dépenses totales des organismes de financement au Canada ont augmenté entre 2002 et 2011, mais le financement direct de projets de recherche individuels a diminué depuis 2008. Davantage de fonds sont consacrés aux grands réseaux de recherche et aux investissements dans des projets d'infrastructure majeurs, mais les changements apportés aux politiques et aux programmes des organismes de financement requièrent une coordination plus étroite parmi les chercheurs et un meilleur alignement des multiples sources de financement. Les dépenses du MPO pour des activités scientifiques ont atteint un sommet entre 2006 et 2008, suivi d'un repli jusqu'à leur niveau de 2002. Dans l'ensemble, les données sur les dépenses des organisations gouvernementales et du secteur privé en sciences de la mer étaient insuffisantes pour estimer les tendances nationales du financement des sciences de la mer.
- **Le Canada se classe dans le groupe de tête des pays pour la production et l'impact des études publiées en sciences de la mer, mais sa position est vulnérable**. Le comité d'experts a utilisé une analyse bibliométrique comme indicateur approximatif pour faire une comparaison internationale de la performance du Canada en sciences de la mer. Cette analyse révèle que le Canada arrive au 7e rang pour le nombre d'études évaluées par les pairs et au 11e rang pour l'impact scientifique, mesuré par la moyenne des citations relatives. Au Canada, les sciences de la mer croissent plus lentement que les autres domaines scientifiques. Le Canada enregistre aussi le plus faible indice de croissance parmi les 25 premiers pays en sciences de la mer. Cela signifie

que les sciences de la mer perdent plus rapidement du terrain que les autres domaines scientifiques au Canada sur les autres pays, ce qui entraînera à long terme un recul de la position du Canada au chapitre de la production et de l'impact de la recherche.

RÉPONDRE AUX GRANDES QUESTIONS DE RECHERCHE : POSSIBILITÉS ET DÉFIS

Le comité d'experts a évalué les capacités requises pour répondre aux questions de recherche regroupées sous chacun des six thèmes axés sur des méthodes et des approches établies en sciences de la mer. Cet exercice a été suivi d'une évaluation de la capacité existante à l'aide d'une analyse bibliométrique et d'autres renseignements disponibles. À la lumière de ces évaluations, le comité d'experts a défini des possibilités et des défis en sciences de la mer au Canada pour chacun de ces thèmes :

- **Interactions océan-climat** : Le Canada dispose d'une capacité importante de télédétection et de modélisation climatique qui offre des possibilités pour faire avancer la recherche sur les interactions océan-climat et, plus précisément, pour s'attaquer aux questions axées sur une meilleure intégration de l'océan et de la glace marine dans les modèles climatiques. Mais pour saisir cette occasion, il faut pouvoir compter sur des observations continues et le suivi des données océaniques liées au climat. Cela pose un défi pour le Canada, principalement en raison de l'étendue et de l'éloignement des côtes, dont une grande partie se trouve dans l'Arctique où les activités d'observation et de surveillance sont évidemment plus coûteuses.
- **Ressources biologiques, minérales et énergétiques** : Le Canada a une importante capacité de recherche fondamentale sous ce thème qui repose en grande partie sur la qualité historique de la recherche gouvernementale, notamment en sciences halieutiques et en géologie marine, et sur la recherche halieutique menée dans plusieurs instituts de recherche universitaires qui publient abondamment. Ces forces engendrent des possibilités en sciences halieutiques en fournissant l'assise à une capacité de recherche émergente sur la biodiversité marine à l'aide de technologies et d'approches fondées sur la génomique. Les principaux défis dans ce domaine sont de prévenir une perte supplémentaire de capacité en taxonomie et de poursuivre la transition vers des approches plus holistiques telles que les cadres de recherche écosystémiques et socioécologiques. Le secteur privé possède une capacité de recherche substantielle dans le domaine des ressources minérales et énergétiques, notamment des bases de données géologiques et d'autres ressources d'information. Les principaux défis à ce chapitre sont de mieux coordonner et aligner la capacité des établissements privés, gouvernementaux et universitaires, et d'intégrer efficacement la recherche sur les impacts environnementaux et sociétaux de la mise en valeur des ressources océaniques.

- **Impacts humains sur les écosystèmes marins et côtiers** : La recherche sur ce thème est aussi avantagée par les atouts historiques des ministères et des universités. Le défi consiste à adapter la capacité existante à l'évolution du contexte et des priorités de ce secteur de recherche. Les ajustements faits jusqu'à maintenant ont suscité un retard dans la recherche sur les espèces envahissantes — lequel pourrait bientôt être comblé grâce à un nouveau projet de réseau — ainsi que dans la surveillance et la compréhension des comportements des contaminants, en particulier les contaminants nouveaux et les contaminants connus dans des conditions nouvelles et changeantes (par exemple, les déversements de pétrole sous le couvert de glace marin). Simultanément, on assiste à des déplacements et à des chevauchements dans les responsabilités des ministères au chapitre de la recherche et de la surveillance des contaminants connus et nouveaux. En raison de ces développements, la recherche sur les impacts humains arrive difficilement à maintenir la cadence avec l'exploitation de nouvelles ressources océaniques et l'apparition de nouvelles sources de pollution en provenance du milieu terrestre.
- **Tectonique des plaques et dangers naturels** : Les réalisations passées au chapitre des levés géologiques et hydrographiques et les investissements récents dans des observatoires câblés à la fine pointe de la technologie offrent de grandes possibilités sous ce thème. Ces investissements comportent aussi des défis pour ce qui est d'assurer à long terme la couverture des coûts de fonctionnement et d'utilisation de ces plateformes pour la recherche. D'autres défis ont trait à la mobilisation de la capacité requise pour cartographier en détail la géologie et la bathymétrie du vaste fond océanique du Canada.
- **Collectivités côtières** : Le Canada possède une communauté active de scientifiques de diverses disciplines qui font de la recherche sur ce thème et, notamment, sur les effets du changement climatique, de la dégradation des ressources, de l'expansion des populations côtières et des utilisations de plus en plus variées des régions côtières et de l'océan. Des réseaux interdisciplinaires englobant les sciences naturelles et sociales et le génie sont essentiels pour mobiliser ce potentiel. Un défi clé est donc d'assurer un soutien continu à la collaboration interdisciplinaire et à la formation dans ces domaines.
- **Océan Arctique** : Les investissements récents et futurs dans des brise-glaces et des laboratoires de recherche dans l'Arctique ouvriront des possibilités pour élucider certaines questions de recherche inhérentes à l'océan Arctique. Certaines sont liées à l'importance stratégique et économique croissante de la région arctique. Étant donné que plusieurs de ces questions portent sur les effets du changement climatique, des défis similaires se posent sur le plan de la continuité des observations. La nécessité d'établir des priorités pour la recherche sur certains impacts des activités humaines dans l'Arctique de manière à ce que la recherche suive le rythme du développement soulève également d'autres défis.

Les trois autres thèmes englobent des questions de recherche de nature plus prospective qui décrivent des besoins futurs en recherche ou anticipent des changements de paradigme que ne peut saisir l'analyse bibliométrique. Le comité d'experts s'est donc intéressé aux modèles de recherche émergents et aux conditions qui favorisent leur développement et leur adoption. Utilisant cette approche, le comité d'experts a recensé les possibilités et les défis suivants :

- **Technologie océanique** : Le secteur diversifié et dynamique de la technologie océanique au Canada a assurément la capacité requise pour mettre au point des outils et des technologies susceptibles de faire progresser les sciences de la mer au Canada et à l'étranger. Ces technologies peuvent faciliter de nouvelles formes d'observations et d'expériences et abaisser les coûts de la surveillance à grande échelle à long terme, ce qui contribuera à atténuer les difficultés inhérentes aux autres thèmes de recherche. Un défi primordial dans ce domaine est de parvenir à mieux aligner le développement technologique motivé par la recherche dans le secteur scientifique sur les possibilités qui s'offrent pour mettre au point des technologies commerciales, et améliorer l'accès des instruments scientifiques aux marchés internationaux de manière à rendre ces innovations économiquement viables.
- **Gouvernance de l'océan** : Ce thème se distingue par une incertitude croissante des volets écologiques et sociaux des systèmes socioécologiques et il requiert de plus en plus l'intégration de connaissances provenant de sources multiples. La nécessité d'élaborer des approches privilégiant l'adaptation et la participation dans la gouvernance de l'océan laisse entrevoir des possibilités pour élaborer des approches novatrices en recherche, ainsi que de nouveaux modèles d'alignement et de collaboration entre les chercheurs, les décideurs et les professionnels.
- **Santé et bien-être humains** : La recherche sur les rapports entre l'océan et la santé et le bien-être humains connaît un changement de paradigme, l'accent se déplaçant des contaminants et des maladies vers une interprétation plus holistique des déterminants sociaux et environnementaux de la santé. Même si plusieurs questions de recherche évoquent ce changement, la recherche actuelle au Canada s'intéresse principalement à certains déterminants biologiques, comme les pathogènes et les biotoxines. Les principaux défis à cet égard concernent l'intégration de la capacité de recherche sur certains déterminants en lien avec l'océan aux recherches qui s'inscrivent dans une perspective plus vaste de la santé de la population.

NOUVEAUX PARAMÈTRES DE LA RECHERCHE CANADIENNE SUR L'OCÉAN PLANÉTAIRE

Les sciences de la mer deviennent de plus en plus complexes, multidisciplinaires, multi-échelles et interdépendantes sur le plan international. Pour répondre aux 40 questions de recherche, il faudra concevoir de nouvelles formes d'alignement et de collaboration au niveau tant national qu'international. Le comité d'experts

a constaté que le paysage des sciences de la mer au Canada était déjà en voie de changer en réaction à ces besoins. Des réseaux innovateurs tels que les Réseaux de centres d'excellence facilitent la collaboration entre les scientifiques des universités, du gouvernement, du secteur privé, des organisations de la société civile et des collectivités. De nouvelles possibilités de financement, par exemple celles offertes par la Fondation canadienne pour l'innovation, facilitent la mise en place et la gestion de grosses infrastructures, comme des navires et des réseaux d'observation, hors des organisations fédérales. Des consortiums d'intervenants tels que le CCURO font leur apparition en donnant l'impulsion nécessaire au changement. Ces réseaux et ces modèles d'alignement nouveaux ont déjà débouché sur plusieurs initiatives novatrices de calibre mondial.

Malgré ces avancées, le comité d'experts a repéré les lacunes suivantes dans la coordination et l'alignement de la communauté des sciences de la mer au Canada, lesquelles ne sont pas abordées à l'heure actuelle :

- **Un manque de vision** : Contrairement à d'autres pays ou à d'autres disciplines au Canada, il n'y a pas de stratégie ou de vision nationale d'ensemble des sciences de la mer au pays. Cela rend difficile une hiérarchisation des besoins et une planification minutieuse des investissements en sciences de la mer.
- **Un manque de coordination** : Pour s'attaquer aux problématiques de plus en plus complexes des sciences de la mer, il faut pouvoir s'appuyer sur une meilleure collaboration aux niveaux local, régional, national et international, ainsi qu'entre les disciplines et les secteurs. Malgré de nombreux cas de collaboration fructueuse au Canada, la coordination dans des domaines clés comme l'observation océanique demeure insuffisante, tandis que l'appui aux réseaux de recherche a souvent été contraint par un financement temporaire. De façon générale, il n'existe pas de mécanisme efficace au palier national pour coordonner l'affectation des ressources et faciliter le partage des infrastructures et des connaissances entre les océanologues. Cela entrave aussi la mise en commun des ressources et des connaissances au niveau international.
- **Un manque d'information** : Les contraintes liées à l'accès, à la disponibilité et à la comparabilité de l'information ont compliqué la tâche d'évaluer plusieurs catégories de capacités en sciences de la mer (par exemple le nombre de chercheurs actifs, des données détaillées sur les dépenses de recherche, ou des inventaires des gros instruments utiles en sciences de la mer). Bien que de nombreux intervenants en sciences de la mer tiennent des inventaires pour leur usage interne, aucun mécanisme ou registre existant ne recueille systématiquement et ne fait régulièrement la mise à jour des renseignements sur les activités de recherche, les infrastructures et les autres capacités importantes en sciences de la mer pour l'ensemble du pays. Même si la cueillette de ces renseignements représente aussi une tâche complexe dans d'autres pays, certains comme les États-Unis, l'Allemagne et le Royaume-Uni, ont créé des institutions et des processus

pour collecter ces données et les mettre à la disposition des intervenants en sciences de la mer. Ces renseignements sont ensuite utilisés non seulement pour évaluer les capacités, mais aussi pour éclairer l'élaboration périodique de stratégies scientifiques nationales et de plans, et pour établir des priorités aux fins de la prise de décision concernant les investissements dans l'infrastructure de recherche. L'absence de tels inventaires au Canada complique la tâche de déterminer les capacités requises au niveau national. De même, il est plus difficile de reconnaître les possibilités qui s'offrent pour répondre aux questions de recherche grâce à la collaboration nationale ou internationale.

Le comité d'experts est arrivé à la conclusion qu'il est essentiel de combler ces lacunes pour que le Canada puisse répondre aux besoins croissants des sciences de la mer avec des ressources limitées, et faire le meilleur usage possible des capacités actuelles pour relever les défis et saisir les possibilités que présente ce secteur. Aucun alignement, consortium ou réseau actuel ou émergent ne saurait, à lui seul, combler ces écarts. Cette tâche requiert un effort national mobilisant l'ensemble de la communauté canadienne des océanologues, ainsi que les utilisateurs des sciences de la mer, y compris les décideurs, les entrepreneurs, les collectivités et la société civile.

Table des matières

1 Introduction 1
1.1 Le mandat confié au comité d'experts 3
1.2 Interprétation du mandat 4
1.3 Cadre conceptuel 7
1.4 Structure du rapport 10

2 La capacité du Canada en sciences de la mer 12
2.1 Capacité humaine 13
2.2 Organisations, réseaux et collaborations 19
2.3 L'infrastructure matérielle et d'information 29
2.4 Le financement 38
2.5 Les politiques et la gouvernance 46
2.6 Conclusion 48

3 Production et impact de la recherche en sciences de la mer au Canada 50
3.1 Analyse bibliométrique 51
3.2 Production et impact des sciences de la mer 54
3.3 La collaboration 56
3.4 Conclusion 62

4 Possibilités et défis pour les sciences de la mer au Canada 64
4.1 Interactions océan-climat 67
4.2 Les ressources biologiques, minérales et énergétiques 76
4.3 Les impacts humains sur les écosystèmes marins et côtiers 89
4.4 La tectonique des plaques et les dangers naturels 98
4.5 Les collectivités côtières 105
4.6 L'océan Arctique 113

5 Possibilités et défis dans les domaines émergents et futurs des sciences de la mer au Canada 122
5.1 La technologie océanique 124
5.2 La gouvernance de l'océan 132
5.3 La santé et le bien-être humains 137

6 Conclusion 143
6.1 Répondre au mandat 144
6.2 Réponses aux sous-questions 147
6.3 Conclusion finale 153

Références 155

Les appendices A et B sont disponibles en ligne à www.sciencepourlepublic.ca.

Liste des figures

Figure 1.1 Cadre conceptuel pour répondre au mandat 7

Figure 2.1 Nombre de diplômés des programmes postsecondaires en sciences de la mer au Canada, de 2001 à 2009 15

Figure 2.2 Nombre de chercheurs en sciences de la mer soutenus par des organismes de financement choisis, exercices 2002–2003 à 2011–2012..... 17

Figure 2.3 Nombre de chaires de recherche du Canada (CRC) actives en sciences de la mer, de 2001 à 2012..... 18

Figure 2.4 Emplacements des principales installations et organisations de recherche en sciences de la mer au Canada 20

Figure 2.5 Nombre d'organisations du secteur privé par secteur de technologie océanique au Canada 25

Figure 2.6 Nombre de jours opérationnels alloués par la Garde côtière canadienne à Sciences de l'océan et des écosystèmes du MPO, de 2006–2007 à 2010–2011 34

Figure 2.7 Dépenses des organismes de financement en sciences de la mer, en dollars constants de 2012, exercices 2002–2003 à 2011–2012..... 42

Figure 2.8 Dépenses du MPO en sciences et dépenses des organismes de financement en sciences de la mer, en dollars constants de 2012, exercices 2002–2003 à 2010–2011..... 44

Figure 2.9 Dépenses totales et dépenses consacrées aux sciences par le MPO, en dollars constants de 2012, exercices 2002–2003 à 2010–2011..... 45

Figure 3.1 Classement des 25 principaux pays selon la production en sciences de la mer, de 2003 à 2011 55

Figure 3.2 Réseau de collaboration des 30 principales organisations canadiennes publiant en sciences de la mer, de 2003 à 2011 58

Figure 3.3 Réseau de collaboration des organisations canadiennes publiant des travaux en sciences sociales liés aux sciences de la mer, de 2003 à 2011 59

Figure 3.4 Réseau de collaboration internationale des principales organisations publiant en sciences de la mer, de 2003 à 2011 61

Figure 4.1 Position du Canada par rapport à la moyenne mondiale, par thème des sciences de la mer, de 2003 à 2011..... 66

Figure 4.2 Réseau de collaboration des 30 principales organisations canadiennes publiant des travaux sur les interactions océan-climat, de 2003 à 2011 72

Figure 4.3 Réseau de collaboration des 30 principales organisations canadiennes publiant des travaux sur les ressources biologiques, minérales et énergétiques, de 2003 à 2011 79

Figure 4.4 Réseau de collaboration des 30 principales organisations canadiennes publiant des travaux sur les impacts humains sur les écosystèmes marins et côtiers, de 2003 à 2011 92

Figure 4.5 Réseau de collaboration des 30 principales organisations canadiennes publiant des travaux sur la tectonique des plaques et les dangers naturels, de 2003 à 2011 100

Figure 4.6 L'observatoire d'Ocean Networks Canada 104

Figure 4.7 Réseau de collaboration des 30 principales organisations canadiennes publiant des travaux sur les collectivités côtières, de 2003 à 2011 108

Figure 4.8 Réseau de collaboration des 30 principales organisations canadiennes publiant des travaux sur l'océan Arctique, de 2003 à 2011..... 116

Liste des tableaux

Tableau 2.1 Navires de la garde côtière canadienne (NGCC) affectés à la recherche océanique 32

Tableau 2.2 Dépenses consacrées aux sciences de la mer par les organismes de financement au Canada, exercices 2002–2003 à 2011–2012..... 40

Tableau 4.1 Principaux indicateurs bibliométriques de la production canadienne en sciences de la mer par thème de recherche, de 2003 à 2011 68

Tableau 4.2 Exemples de produits biologiques, minéraux et énergétiques tirés de la mer 76

Tableau 4.3 MPO Science – Centres d'expertise (CE) 82

Tableau 5.1 Filières ayant un impact sur la santé et le bien-être humains 139

Tableau 6.1 Lacunes dans les données sur la capacité des sciences de la mer au Canada 146

Acronymes fréquemment employés

ACIA	Agence canadienne d'inspection des aliments
CCG	Garde côtière canadienne
C-CORE	Centre for Cold Ocean Resource Engineering
CCURO	Consortium canadien des universités de la recherche océanographique [Canadian Consortium of Ocean Research Universities]
CERC	chaires d'excellence en recherche du Canada
CGC	Commission géologique du Canada
CHONe	Réseau stratégique du CRSNG pour des océans canadiens en santé
CIEM	Conseil international pour l'exploration de la mer
CNRC	Conseil national de recherches du Canada
CNUDM	Convention des Nations Unies sur le droit de la mer
COI	Commission océanique intergouvernementale de l'UNESCO
CRC	chaires de recherche du Canada
CRSH	Conseil de recherches en sciences humaines du Canada
CRSNG	Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada
FCI	Fondation canadienne pour l'innovation
FCSCA	Fondation canadienne pour les sciences du climat et de l'atmosphère
GDSI	gestion des données scientifiques intégrées
IC	indice de croissance
IRSC	Instituts de recherche en santé du Canada
IS	indice de spécialisation
MCR	moyenne des citations relatives
MEOPAR	Marine Environmental Observation Prediction and Response Network
MPO	Pêches et Océans Canada (anciennement ministère des Pêches et des Océans du Canada)
NEPTUNE	North-East Pacific Time-series Undersea Networked Experiments
NGCC	navire de la Garde côtière canadienne
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OBIS	Système d'information biogéographique des océans
ONC	Ocean Networks Canada
ONCCEE	Ocean Networks Canada Centre for Enterprise and Engagement
ONG	organisation non gouvernementale
OTN	Ocean Tracking Network

PICES	North Pacific Marine Science Organization
PIGB	Programme international concernant la géosphère et la biosphère
RCE	réseaux de centres d'excellence
RCRP	Réseau canadien de recherche sur la pêche
R-D	recherche et développement
RDDC	Recherche et développement pour la défense Canada
RNCan	Ressources naturelles Canada
SHC	Service hydrographique du Canada
SMOC	Système mondial d'observation du climat
SMOO	Système mondial d'observation des océans
SRCEA	Station de recherche du Canada dans l'Extrême-Arctique
UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture
VENUS	Victoria Experimental Network Under the Sea
VSA	véhicule sous-marin autonome

Indicatifs des organisations canadiennes

Les indicatifs suivants sont utilisés pour identifier les organisations canadiennes qui apparaissent dans les figures tout au long du présent rapport.

BCMF	ministère des Forêts, du Territoire et des Opérations des ressources naturelles de la Colombie-Britannique (British Columbia Ministry of Forests, Lands and Natural Resource Operations)
CEN	Centre d'études nordiques
CNRC	Conseil national de recherches du Canada
EC	Environnement Canada
Geotop	Centre de recherche en géochimie et géodynamique
INRS ETE	Institut national de la recherche scientifique – Centre eau, terre et environnement
MC nature	Musée canadien de la nature
MDN	Défense nationale Canada
MPO	Pêches et Océans Canada
Québec-Océan	Québec-Océan
RNCan	Ressources naturelles Canada
SFU	Université Simon Fraser
U Acadia	Université Acadia
UBC	Université de la Colombie-Britannique
U Brock	Université Brock
U Carleton	Université Carleton
U Concordia	Université Concordia

U Dal	Université Dalhousie
UdeA	Université de l'Alberta
UdeC	Université de Calgary
UdeG	Université de Guelph
U de Î.-P.-É.	Université de l'Île-du-Prince-Édouard
UdeM	Université de Montréal
U de Regina	Université de Regina
UdeT	Université de Toronto
U de Windsor	Université de Windsor
U du Manitoba	Université du Manitoba
U Lakehead	Université Lakehead
U Laval	Université Laval
U McGill	Université McGill
U McMaster	Université McMaster
UMT	Université Memorial de Terre-Neuve
UNB	Université du Nouveau-Brunswick
uOttawa	Université d'Ottawa
UQAM	Université du Québec à Montréal
UQAR	Université du Québec à Rimouski
U Queen's	Université Queen's
URR	Université Royal Roads
U Ryerson	Université Ryerson
USask	Université de la Saskatchewan
USM	Université Saint Mary's
U StFX	Université St. Francis Xavier
U Trent	Université Trent
UVic	Université de Victoria
U de Waterloo	Université de Waterloo
U Western	Université Western
UWL	Université Wilfrid-Laurier
U York	Université York

Indicatifs des organisations internationales

Les indicatifs suivants sont utilisés pour identifier les organisations internationales qui apparaissent dans les figures tout au long du présent rapport.

Académie des sc. de Chine	Académie des sciences de Chine
Académie des sc. de Russie	Académie de sciences de Russie
Académie des sc. géol. de Chine	Académie des sciences géologiques de Chine
CAFS	Académie des sciences de la pêche de Chine
CalTech	Institut de technologie de la Californie (California Institute of Technology)

CEFAS	Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science
CNRS	Centre national de la recherche scientifique (France)
CSIRO	Commonwealth Science and Industrial Research Organisation
EC	Environnement Canada
Helmholtz	Association des centres de recherche allemands Helmholz
Ifremer	Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer
IMR	Institute of Marine Research (Norvège]
INRA	Institut national de la recherche agronomique (France)
IRD	Institut de recherche pour le développement (France)
JAMSTEC	Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology
J-FRA	Fisheries Research Agency (Japon)
Leibniz	Association Leibniz
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MNHN	Musée national d'histoire naturelle
MPG	Société Max Planck
MPO	Pêches et Océans Canada
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NERC	Natural Environment Research Council
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
RNCan	Ressources naturelles Canada
SFU	Université Simon Fraser
SOA	State Oceanic Administration (Chine)
Statoil	Statoil ASA
U Aix-Marseille	Université d'Aix-Marseille
U d'Otago	Université d'Otago
U Dal U	Université Dalhousie
U de Bergen	Université de Bergen
U de Kiel	Université de Kiel
U de la Tasmanie	Université de la Tasmanie
U de Miami	Université de Miami
U de Montpellier 2	Université de Montpellier 2
U de Southampton	Université de Southampton

U de Tokyo	Université de Tokyo
U du Col., Boulder	Université du Colorado à Boulder
U McGill	Université McGill
U Ocean	Université des sciences de la mer de Chine
UBC	Université de la Colombie-Britannique
UdeA	Université de l'Alberta
UdeT	Université de Toronto
UH Manoa	Université d'Hawaï à Manoa
UMT	Université Memorial de Terre-Neuve
UPMC	Université Pierre et Marie Curie
US Navy	Forces navales des États-Unis
US-DOE	département de l'Énergie (États-Unis)
USGS	U.S. Geological Survey
UVic	Université de Victoria
WHOI	Institut océanographique de Woods Hole (Woods Hole Oceanographic Institution)

1

Introduction

- Le mandat confié au comité d'experts
- Interprétation du mandat
- Cadre conceptuel
- Structure du rapport

1 Introduction

Le Canada est défini par l'océan et présente le plus long littoral du monde, soit quelque 243 792 km, s'étendant le long de l'Atlantique, de l'Arctique et du Pacifique, y compris les mers intérieures uniques de la baie d'Hudson, de la baie James, du détroit de Georgia et du golfe Saint-Laurent (MPO, 2008b). L'océan trace en grande partie les frontières du Canada, il influe sur le climat, fournit de précieuses ressources et, tout au long de l'histoire, il a relié le Canada à ses voisins — rapprochés et éloignés — par le biais du commerce, du transport, des courants océaniques et d'une expérience commune. L'océan façonne directement et indirectement la vie de tous les Canadiens, quelle que soit la distance qui les sépare des côtes.

Les écosystèmes marins procurent une foule de biens et de services aux Canadiens : des aliments provenant du poisson et d'autres organismes marins, de l'énergie tirée des gisements extracôtiers de pétrole et de gaz, du vent et des marées, des minéraux sous-marins, la biodiversité, des routes de transport, des possibilités récréatives et l'emploi connexe (MPO, 2009a). L'océan soutient la majorité des écosystèmes et des espèces de la planète et il agit comme principale force régulatrice de l'atmosphère et du climat, notamment en fournissant de grandes quantités d'oxygène et en servant d'important puits de carbone. L'océan peut aussi constituer un milieu hostile en raison des dangers naturels qu'il comporte, comme nous l'ont rappelé les ouragans et les tempêtes survenus récemment sur le littoral atlantique et le tsunami dévastateur qui a frappé les côtes du Japon en 2011.

L'intensification de l'activité humaine et de l'exploitation des ressources transforme l'océan à l'échelle planétaire. L'expansion démographique entraîne une augmentation de la demande de ressources océaniques et des dangers auxquels sont exposées les populations côtières. Le changement climatique influe sur la circulation océanique, ainsi que sur la perte de glace marine et la montée du niveau de la mer (Johannessen *et al.*, 2004; GIEC, 2007; MPO, 2012b), tandis que l'accroissement de la quantité de dioxide de carbone atmosphérique dissout dans l'océan est une source d'acidification (Rockstrom *et al.*, 2009; MPO, 2012b; National Research Council, 2013). La surpêche a transformé les écosystèmes océaniques partout dans le monde (FAO, 2010; Hutchings *et al.*, 2012), entraînant de profondes répercussions économiques et sociales (Ommer *et al.*, 2011), comme en témoigne l'effondrement de la pêche à la morue sur les Grands Bancs de Terre-Neuve. Les conséquences du changement océanique pour les populations ressortent d'événements récents, dont certains sont sans précédent dans l'histoire de l'humanité. Ainsi, le déversement accidentel de pétrole de la plateforme Deepwater Horizon dans le golfe du Mexique a eu

de graves répercussions socioécologiques. Le changement climatique est aussi associé à la série de tempêtes et d'ouragans qui ont frappé les côtes de l'est de l'Amérique du Nord, causant des inondations et des dommages dans les zones côtières, comme à New York. De façon similaire, la disparition rapide de la glace marine dans l'Arctique perturbe les écosystèmes (MPO, 2012b), les modes de vie traditionnels (Ford *et al.*, 2006; CCI Canada, 2008) et les profils météorologiques régionaux (Deser *et al.*, 2004; Sommerkorn et Hassol, 2009; Serreze et Barry, 2011). En revanche, le recul de la glace marine ouvre l'accès à de nouvelles ressources et voies de transport dans l'Arctique (Conseil de l'Arctique, 2009; Brosnan *et al.*, 2011; MPO, 2012b).

L'océan est un système complexe soumis à un stress en raison des multiples sources de pressions qui agissent en interaction à diverses échelles, allant des pêches locales au changement climatique et à l'acidification à l'échelle planétaire. Ces défis globaux et multidisciplinaires nécessitent une intégration des connaissances et une coordination allant au-delà des frontières traditionnelles. L'océan est une responsabilité internationale commune. L'exposition du Canada à l'océan représente un important potentiel d'avantages sociétaux, mais impose aussi la responsabilité d'agir comme gardien de l'océan et partenaire international fiable pour la gestion durable de l'océan. Les sciences de la mer sont au cœur de l'élaboration de façons innovatrices d'*utiliser* et de *protéger* l'océan.

1.1 LE MANDAT CONFIÉ AU COMITÉ D'EXPERTS

En mars 2011, le Consortium canadien des universités de la recherche océanographique (CCURO)[1] a demandé au Conseil des académies canadiennes (CAC) de faire une évaluation de l'état des sciences de la mer au Canada. Lors d'un exercice préliminaire (phase 1), le CAC a réuni un groupe cadre formé de 22 spécialistes des sciences de la mer du Canada et de l'étranger pour élaborer un ensemble de questions de recherche prioritaires, qui ont été publiées dans un document intitulé *Les 40 questions prioritaires pour la recherche canadienne en sciences de la mer* (CAC, 2012a).

Le CCURO a ensuite demandé au CAC de procéder à une évaluation de la capacité du Canada de répondre à ces questions de recherche (phase 2). Le CCURO lui a confié le mandat suivant :

1 Le CCURO regroupe les établissements membres suivants : l'Université Dalhousie, l'Université du Québec à Rimouski, l'Université Laval, l'Université de la Colombie-Britannique, l'Université de Victoria, l'Université Memorial, l'Université de l'Île-du-Prince-Édouard, l'Université du Nouveau-Brunswick et l'Université du Manitoba.

> *Quel sont les besoins et capacités du Canada en matière de recherche en sciences de la mer s'il veut répondre aux principales questions et problématiques touchant ses océans et ses côtes et consolider son rôle de chef de file de la collaboration internationale en sciences de la mer?*

Le CCURO a fourni une orientation supplémentaire en énonçant trois sous-questions :

> *Comment ces capacités et ces besoins se traduisent-ils par rapport aux divers aspects de la recherche en sciences de la mer, notamment sur le plan technologique, économique, environnemental, social, politique et de la gouvernance?*
>
> *Sur quelles infrastructures le Canada peut-il compter et de quelles autres devra-t-il se doter pour répondre aux grandes questions de recherche en sciences de la mer dans toute la diversité de leurs aspects?*
>
> *Quelles ententes et nouvelles associations innovatrices pourraient être conclues entre les parties prenantes de la recherche en sciences de la mer (c'est-à-dire les gouvernements, les universités, les industries et les collectivités) afin de permettre au Canada de continuer de répondre aux questions qui concernent ses océans et de consolider son rôle de chef de file de la collaboration internationale en sciences de la mer?*

Pour exécuter ce mandat, le CAC a réuni un groupe diversifié de spécialistes des sciences de la mer canadiens et internationaux réputés possédant de vastes connaissances du milieu marin et de l'histoire des sciences de la mer au Canada. Le comité d'experts sur les sciences de la mer au Canada a tenu quatre rencontres entre septembre 2012 et mai 2013 pour examiner les données provenant de l'analyse bibliométrique et d'autre sources telles que les données sur le financement et le personnel hautement qualifié, la documentation savante et les rapports publiés par des établissements et organismes actifs dans le domaine des sciences de la mer.

1.2 INTERPRÉTATION DU MANDAT

L'activité humaine influe sur les propriétés biophysiques de l'océan tandis que les changements dans les caractéristiques de l'océan influent sur la santé et le bien-être humains. Ces liens de rétroaction réciproques forme un système co-évolutionnaire qui peut être décrit comme un « système socioécologique marin » (Perry *et al.*, 2010; Berkes, 2011). Par conséquent, le comité d'experts a adopté une définition inclusive des « sciences de la mer » qui englobe la gamme complète des disciplines liées à l'étude de l'océan et de son rapport avec les sociétés humaines, compatible avec la notion largement reconnue « d'un océan »

et les approches socioécologiques en recherche (voir l'encadré 1.1). Cette définition recouvre les activités scientifiques menées par une gamme étendue d'acteurs du secteur public et du secteur privé.

Encadré 1.1
Définitions et concepts clés

Les sciences de la mer, telles qu'entendues dans ce rapport, comprennent toutes les disciplines de recherche liées à l'étude de l'océan : physique, biologie, chimie, géologie, hydrographie, sciences de la santé et sciences sociales, ainsi que génie, sciences humaines et recherche multidisciplinaire sur les liens entre les humains et l'océan. Les *sciences de la mer* ont une portée plus vaste que la *recherche* et englobent des activités qui appliquent ou utilisent des connaissances scientifiques, comme la surveillance, l'intégration et la gestion des données, l'évaluation par les pairs, la mobilisation des connaissances, l'intégration au savoir local et traditionnel et la vulgarisation. Ces activités se déroulent dans un large éventail d'établissements, notamment des universités, des ministères et organismes, des organisations sans but lucratif et des sociétés privées.

La recherche est définie comme étant un sous-ensemble d'activités scientifiques centrées sur la production formelle de connaissances allant de la découverte à la recherche appliquée, et au développement, au déploiement et à la commercialisation de technologies (voir CAC, 2012c).

Le savoir écologique traditionnel « est un ensemble cumulatif de connaissances, de pratiques et de croyances évoluant par un processus adaptatif et transmis d'une génération à la suivante par l'apprentissage culturel des rapports des êtres vivants (dont les humains) les uns avec les autres et avec leur environnement » [traduction] (Berkes, 1999, cité dans Berkes *et al.*, 2001).

Selon le point de vue prédominant de la communauté des sciences de la mer, le présent rapport s'inscrit dans la perspective d'un seul **océan planétaire** formé de plusieurs bassins océaniques, comme le Pacifique Nord et le Pacifique Sud, l'Atlantique Nord et l'Atlantique Sud, l'océan Indien, l'océan Austral et l'océan Arctique (COI/UNESCO, 2002; Valdès *et al.*, 2010; OLN, 2011).

La perspective socioécologique de l'océan met l'accent sur l'interdépendance des systèmes sociaux humains et des écosystèmes marins, et reconnaît que la frontière entre les systèmes sociaux et biophysiques est souvent arbitraire (Perry *et al.*, 2010; Berkes, 2011). L'activité humaine influe sur l'océan et réciproquement, formant une boucle de rétroaction mutuelle qui lie les sociétés humaines et les écosystèmes océaniques.

Les 40 questions de recherche énoncées au cours de l'exercice d'établissement des priorités sont les « principales questions » de recherche qu'évoque le mandat et qui ont guidé l'évaluation. Le comité d'experts s'est interrogé sur les capacités requises pour répondre à ces questions et il les a comparées aux capacités actuellement disponibles dans le domaine des sciences de la mer au Canada. Plutôt que de produire un inventaire détaillé des plateformes, des chercheurs, des laboratoires et des organisations, le comité d'experts a préféré mettre l'accent sur l'évaluation des capacités clés dans plusieurs catégories afin de déterminer les possibilités et les défis qui s'offrent aux sciences de la mer au Canada à la lumière des 40 questions de recherche. Les possibilités découlent des investissements passés et courants dans la capacité de recherche, de la production actuelle des chercheurs, ainsi que des forces historiques et de l'expertise acquises dans des domaines particuliers. Les défis surgissent, entre autres, à cause des lacunes qui existent dans les capacités, des difficultés d'accès aux infrastructures et aux données, ou des domaines où peu de recherches ont été menées dans le passé. En outre, le vaste littoral du Canada et le fait que le pays soit exposé à trois bassins océaniques, dont l'Arctique qui est en évolution rapide, présentent des possibilités naturelles mais aussi des défis.

Encadré 1.2
Portée du rapport

Le présent rapport :

- adopte une définition large des sciences de la mer et considère l'océan comme un système socioécologique complexe et multi-échelle;
- fournit un cadre pour évaluer la capacité du Canada en sciences de la mer;
- utilise les données et les mesures disponibles pour estimer la capacité de recherche du Canada dans le domaine des sciences de la mer;
- précise les défis et les possibilités qui s'offrent aux sciences de la mer au Canada, à la lumière des preuves disponibles, sous neuf thèmes qui regroupent 40 questions de recherche.

En outre, le rapport :

- ne formule pas de recommandations et ne préconise pas de politique;
- ne présente pas d'inventaire détaillé des infrastructures, des chercheurs ou des organisations associés aux sciences de la mer;
- ne compare pas les programmes de recherche ou les priorités stratégiques d'organisations ou de pays.

1.3 CADRE CONCEPTUEL

Afin de déterminer la capacité requise pour répondre aux 40 questions de recherche et évaluer la capacité actuelle du Canada (les « besoins et capacités » du mandat), le comité d'experts a élaboré un cadre comprenant cinq catégories de capacités et neuf thèmes qui recouvrent les problématiques décrites par des questions de recherche connexes (figure 1.1). Le comité d'experts a utilisé ce cadre pour recueillir et évaluer les données disponibles dans chaque catégorie de capacité et analyser les possibilités et les défis qui se présentent en envisageant les questions de recherche regroupées sous chacun des thèmes.

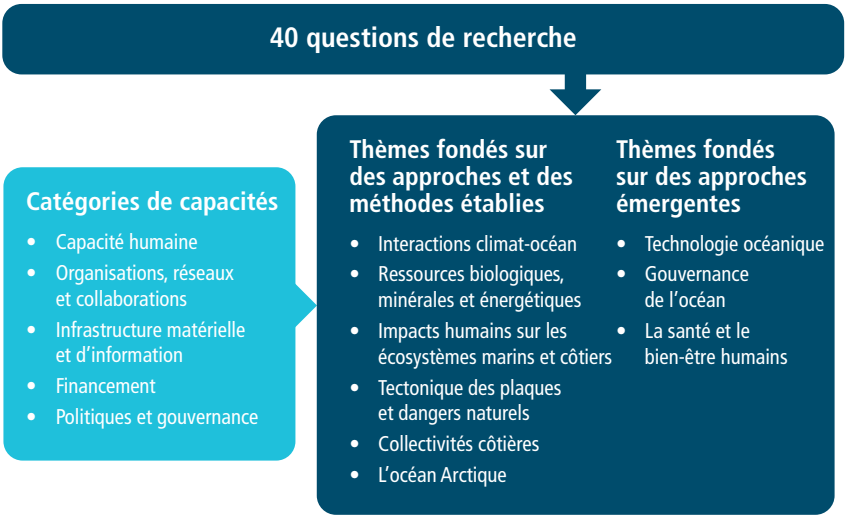


Figure 1.1

Cadre conceptuel pour répondre au mandat

Le comité d'experts a défini cinq catégories en vue de déterminer les capacités requises pour répondre aux 40 questions de recherche énoncées durant la phase 1 de l'évaluation et estimer la capacité de recherche actuelle au Canada. Pour faciliter l'analyse, le comité d'experts a regroupé les questions de recherche sous neuf thèmes : six thèmes regroupent les questions fondées sur des méthodes et des approches établies en sciences de la mer; les questions de recherche regroupées sous les trois autres thèmes sont davantage tournées vers l'avenir, abordant des besoins de recherche futurs incertains et des changements de paradigme attendus.

1.3.1 Catégories de capacités

En se fondant sur un examen de rapports similaires (National Research Council, 2011; CAC, 2012c; NSTC, 2013), le comité d'experts a élaboré cinq catégories afin de structurer son analyse de la capacité globale de recherche en sciences de la mer :

La capacité humaine est la somme des aptitudes et de la production matérielle et cognitive des gens qui travaillent dans le domaine des sciences de la mer. La capacité humaine englobe les chercheurs, les enseignants, les administrateurs, les étudiants, les techniciens, les assistants et les bénévoles. La capacité humaine comprend le personnel hautement qualifié, défini par Statistique Canada (2008) comme étant les personnes qui détiennent un diplôme universitaire au niveau du baccalauréat ou à un niveau plus élevé.

Les organisations, les réseaux et les collaborations sont les possibilités concrètes qui s'offrent aux chercheurs pour interagir, partager de l'information et des connaissances et créer des synergies. Elles engendrent des interactions au sein des disciplines et entre celles-ci, et elles relient les chercheurs à la collectivité océanique plus vaste, y compris l'industrie, les décideurs et la société civile. Cette catégorie englobe les laboratoires de recherche, les instituts, les universités et les organismes; les réseaux de recherche nationaux et internationaux et les collaborations formelles ou informelles; ainsi que les associations professionnelles et les réseaux de pairs.

L'infrastructure matérielle et d'information englobe tous les éléments physiques requis pour recueillir, stocker, traiter et transmettre des données et des renseignements. L'infrastructure matérielle comprend les navires et les autres plateformes dotées de personnel, les véhicules autonomes contrôlés à distance, les instruments de mesure, le matériel de laboratoire et les satellites. L'infrastructure d'information comprend toutes les formes de stockage des données, les systèmes de traitement, les méthodes, les modèles et les algorithmes employés pour recueillir et analyser les données, ainsi que les ensembles de données eux-mêmes.

Le financement comprend toutes les sources de dépenses en sciences de la mer, y compris les budgets des ministères fédéraux et provinciaux pour des activités scientifiques, les recettes des universités, les dépenses de recherche de l'industrie, les investissements destinés à la construction et au fonctionnement des infrastructures, ainsi que les subventions par concours des conseils et des organismes qui appuient les activités de recherche et la collaboration.

Les politiques et la gouvernance définissent le contexte dans lequel les activités propres aux sciences de la mer sont intégrées au processus d'établissement des priorités et des règles servant à affecter des ressources aux activités et aux catégories de capacités pertinentes en sciences de la mer. Cette catégorie, qui englobe le leadership politique, la prise de décision et l'élaboration de politiques touchant aux sciences de la mer, est un déterminant important de l'efficience de l'utilisation des ressources dans toutes les catégories de capacités.

La plupart des éléments qui entrent dans une catégorie sont tributaires d'éléments appartenant à d'autres catégories. Ainsi, la capacité humaine est un facteur commun qui utilise des éléments des autres catégories, tandis que toute activité de recherche s'inscrit dans le contexte plus vaste des priorités en matière de financement, des politiques et de la gouvernance.

1.3.2 Indicateurs et données probantes utilisés pour évaluer la capacité

Une série d'indicateurs comprenant des mesures quantitatives est disponible pour évaluer la quantité, la qualité, les tendances et la capacité de recherche dans un domaine donné (CAC, 2012c). Le rapport utilise l'analyse bibliométrique pour évaluer la production des sciences de la mer et obtenir un indicateur approximatif de la performance globale de la recherche. De l'avis du comité d'experts, les indicateurs quantitatifs devraient éclairer plutôt que remplacer le jugement des experts (CAC, 2012c); par conséquent, le rapport puise aussi à d'autres sources d'information disponibles, comme les publication évaluées par les pairs et la littérature « grise », ainsi que des entrevues avec des spécialistes, pour décrire les tendances et articuler les défis et les possibilités associés à la capacité des sciences de la mer au Canada. Le rapport présente les observations tirées d'une revue de la littérature, de l'examen de rapports d'organismes fédéraux et provinciaux, d'organisations non gouvernementales (ONG) et d'autres organisations, d'analyses bibliométriques, de données des organismes de financement et de données de Statistique Canada (voir les appendices pour plus de détails[2]).

1.3.3 Thèmes de recherche

Dans le but de faciliter l'analyse de la capacité de recherche existante au Canada et de la capacité requise pour répondre aux 40 questions de recherche, le comité d'experts a regroupé les questions par grands thèmes représentant des domaines de recherche plus généraux. Certaines questions ont été attribuées à plus d'un thème afin de tenir compte de l'étendue de la recherche nécessaire pour y répondre (voir les chapitres 4 et 5). Six thèmes comprennent des questions de recherche qui peuvent être résolues en s'appuyant sur des méthodes et des approches établies en sciences de la mer. Pour chacun de ces six thèmes, le comité d'experts a utilisé une analyse bibliométrique et d'autres renseignements disponibles pour évaluer la capacité de recherche existante au Canada, de même qu'une analyse de la capacité requise pour répondre aux questions de recherche placées sous un thème et les possibilités et défis connexes pour les sciences de la mer :

- **Les interactions océan-climat** sont des processus importants mais complexes à saisir dans des modèles climatiques améliorés.

2 Deux appendices viennent compléter ce rapport. Ces appendices sont accessibles dans un document qui peut être téléchargé sans frais du site Web du CAC, à www.sciencepourlepublic.ca.

- **Les ressources biologiques, minérales et énergétiques** sont l'assise d'une bonne partie de l'économie océanique du Canada. Comprendre leur offre, leurs interactions et leurs méthodes d'extraction engendre des avantages socioéconomiques directs.
- **Les impacts humains sur les écosystèmes marins et côtiers** résultent d'activités comme la pêche, le forage, le transport maritime, la pollution terrestre et le développement côtier.
- **La tectonique des plaques et les dangers naturels** englobent les secousses sismiques, les éruptions volcaniques et les glissements de terrain sous-marins, ainsi que les tsunamis qui sont liés aux processus de la tectonique des plaques.
- **Les collectivités côtières** sont davantage exposées aux risques et aux avantages inhérents à l'océan.
- **L'océan Arctique** englobe divers éléments propres aux autres thèmes dans le contexte d'une transformation rapide de certaines conditions biophysiques et sociales par suite des changements qui se produisent à l'échelle planétaire.

Plusieurs des 40 questions de recherche décrivent des besoins de recherche futurs ou anticipent des changements de paradigme et des approches émergentes, ce qui signifie que l'analyse bibliométrique ne peut être utilisée comme outil d'évaluation de la capacité existante. Le comité d'experts a plutôt envisagé les conditions qui appuient le développement et l'adoption de méthodes de recherche et d'approches émergentes comme indicateurs de la capacité existante. Les possibilités et les défis liés à la reconnaissance et à l'élaboration de besoins de recherche incertains sont envisagés sous les thèmes suivants :

- **La technologie océanique** profite de la recherche fondamentale et, à son tour, facilite de nouvelles formes d'observation et de communication en sciences de la mer.
- **La gouvernance de l'océan** requiert de nouveaux mécanismes de gouvernance adaptatifs et participatifs pour permettre une gestion durable de l'océan.
- **La santé et le bien-être humains** sont de plus en plus perçus comme étant liés à l'océan dans un cadre socioécologique plus vaste.

1.4 STRUCTURE DU RAPPORT

Le chapitre 2 donne un aperçu de l'état des sciences de la mer au Canada, y compris les acteurs clés engagés dans la recherche et les principaux éléments existants dans chaque catégorie de capacité.

Le chapitre 3 évalue la production et la performance de la recherche en sciences de la mer au Canada en comparaison des autres principaux pays, sur la base d'analyses bibliométriques.

Le chapitre 4 traite de la production actuelle de la recherche au Canada, de la capacité requise et de la capacité existante pour les six premiers thèmes de recherche définis par le comité d'experts. L'analyse bibliométrique donne un aperçu partiel de la production de la recherche par thème au Canada en comparaison de celle des autres grands pays, et souligne les principales collaborations canadiennes. Ces résultats fournissent la toile de fond pour examiner des exemples de la capacité de recherche actuelle et des besoins prévus à ce chapitre à la lumière des données disponibles et décrire les possibilités et les défis clés pour chaque thème.

Le chapitre 5 aborde les trois derniers thèmes de recherche, qui renferment les questions les plus prospectives, lesquelles ciblent des approches et des méthodes de recherche émergentes. Les expériences canadiennes et étrangères y sont ensuite comparées afin de préciser les possibilités et les défis inhérents à l'élaboration et à l'adoption de nouvelles approches à des questions de recherche complexes, et à la préparation en vue d'autres besoins de recherche incertains dans l'avenir.

Le chapitre 6 analyse les résultats des chapitres précédents et présente les conclusions générales du comité d'experts et ses réponses au mandat principal et aux sous-questions.

Deux appendices sous forme de documents électroniques peuvent être téléchargés sans frais sur le site Web du CAC, à www.scienceadvice.ca. L'appendice A fournit des détails sur les méthodes utilisées dans les analyses présentées au chapitre 2. L'appendice B présente des détails techniques sur les analyses bibliométriques effectuées aux fins du rapport, ainsi que des résultats supplémentaires, y compris des indicateurs de réseau et des analyses de la collaboration internationale du Canada en sciences de la mer. L'appendice B renferme aussi des diagrammes à haute résolution des réseaux de collaboration, lesquels peuvent être grossis à l'écran pour examiner des détails non perceptibles dans les versions imprimées.

2

La capacité du Canada en sciences de la mer

- Capacité humaine
- Organisations, réseaux et collaborations
- L'infrastructure matérielle et d'information
- Le financement
- Les politiques et la gouvernance
- Conclusion

2 La capacité du Canada en sciences de la mer

Principales constatations

- Malgré l'augmentation continue du nombre d'étudiants de premier cycle et de cycles supérieurs dans plusieurs disciplines liées aux sciences de la mer au Canada entre 2001 et 2009, il est difficile de dire si les tendances de la capacité humaine sont globalement positives ou si les compétences nécessaires pour répondre aux 40 questions de recherche sont disponibles.
- Le tableau des sciences de la mer au Canada est diversifié et dispersé, formant un réseau de grappes régionales. La distance géographique qui sépare les grappes sur les côtes du Canada soulève des défis sur le plan de la collaboration.
- Le Canada dispose d'une flotte de navires de recherche importante mais vieillissante.
- Le Canada dispose de plusieurs systèmes de calibre mondial pour l'observation et la surveillance des océans, mais il n'a pas de stratégie nationale pour aligner ses efforts d'observation et de surveillance et mettre en place un système moderne de gestion intégrée des données qui soit plus facile d'accès.
- Le financement de la recherche en sciences de la mer au Canada provenant des organismes de financement a augmenté au cours des 10 dernières années, mais en excluant les dépenses de fonctionnement des infrastructures, le financement des activités de recherche a atteint un sommet en 2008. Le CRSNG a fourni la majorité du financement durant cette période, tandis que la FCI a fait d'importants investissements supplémentaires dans les infrastructures.
- Les sciences de la mer au Canada s'inscrivent dans un cadre de lois et de politiques fédérales et provinciales, ainsi que des obligations découlant de l'adhésion du Canada à des organisations et des accords internationaux.

Ce chapitre donne un aperçu de la capacité actuelle du Canada en sciences de la mer dans cinq catégories. Il décrit la situation des sciences de la mer en termes de ressources humaines; d'organisations et de réseaux, y compris les principaux acteurs et centres de recherche; les infrastructures matérielles, avec un accent particulier sur les navires de recherche et les systèmes d'observation; le financement; et enfin le contexte des politiques et de la gouvernance.

2.1 CAPACITÉ HUMAINE

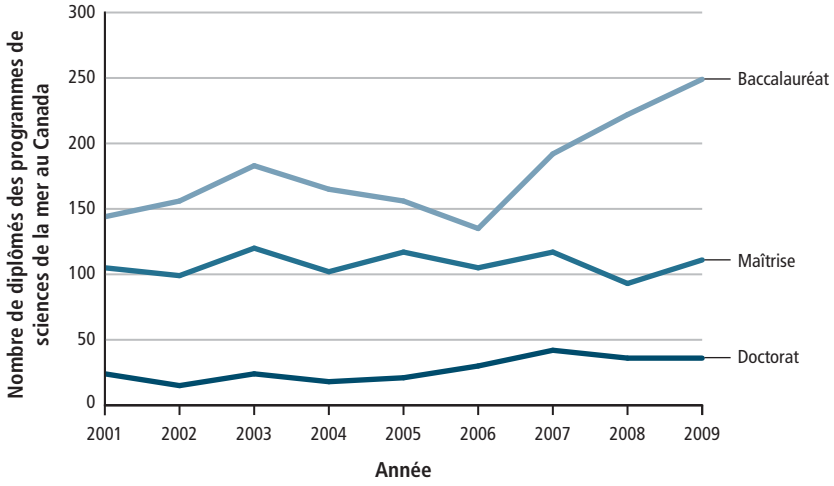
Un contingent adéquat de personnes possédant les bonnes compétences est un élément clé de la capacité scientifique. Alors que certaines disciplines, telles que l'océanographie, sont clairement des sous-ensembles des sciences de la mer,

celles-ci englobent également divers aspects de nombreux autres domaines de recherche. Certains mais non la totalité des domaines des sciences de la terre, de la biologie, du droit et des sciences sociales sont directement pertinents aux sciences de la mer. De même, de nombreux ministères et organismes gouvernementaux ont des secteurs de responsabilité qui touchent à l'océan mais sans s'y limiter. En gardant ces défis à l'esprit, la présente section examine les tendances récentes de la capacité humaine en sciences de la mer au Canada en utilisant les sources de données suivantes : l'information sur les diplômés de niveau postsecondaire en sciences de la mer, les données sur les chercheurs qui ont reçu du financement direct pour des projets en sciences de la mer, ainsi que les données du Programme des chaires de recherche du Canada (CRC) et du Programme des chaires d'excellence en recherche du Canada (CERC). Bien qu'elles conviennent pour estimer les tendances générales, ces données ne sont pas structurées de façon à permettre une évaluation des capacités dans certains domaines de recherche particuliers visés par les 40 questions de recherche ou les thèmes définis par le comité d'experts, et elles ne sont pas assez désagrégées pour permettre d'analyser les facteurs de représentation tels que le genre ou la nationalité.

2.1.1 Les diplômés des programmes d'enseignement postsecondaire

Le nombre de diplômés d'établissements postsecondaires canadiens fournit une indication de l'offre de personnel hautement qualifié dans les domaines des sciences de la mer au Canada. La Classification des programmes d'enseignement (CPE) a été utilisée pour identifier les diplômés ayant une formation pertinente en sciences de la mer, à partir du Système d'information sur les étudiants postsecondaires de Statistique Canada. Les codes de la CPE pour les champs qui étaient clairement ou principalement liés aux sciences de la mer ont été retenus aux fins de l'analyse (voir l'appendice A). Bien que certains aspects du génie, de l'écologie, de la santé de la population, des études juridiques, des sciences sociales et des sciences humaines soient directement applicables aux sciences de la mer, ils ne sont pas inclus dans la présente analyse parce qu'ils ne peuvent être départagés des sous-champs des sciences non liées à l'océan en fonction des codes disponibles de la CPE.

Le nombre de diplômes de premier cycle dans les programmes de sciences de la mer identifiés a augmenté de 2001 à 2009 (figure 2.1), malgré une baisse temporaire au milieu de la période (2003–2006). Le nombre de titulaires d'une maîtrise dans les domaines des sciences de la mer a peu varié, demeurant entre 90 et 120 diplômés par année. Bien que ces tendances soient positives, il est difficile de dire si elles représentent une amélioration de la capacité humaine en sciences de la mer au Canada. La disponibilité d'emplois et d'installations



Source des données : calculé à l'aide des données du Système d'information sur les étudiants postsecondaires de Statistique Canada

Figure 2.1

Nombre de diplômés des programmes postsecondaires en sciences de la mer au Canada, de 2001 à 2009

Le nombre d'étudiants diplômés des programmes de premier cycle a diminué de 2003 à 2006, mais il a augmenté rapidement pour atteindre 250 diplômés par an en 2009. Le nombre de diplômés au niveau de la maîtrise n'a varié que légèrement, se situant autour de 100 par an entre 2001 et 2009. Le nombre de diplômés au niveau du doctorat a augmenté mais il demeure inférieur à 50 par an.

adéquats influe aussi sur la probabilité que ces diplômés travaillent comme océanologues au Canada, ou sur la migration possible de diplômés d'autres disciplines vers les sciences de la mer au cours de leur carrière.

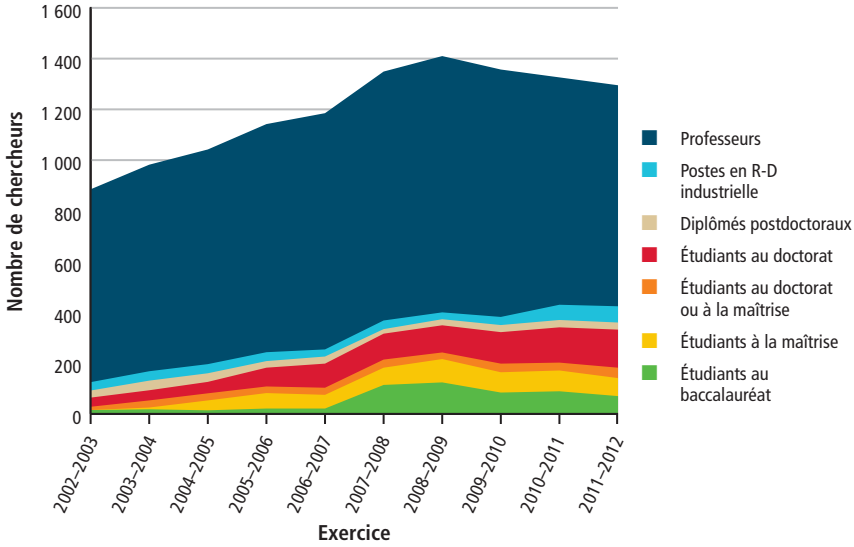
Les données n'indiquent pas si les diplômés acquièrent les compétences interdisciplinaires requises pour répondre à plusieurs des 40 questions de recherche. De même, elles ne permettent pas de déterminer s'il y a un excédent ou une pénurie de certaines des compétences requises dans des domaines hautement spécialisés ou émergents des sciences de la mer. Ainsi, l'utilisation croissante des nouvelles technologies d'observation engendre un besoin en personnel de soutien technique possédant une formation appropriée. Les compétences requises peuvent dépendre des technologies disponibles et des approches de recherche adoptées par la communauté scientifique, ce qui souligne la nécessité de prendre en considération à la fois l'offre et la demande de personnel ayant des compétences pertinentes aux sciences de la mer.

2.1.2 Les chercheurs recevant du financement en sciences de la mer

Les données des organismes de financement canadiens fournissent une estimation de la capacité humaine au cours de la décennie précédente (c'est-à-dire le nombre total de chercheurs, y compris les étudiants de premier cycle et de cycles supérieurs, les chercheurs postdoctoraux et les enseignants-chercheurs qui reçoivent des fonds pour de la recherche en sciences de la mer). Des données détaillées sur le financement sont présentées à la section 2.4.1. Le nombre total de chercheurs soutenus par des subventions pour des projets en sciences de la mer par cinq des plus importants organismes de financement a augmenté de près de 50 % entre 2002–2003 et 2008–2009, suivi d'une baisse, en particulier chez les professeurs (figure 2.2). Au cours du récent déclin, le nombre de chercheurs soutenus par divers programmes de recherche-développement (R-D) industrielle du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) a légèrement augmenté, parallèlement à une hausse du nombre de titulaires de doctorat recevant du financement. Ces tendances s'expliquent principalement par des changements dans les modalités de financement du CRSNG, qui soutient une proportion élevée de chercheurs recensés dans ces données.

La figure 2.2 montre une augmentation du nombre d'étudiants de premier cycle qui ont reçu du financement pour des projets de recherche en sciences de la mer de 2006–2007 à 2008–2009, suivie d'un lent déclin, ce qui est globalement conforme à la tendance des diplômes de premier cycle qui ressort de la figure 2.1. Le nombre d'étudiants et de diplômés au niveau de la maîtrise est demeuré relativement stable dans les deux ensembles de données, à l'exception d'une augmentation des bourses et subventions à ce niveau entre 2002–2003 et 2005–2006 (figure 2.2). Il y a un peu moins d'étudiants à la maîtrise ayant reçu du financement direct que de diplômés au cours de la période 2002–2009 (les années communes aux deux ensembles de données). Une raison possible de cette différence est que la plupart des étudiants des cycles supérieurs ont reçu des fonds directement de leur superviseur ou des bourses universitaires, ou qu'ils soutiennent leur recherche en travaillant comme assistants d'enseignement et en s'adressant à d'autres sources.

Les données indiquent une augmentation du nombre d'étudiants au doctorat (figure 2.2) et de titulaires de doctorat actifs (figure 2.1) au cours de la décennie précédente. Le nombre d'étudiants au doctorat ayant reçu du financement pour de la recherche en sciences de la mer est au moins le double de celui des titulaires de doctorat dans les programmes de sciences de la mer sur une période similaire. Un titulaire de doctorat est compté une seule fois au moment où il reçoit son diplôme, tandis que les étudiants au doctorat qui reçoivent du financement peuvent être comptés plusieurs fois pendant la durée de leurs études. En tenant compte du décalage entre le financement de la recherche et l'obtention du diplôme, les données indiquent qu'il y aura une augmentation continue des titulaires de doctorat en sciences de la mer au cours des trois à cinq prochaines années. Les



Source des données : calculé à l'aide des données du CRSNG, du CRSH, des IRSC, de la FCSCA et de Génome Canada

Figure 2.2

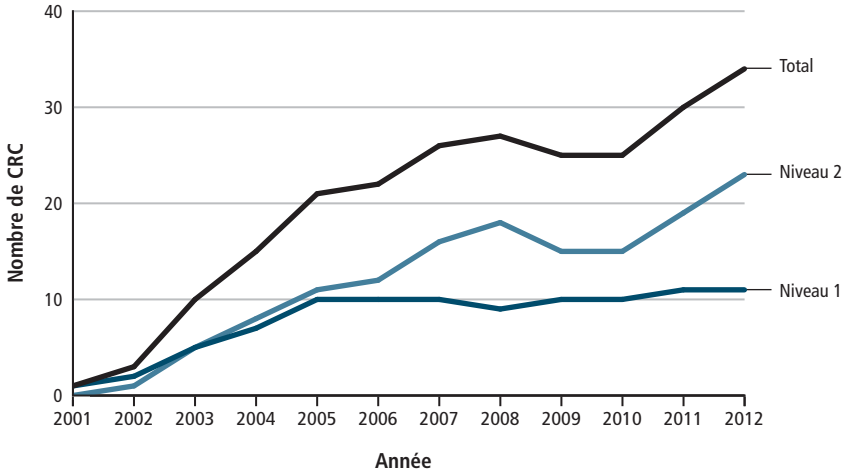
Nombre de chercheurs en sciences de la mer soutenus par des organismes de financement choisis, exercices 2002–2003 à 2011–2012

Le graphique fait voir le nombre de chercheurs recevant des subventions en sciences de la mer de certains des plus gros organismes de financement du Canada, y compris des bourses d'étude de premier cycle et d'études supérieures, des bourses de recherche postdoctorales et des subventions de recherche aux professeurs d'université. Les chercheurs ont été classés dans le groupe ciblé par le programme pour chaque subvention : certains programmes ciblent plusieurs groupes à la fois, comme les étudiants au doctorat et à la maîtrise, ce qui signifie que ces chercheurs n'ont pu être assignés à un groupe ou à un autre. Les exercices débutent le 1er avril et se terminent le 31 mars de l'année civile suivante.

valeurs mesurées peuvent aussi différer entre les ensembles de données en raison de différences dans la méthodologie employée pour distinguer les sciences de la mer des autres domaines, les étudiants financés par d'autres sources ou les étudiants qui reçoivent des fonds mais qui n'obtiennent pas leur diplôme.

2.1.3 Chaires de recherche et chaires d'excellence en recherche du Canada en sciences de la mer

Plusieurs programmes de financement spécialisés au Canada peuvent préciser le nombre de spécialistes des sciences de la mer de haut calibre. Le Programme des CRC offre deux niveaux de financement : les chaires de niveau 1 pour les chercheurs exceptionnels dans leur domaine et les chaires de niveau 2 pour les nouveaux chercheurs qui se démarquent. Une liste des chaires en sciences de la mer a été compilée en utilisant des termes de recherche similaires à ceux employés par les organismes de financement (voir la section 2.4.1) et en les appariant aux titres et mots clés de la base de données du Programme des



Source des données : calculé à l'aide de données fournies par le Programme des chaires de recherche du Canada

Figure 2.3

Nombre de chaires de recherche du Canada (CRC) actives en sciences de la mer, de 2001 à 2012

Les titulaires de chaires ont été classés comme étant « actifs » pour une année civile donnée entre les dates du début et de la fin de leur subvention si la date du début se situait au premier semestre de l'année ou si la date de la fin de la subvention se situait dans le second semestre (pour éviter de compter deux fois les chaires renouvelées ou « promues » du niveau 2 au niveau 1 durant une année donnée). Depuis les débuts du programme en 2000, le nombre de chaires de niveau 2 en sciences de la mer a augmenté, tandis que le nombre de chaires actives de niveau 1 s'est stabilisé autour de 10 depuis 2005. Cela représente 5 % et 3 %, respectivement, de toutes les chaires occupées (CRC, 2013).

CRC. Depuis le lancement du Programme en 2000, 21 chaires de niveau 1 et 44 chaires de niveau 2 ont été décernées à des spécialistes éminents en sciences de la mer au Canada, ce qui représente 3 % et 5 %, respectivement, des postes de chaires comblés. Le nombre de titulaires actifs d'une chaire de niveau 1 au cours d'une année a oscillé autour de 10 depuis 2005, tandis que le nombre de chaires de niveau 2 en sciences de la mer a dépassé 20 en 2012 (figure 2.3). Cela représentait 4,5 millions de dollars en financement pour l'excellence en sciences de la mer en 2012 seulement.

Lancé en 2008, le Programme des CERC vise à attirer les meilleurs chercheurs internationaux au Canada en attribuant des fonds de recherche pouvant atteindre 10 millions de dollars sur sept ans (CERC, 2013b). Sur les 18 premières CERC annoncées en 2010, 4 (22 %) ont été accordées à des chercheurs en sciences de la mer (CERC, 2013a), ce qui démontre le succès du programme pour attirer les meilleurs océanologues de l'étranger au Canada. Il n'a pas été possible de déterminer le nombre d'océanologues canadiens de premier plan qui sont partis à l'étranger au cours des dernières années.

2.2 ORGANISATIONS, RÉSEAUX ET COLLABORATIONS

Cette section décrit les principaux acteurs et leurs activités en sciences de la mer au Canada. La figure 2.4 montre l'emplacement des principaux établissements et organisations en sciences de la mer au Canada. Elle fait voir une structure décentralisée de grappes régionales qui témoigne de l'importance de l'expertise locale et régionale. Le vaste littoral du Canada et ses trois bassins océaniques posent un défi unique, accentué par la population restreinte et dispersée du pays. Néanmoins, une grande variété d'organisations contribue aux sciences de la mer à travers le pays.

2.2.1 Les ministères et organismes du gouvernement fédéral

Afin de cerner les activités fédérales, le comité d'experts s'est inspiré de *Federal S&T Map: Ocean Science Case Study*, qui cartographie l'état actuel des sciences et de la technologie dans les ministères et organismes fédéraux (GC, 2010). Bien que la carte ne couvre pas tous les thèmes abordés dans le présent rapport, elle offre le meilleur aperçu disponible des ministères et des organismes engagés dans les sciences de la mer et les types de recherche auxquels ils participent[3]. Les renseignements sur les programmes et initiatives individuels sont peut-être déjà périmés, mais le résumé donne un aperçu utile des domaines où les ministères contribuent aux sciences de la mer.

Pêches et Océans Canada (MPO), Environnement Canada et Ressources naturelles Canada (RNCan) sont les acteurs les plus impliqués dans la recherche pertinente aux 40 questions de recherche (telles que décrites sous les thèmes articulés au chapitre 4). Le Conseil national de recherches du Canada (CNRC) jouait aussi un rôle important dans de nombreux domaines au moment de la publication de ce rapport, bien que son rôle puisse être en voie de changer par suite de la récente restructuration. La quasi-totalité des 12 ministères et organismes visés par la carte des sciences et de la technologie océaniques contribuent à la recherche axée sur les 40 questions de recherche, dont les polluants, les déchets et substances nocives, ainsi que la salubrité des aliments et de l'eau. Le nombre de ministères et organismes ayant un rôle à jouer dans les sciences et la technologie océaniques reflète la vaste portée des 40 questions de recherche, ainsi que la diffusion importante de la capacité requise pour répondre à ces questions par le biais de nombreux organismes dotés de capacités spécialisées.

3 Voir l'appendice A qui renferme un résumé des activités décrites dans les cartes qui sont pertinentes aux thèmes de recherche énoncés par le comité d'experts.

Figure 2.4

Emplacements des principales installations et organisations de recherche en sciences de la mer au Canada

Bien que de nombreuses installations et organisations soient situées le long des côtes canadiennes, d'autres centres sont établis plus à l'intérieur du pays, parfois en association avec d'autres installations connexes. Il y a plusieurs petits établissements situés à divers endroits dans l'Arctique, mais ils ne sont pas représentés sur cette carte.

* Note : De nombreux ministères fédéraux ont des bureaux à Ottawa (p. ex. le MPO, le Service hydrographique du Canada, Environnement Canada, RNCan et le CNRC), où une grande partie des travaux scientifiques menés ailleurs est transposée en conseils sur les politiques et la prise de décision.

LÉGENDE

ZONE ÉCONOMIQUE EXCLUSIVE (ZEE)

GRAPPES TECHNOLOGIQUES

- Grappe technologique de l'océan Pacifique (Vancouver et Victoria, C.-B.)
- Technopole maritime du Québec (Grappe Ressources, sciences et technologies marines) (Rimouski, Mont-Joli, Rivière-du-Loup, Gaspé, Baie-Comeau et Sept-Îles, Qc)
- Grappe des technologies océaniques d'Halifax (Halifax, N.-É.)
- Grappe des technologies océaniques de St. John's (St. John's, T.-N.-L.)

INSTITUTIONS GOUVERNEMENTALES
ÉTABLISSEMENTS UNIVERSITAIRES
AUTRES ÉTABLISSEMENTS

1 Île de Vancouver, C.-B.
- Centre des sciences de la mer Bamfield
- Centre des sciences de la santé aquatique de la CB
- Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatique (CCmaC) (Environnement Canada, UVic)
- Institut des sciences de la mer (MPO)
- Station biologique du Pacifique (MPO)
- Centre géoscientifique du Pacifique (RNCan)
- Ocean Networks Canada (ONC) (UVic)
- Université de Victoria (UVic)
- Université de l'Île de Vancouver

2 Vancouver, C.-B.
- Centre de recherche sur l'aquaculture et l'environnement (MPO-UBC)
- Université Simon-Fraser
- Université de la Colombie-Britannique

3 Edmonton, Alb.
- Université de l'Alberta

4 Winnipeg, Man.
- Institut des eaux douces (MPO)
- Université du Manitoba

5 Toronto, Ont.
- Université de Toronto

6 Ottawa, Ont. / Gatineau, Qc *
- Bureaux nationaux du MPO, d'Environnement Canada, de RNCan et du CNRC
- Gestion des données scientifiques intégrées (MPO)
- Service hydrographique du Canada (MPO)
- Installation d'essais et d'évaluation en performance marine (CNRC)

7 Montréal, Qc
- Université McGill

8 Ville de Québec, Qc
- Université Laval

9 Rimouski et Mont-Joli, Qc
- Institut Maurice Lamontagne (MPO)
- Université du Québec à Rimouski

10 Saint Andrews et Saint John, N.-B.
- Centre des sciences de la mer Huntsman
- Station biologique de St. Andrews (MPO)
- Université du Nouveau-Brunswick

11 Moncton, N.-B.
- Centre des pêches du Golfe (MPO)

12 Charlottetown, Î.-P.-É.
- Laboratoire de bioconfinement des agents pathogènes propres aux animaux aquatiques de Charlottetown (MPO)
- Université de l'Île-du-Prince-Édouard

13 Dartmouth et Halifax, N.-É.
- Centre de prévision des intempéries de la Région de l'Atlantique et Laboratoire national de météorologie marine et côtière (Environnement Canada)
- Institut océanographique de Bedford (MPO, Environnement Canada, RNCan)
- Centre de prévision environnementale marine (CPEM) (Environnement Canada)
- Université Dalhousie
- Recherche et développement pour la défense Canada (RDDC) Atlantique
- Institut de recherche marine de Halifax (HMRI) (Université Dalhousie)
- Université Saint Mary's

14 St. John's, T.-N.-L.
- Installation d'essais et d'évaluation en performance marine (CNRC)
- Université Memorial de Terre-Neuve
- Centre des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest (MPO)
- Centre des entreprises de technologies océaniques (CNRC)

15 Cambridge Bay, Nunavut
- Station de recherche du Canada dans l'Extrême-Arctique (AADNC – projetée)

2.2.2 Les gouvernements provinciaux et territoriaux

Les gouvernements provinciaux et territoriaux appuient les sciences de la mer par différents mécanismes et, en tant que groupe, représentent la plus importante source de financement de l'enseignement et de la recherche universitaires. En 2009, les provinces ont fourni 46 % du revenu total des universités au Canada (Statistique Canada, 2009). Plusieurs gouvernements provinciaux soutiennent des programmes d'enseignement spécialisés qui contribuent à la capacité humaine en sciences de la mer, ainsi que des établissements tels que des musées ou des aquariums qui servent de lieux d'enseignement et de recherche. Les ministères provinciaux interviennent aussi comme partenaires d'importants consortiums pour faire des investissements d'envergure dans des infrastructures de recherche.

Ainsi, le Fonds de recherche du Québec — Nature et Technologies finance trois grappes stratégiques dont le mandat de recherche est lié à l'océan, y compris Québec-Océan, qui coordonne les efforts des océanographes de six universités et d'un institut fédéral au Québec (Québec-Océan, 2013). Le British Columbia Knowledge Development Fund est un important bailleur de fonds d'Ocean Networks Canada (ONC) et des observatoires NEPTUNE et VENUS (voir l'encadré 4.3), du Centre des sciences de la mer Bamfield, de Genome BC et de plusieurs chaires de leadership de la Colombie-Britannique en sciences de la mer. Le Nouveau-Brunswick finance l'Aquarium et centre marin du Nouveau-Brunswick et apporte son soutien au Centre des sciences de la mer Huntsman. La Nouvelle-Écosse est un important bailleur de fonds du Fundy Ocean Research Centre for Energy (voir la section 4.2.2).

Les provinces soutiennent également la recherche appliquée, l'innovation et le développement technologique dans des domaines importants pour le développement économique, comme la pêche et l'aquaculture, l'énergie extracôtière classique ou renouvelable et la biotechnologie marine. À titre d'exemple, Terre-Neuve-et-Labrador, la Nouvelle-Écosse, la Colombie-Britannique et le Québec appuient le développement de grappes de technologie océanique pour faire avancer la recherche appliquée dans ces domaines (voir l'encadré 5.2). De nombreux ministères provinciaux mènent aussi des activités scientifiques à des fins de conservation et de gestion durable, telles que la délimitation et la surveillance des zones protégées, l'évaluation des risques et la surveillance des répercussions des activités humaines sur l'environnement.

Les gouvernements des trois territoires du Canada administrent des collèges d'enseignement et de recherche qui fournissent aussi des services et apportent leur soutien à des projets de recherche qui se déroulent dans les territoires (le Nunavut Arctic College, le Collège du Yukon et le Collège Aurora). Ils réglementent

par ailleurs l'accès aux sites de recherche et administrent des programmes de recherche à l'appui de leurs responsabilités en matière de gestion de la faune et de développement durable des ressources.

Ce ne sont là que quelques exemples de la façon dont les gouvernements provinciaux et d'autres établissements contribuent aux sciences de la mer. Le niveau d'activité varie selon l'endroit, la taille des projets et les priorités, mais ces exemples montrent néanmoins que les gouvernements provinciaux et les établissements connexes sont des sources importantes de financement et agissent comme partenaires clés dans la recherche en sciences de la mer (pour d'autres exemples, voir MPO, 2009b).

2.2.3 Les universités et collèges

Après les ministères fédéraux, les universités sont le deuxième plus important groupe pour la production de la recherche en sciences de la mer (voir le chapitre 3). Plus de la moitié des universités canadiennes abritent des activités liées aux sciences de la mer. Les collèges jouent un rôle important dans la formation de personnel hautement qualifié et la réalisation de travaux de recherche appliquée pertinents aux sciences de la mer. En raison du caractère multidisciplinaire de ce domaine, les océanologues travaillent dans de nombreux départements différents et dans des disciplines qui englobent de la recherche non axée sur les sciences de la mer. Il est donc difficile d'évaluer le niveau d'activité et les thèmes prioritaires de la participation universitaire aux sciences de la mer, selon la définition large employée dans le présent rapport.

Le comité d'experts n'a pu retrouver d'inventaire ou d'évaluation antérieurs des activités liées aux sciences de la mer qui se déroulent dans les établissements d'enseignement postsecondaire. Par conséquent, une demande d'information a été envoyée aux 20 universités canadiennes ayant la production la plus importante en sciences de la mer. Ces universités ont été invitées à préciser si elles avaient produit des inventaires, des rapports ou d'autres documents traitant de leurs activités en sciences de la mer susceptibles de fournir des renseignements sur la capacité. Si aucun inventaire de ce genre n'était disponible, elles étaient invitées à fournir un aperçu de leurs départements ou instituts engagés dans les sciences de la mer, les thèmes de recherche, les éléments d'infrastructure clés et les sources de financement.

Onze universités ont répondu à cette requête, mais seulement cinq ont été en mesure de présenter des renseignements détaillés. Ce taux de réponse était insuffisant pour permettre une évaluation détaillée des activités et de la capacité des établissements universitaires. Le taux de réponse indique qu'à quelques exceptions près, les universités canadiennes ne recueillent pas systématiquement

de renseignements sur leur capacité et leur production en sciences de la mer, ou de données de base telles que le nombre de chercheurs ou d'étudiants engagés dans ce domaine. En outre, l'information que les universités présentent dans leur plan stratégique n'est pas suffisamment détaillée pour permettre une analyse de la capacité.

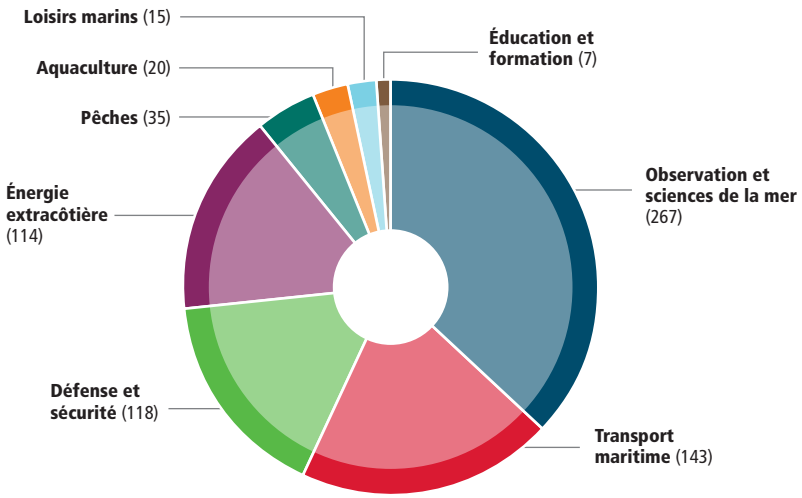
2.2.4 Le secteur privé

Une bonne partie de l'activité en sciences de la mer au Canada se déroule dans le secteur privé, en particulier dans les domaines de la défense et de la sécurité, de l'énergie extracôtière (voir la section 4.2) et du transport maritime. Un trait caractéristique des sciences de la mer au Canada est le grand nombre de petites et moyennes entreprises engagées dans le développement de technologies pour la recherche et l'observation de l'océan.

En 2011, Industrie Canada, en collaboration avec le Partenariat pour les sciences et les technologies des océans (PSTO), a publié une carte interactive et un inventaire des organisations engagées dans la technologie océanique. L'inventaire comprend 719 entrées dans diverses industries, avec jusqu'à trois entrées par entreprise. Plus du tiers de toutes les entrées (37 %) se trouvent dans la catégorie « observation et sciences de la mer » (figure 2.5). La demande technologique est déterminée dans une large mesure par l'industrie du gaz et du pétrole extracôtiers, dont les dépenses représentent 43 % de la dépense intérieure du secteur de la technologie océanique (Industrie Canada, 2012). Le développement de la technologie d'observation de l'océan est un point fort du Canada, au niveau tant de la capacité scientifique que du développement des marchés et des transferts de technologie (voir la section 5.1).

2.2.5 Les organisations non gouvernementales

Les organisations non gouvernementales jouent un rôle important en contribuant aux sciences de la mer et en mobilisant des connaissances scientifiques et autres vers l'action. Ainsi, le Cadre national pour le réseau d'aires marines protégées du Canada reconnaît les ONG comme partie prenante dans les zones marines protégées et leur rôle dans l'élaboration de plans de conservation et de gestion (GC, 2011). Les ONG apportent également une expertise basée sur de l'information scientifique et autre, comme le savoir écologique traditionnel, dans la prise de décisions touchant à la conservation des océans et à la gestion de l'écosystème. Un exemple de collaboration récente entre le MPO et des ONG est un projet pluriannuel visant à étudier la santé passée, présente et future du saumon du Pacifique en utilisant des évaluations épidémiologiques et des technologies génomiques nouvelles, projet auquel participent le MPO, la Fondation du saumon du Pacifique et Genome BC (Genome BC, 2013). Des ONG internationales, comme l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), Conservation



Source des données : Cinmaps, 2013

Figure 2.5

Nombre d'organisations du secteur privé par secteur de technologie océanique au Canada

Plus du tiers des entreprises de technologie océanique entre dans la catégorie « observation et sciences de la mer ». Le répertoire des entreprises de technologie océanique compte 719 inscriptions au total. Les organisations s'enregistrent elles-mêmes dans la base de données et peuvent avoir jusqu'à trois inscriptions dans des catégories différentes.

International et le Pew Trust Institute of Ocean Science, fournissent des conseils scientifiques pour la gouvernance internationale de l'environnement. À titre d'exemple, la Convention de Ramsar sur les zones humides reconnaît Birdlife International, Wetlands International et d'autres ONG en tant que partenaires égaux aux côtés des délégués des pays (Convention de Ramsar, 1987).

Les autres contributions des ONG comprennent l'élaboration de cadres et de lignes directrices pour la mise en œuvre (voir, par exemple, CCE, 2012). Par ces activités, les ONG offrent d'importants canaux permettant aux scientifiques d'interagir et de collaborer avec d'autres chercheurs, décideurs et professionnels. Ce dialogue entre différentes communautés d'utilisateurs éclaire à son tour la définition des priorités de recherche et l'élaboration de projets de recherche en collaboration (Gemmill et Bamidele-Izu, 2002; Calado *et al.*, 2012).

En outre, les ONG sont de plus en plus engagées dans des activités de recherche, par exemple en produisant des données dans le cadre de programmes de surveillance ou en facilitant la participation du public par des approches science

citoyenne. Ainsi, l'Aquarium de Vancouver administre un réseau de signalement des cétacés en collaboration avec le MPO et le gouvernement de la Colombie-Britannique grâce auquel les gens peuvent signaler la présence de baleines, de dauphins et de marsouins à des fins de surveillance de l'environnement et de recherche scientifique (Vancouver Aquarium, 2013).

2.2.6 Les réseaux et collaborations

Les scientifiques collaborent de nombreuses façons : en rédigeant des publications en collaboration, en participant à des projets de recherche conjoints ou en s'engageant dans des arrangements à long terme tels que des groupes de recherche ou des réseaux d'expertise virtuels regroupant des chercheurs de plusieurs instituts ou départements. La dispersion géographique des sciences de la mer au Canada pose des défis pour la collaboration au niveau national et pour la gestion de certains types d'infrastructures. Les collaborations et réseaux peuvent répondre à certaines des difficultés inhérentes à l'étalement géographique; toutefois, la collaboration augmente généralement avec la proximité physique (Colbourne, 2006; Doloreux et Melançon, 2008; Westnes *et al.*, 2009). La recherche en collaboration au niveau national est intrinsèquement plus difficile et coûteuse dans un grands pays comme le Canada que dans un pays de plus petite taille comme le Royaume-Uni, la France ou la Norvège. L'approche régionale du MPO intervient pour beaucoup en vue de surmonter ces défis, tout comme son rôle de gestionnaire de la flotte de recherche et des grands ensembles de données et de fournisseur d'autres infrastructures de recherche et d'information.

Les graphiques en réseau conçus dans le cadre des analyses bibliométriques présentées au chapitre 3 donnent un aperçu des liens de collaboration au Canada et avec des organisations internationales. Les analyses similaires présentées au chapitre 4 donnent aussi un aperçu des collaborations par thème respectif. La présente section se concentre sur les grands réseaux plus formels et les autres accords de collaboration.

Les subventions de réseaux stratégiques du CRSNG appuient la recherche dans des domaines qui pourraient renforcer sensiblement l'économie, la société ou l'environnement du Canada (CRSNG, 2013a). Les réseaux stratégiques qui s'intéressent actuellement à des questions touchant aux sciences de la mer sont le Réseau stratégique du CRSNG pour des océans canadiens en santé (CHONe), le Réseau canadien de recherche sur la pêche (RCRP), le Canadian Aquatic Invasive Species Network (CAISN), le Réseau canadien des codes à barres ADN et le Réseau canadien d'aquaculture multitrophique intégrée (RCAMTI). Le CRSNG finance également le volet réseau de l'Ocean Tracking Network (OTN), hébergé à l'Université Dalhousie, en complément de la subvention de la Fondation canadienne pour l'innovation (FCI) pour des infrastructures innovatrices de détection acoustique (voir l'encadré 2.1).

Les réseaux de centres d'excellence du Canada (RCE) visent à mobiliser les meilleurs experts canadiens en recherche, en développement et en entrepreneuriat pour résoudre des problèmes particuliers ou explorer des domaines stratégiques (RCE, 2011). Les RCE liés aux océans qui sont actuellement actifs englobent ArcticNet, le Marine Environmental Observation Prediction and Response Network (MEOPAR), l'Ocean Networks Canada Centre for Enterprise and Engagement (ONCCEE) et le Leading Operational Observations and Knowledge for the North (LOOKNorth). Le Programme des RCE comprend les réseaux de l'initiative de Mobilisation des connaissances, les Centres d'excellence en commercialisation et en recherche et les Réseaux de centres d'excellence dirigés par l'entreprise. Ce programme fournit principalement du financement pour des activités de recherche et de commercialisation. Les établissements d'accueil doivent fournir l'espace de bureau, les télécommunications et les autres services administratifs, ce qui nécessite des fonds supplémentaires et une capacité administrative. Les autres réseaux importants sont notamment le Centre for Occupational Health and Safety Research of Marine and Coastal Work (SafetyNet), financé en tant qu'Alliance communautaire pour la recherche en santé par les Instituts de recherche en santé du Canada (IRSC), et Coasts Under Stress (2000–2005), qui a été financé en tant qu'initiative conjointe du CRSNG et du Conseil de recherches en sciences humaines du Canada (CRSH).

L'impact global des réseaux stratégiques du CRSNG et des RCE sur les sciences de la mer n'a pas encore été évalué. Ces réseaux reflètent des approches novatrices pour la collaboration scientifique entre les disciplines et avec d'autres intervenants tels que l'industrie, les organisations environnementales et les collectivités locales et autochtones. Les avantages attendus vont au-delà de la production de connaissances scientifiques et englobent les avantages concrets des sciences de la mer pour la société.

La principale organisation scientifique canadienne dans le domaine des sciences de la mer est la Société canadienne de météorologie et d'océanographie (SCMO). En ce moment, aucune organisation savante n'englobe toutes les disciplines qui contribuent aux sciences de la mer. Les grandes organisations scientifiques internationales auxquelles le Canada participe sont notamment la Commission océanographique intergouvernementale de l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (COI-UNESCO), le Comité scientifique de la recherche océanique (CSRO) dont le comité canadien est affilié à la SCMO, le Conseil international pour l'exploration de la mer (CIEM), le North Pacific Marine Science Organization (PICES) et le Consortium for Ocean Leadership des États-Unis.

Des chercheurs canadiens participent aussi à des initiatives de collaboration et à des projets de recherche internationaux réunissant des chercheurs en sciences de la mer de partout dans le monde, et ils en assument souvent la direction. Voici quelques exemples actuels ou récents d'organisations où le Canada a assumé un rôle de leadership ou a eu une participation importante : le Census for Marine Life, l'OTN et le Programme international concernant la géosphère et la biosphère (PIGB) et ses principaux projets, tels que le Joint Global Ocean Flux Study, le Programme mondial de dynamique des écosystèmes océaniques (GLOBEC), le projet Integrated Marine Biochemistry and Ecosystem Research (IMBER) et le Surface Ocean Lower Atmosphere Study (SOLAS).

Les grappes technologiques sont des alignements industrie-université-gouvernement qui forment un pôle d'innovation en recherche et développement. Les grappes technologiques ont différentes structures de gouvernance, mais elles jouent souvent le rôle de plaque tournante dans les régions où il y a une forte densité d'instituts de recherche, d'infrastructures de recherche matérielles, ainsi qu'un groupe de sociétés technologiques déjà établies (voir la section 5.1).

Alors que la plupart des réseaux et collaborations mentionnés ci-dessus comprennent des scientifiques de partout au pays, aucun réseau, organisme ou forum ne représente actuellement l'ensemble de la collectivité canadienne des sciences de la mer. Beaucoup d'autres pays disposent d'un mécanisme ou d'un organisme qui remplit ce rôle institutionnel. En dépit de leurs structures institutionnelles différentes, ces mécanismes assurent généralement le leadership et la coordination de la collectivité nationale des sciences de la mer. En outre, bon nombre de ces organismes offrent un forum pour l'élaboration d'une vision et d'un plan stratégique pour les sciences de la mer au niveau national. Voici quelques exemples de tels mécanismes et de leur structure institutionnelle :

- Aux États-Unis, l'Ocean Studies Board des National Academies offre un forum pour explorer les besoins au niveau de la science, des politiques et de l'infrastructure en vue de comprendre, gérer et préserver les ressources et les milieux côtiers et marins. Le conseil de direction joue un rôle de leadership au sein de la collectivité des sciences de la mer et mène des études sur des questions particulières, soit à la demande d'un organisme fédéral ou d'un autre commanditaire soit de sa propre initiative, (NAS, 2013).
- La Fondation allemande pour la recherche (Deutsche Forschungsgemeinschaft, DFG), principal organisme allemand subventionnant la recherche universitaire, possède une commission permanente qui planifie et coordonne les activités de la DFG en sciences de la mer. Entre autres, la Commission publie des rapports sur l'état des sciences de la mer, des analyses des besoins de recherche, ainsi que des documents de stratégie et de politique (DFG, 2012).

- Bien qu'il n'existe aucun organisme permanent au Royaume-Uni, le Marine Science Coordination Committee a regroupé les principaux acteurs des sciences de la mer en vue d'élaborer la stratégie des sciences de la mer du Royaume-Uni (DEFRA, 2010).
- L'Australian Marine Sciences Association (AMSA) vise à faire progresser les sciences de la mer et à promouvoir la coopération entre les diverses organisations de toutes les disciplines engagées dans ce domaine. L'AMSA publie aussi régulièrement des documents et des mémoires sur les politiques touchant le rôle des sciences de la mer dans certains domaines de politique (AMSA, 2013).
- L'European Marine Board sert de plateforme aux conseils de recherche et aux organisations des sciences de la mer européens afin d'élaborer des priorités et des stratégies communes pour les sciences de la mer en Europe et faciliter la coopération entre les acteurs de ce secteur (European Marine Board, 2013b).

2.3 L'INFRASTRUCTURE MATÉRIELLE ET D'INFORMATION

Une grande partie des sciences de la mer est à forte intensité technologique et dépend souvent de la disponibilité de grandes infrastructures, un peu à la manière des autres disciplines « méga-scientifiques » comme la physique des hautes énergies et l'exploration spatiale. En outre, de nombreux chercheurs en sciences de la mer dépendent de la disponibilité des navires de recherche et d'autres plateformes mobiles ou fixes pour avoir accès à la mer. Bien que l'utilisation de systèmes automatisés d'observation des océans et de collecte de données à distance ait augmenté rapidement au cours des dernières années, ces systèmes dépendent encore d'une flotte de navires, ainsi que de la capacité humaine à les concevoir, les construire, les déployer et les maintenir dans l'océan (National Research Council, 2011).

L'observation de l'océan est à l'aube d'une révolution technologique suscitée par l'émergence de puissantes technologies nouvelles dans des domaines tels que la nanotechnologie, la biotechnologie, la technologie de l'information, la modélisation informatique, les technologies d'imagerie et la robotique. Alors que la plupart de ces découvertes surviennent à l'extérieur des sciences de la mer, leur convergence crée une nouvelle génération d'outils d'observation qui va grandement faciliter l'accès à l'océan et permettre l'observation à des échelles spatiales et temporelles beaucoup plus grandes (Delaney et Barga, 2009).

De nouveaux capteurs chimiques et biologiques *in situ* et des dispositifs d'échantillonnage automatisés peuvent être montés sur des plateformes autonomes se déplaçant dans l'océan pendant des mois sans intervention humaine. Ces appareils transmettent des données par satellite et permettent d'accroître considérablement la fréquence et la densité des observations (Valdès *et al.*, 2010). Les nouvelles générations de véhicules télécommandés permettent des observations, des manipulations et

des expériences dans des zones auparavant inaccessibles, à un coût bien inférieur à celui des submersibles habités. Les réseaux câblés qui fournissent la puissance et la bande passante requises à des nodules sous-marins ont créé une nouvelle forme de téléprésence humaine dans l'océan qui permet aux chercheurs de partout dans le monde de prendre des mesures en continu et simultanées des processus physiques, chimiques, biologiques et géologiques, et à observer des événements de courte durée, comme l'éruption d'un volcan sous-marin, qui n'étaient auparavant observés que par hasard (Delaney et Barga, 2009; Taylor, 2009).

Ces progrès engendrent d'énormes possibilités pour les sciences de la mer. Des observations plus fréquentes et spatialement denses peuvent permettre de mieux comprendre comment les changements climatiques et le fonctionnement des écosystèmes affectent les différents niveaux d'organisation biologique (Valdès *et al.*, 2010). Ils interviennent également dans la validation et l'amélioration des modèles d'interactions océan-climat, permettant ainsi une meilleure prévision des changements au niveau du climat, de la météo et de la glace de mer. La téléprésence offre aussi de nouvelles façons de faire participer le public aux activités de recherche à travers la « science citoyenne » (Hand, 2010). Digital Fishers, par exemple, invite les membres du public à participer à l'enregistrement des espèces marines à partir d'observations vidéo fournies par le réseau câblé NEPTUNE (Digital Fishers, s.d.).

La disponibilité de petites plateformes autonomes telles que les véhicules sous-marins autonomes (VSA) et les planeurs a réduit considérablement le coût d'accès à l'observation et à l'échantillonnage — à un niveau où ces appareils peuvent être achetés et personnalisés par des chercheurs individuels (Kintisch, 2013) si le personnel technique et les infrastructures de soutien nécessaires sont disponibles. Certaines des 40 questions de recherche abordent le développement de ces nouvelles technologies et de leur application (voir la section 5.1), tandis que d'autres envisagent la possibilité d'étendre la surveillance et l'observation à des échelles sans précédent.

2.3.1 Les navires de recherche

Les nouvelles technologies peuvent faciliter grandement l'accès à l'océan et augmenter la portée et l'efficacité des plateformes de plus grande taille, mais elles ne remplacent pas les navires (National Research Council, 2011; Kintisch, 2013). De nombreux chercheurs ont encore besoin d'aller en mer pour déployer et récupérer des systèmes autonomes, et certaines observations et certains échantillons peuvent

être recueillis uniquement par du matériel commandé par des humains. Les navires spécialisés sont nécessaires pour installer et entretenir les plateformes fixes telles que les réseaux câblés ou les flotteurs amarrés. Le rythme de plus en plus rapide du développement technologique constitue donc un défi pour la planification et la gestion de la flotte (National Research Council, 2009). Étant donné que la plupart des navires ont une durée utile de plusieurs dizaines d'années, il peut être difficile de prévoir la demande future, l'utilisation et les exigences de la technologie au moment de la conception et de la construction d'un navire.

La Garde côtière canadienne (GCC), un organisme de services spécialisés du MPO, exploite la flotte civile du Canada et fournit des services maritimes. Le mandat de la GCC comprend le maintien de voies navigables sécuritaires et accessibles en fournissant des aides à la navigation, des services de recherche et de sauvetage, des services de brise-glace, des services d'intervention en cas d'urgence dans l'environnement marin, et plusieurs autres services. La flotte de la GCC comprend 120 navires, dont 20 consacrés entièrement à la recherche océanique (tableau 2.1). En outre, 5 brise-glaces et 11 navires polyvalents disposent d'une certaine capacité scientifique, mais sont principalement utilisés pour d'autres missions de la GCC (GCC, 2012b). Outre les navires de la GCC, Recherche et développement pour la défense Canada (RDDC) exploite le *CFAV Quest*, un navire de recherche militaire de surface silencieux construit pour résister aux glaces (RDDC, 2012). D'autres navires dont la fonction principale n'est pas la recherche participent aussi à la collecte de données, par exemple les bateaux de pêche commerciale et d'autres « navires d'occasion » qui font des observations volontaires durant leurs opérations normales (voir, par exemple, JCOMMOPS, 2008).

L'accès des clients internes et externes (autres que ceux du MPO) aux navires de la GCC est accordé sur une base de recouvrement des coûts, sous réserve de la disponibilité régionale et en respectant les priorités du programme (GCC, 2011). Les chercheurs doivent présenter une demande de financement distincte pour couvrir ces coûts. Le CRSNG accorde du financement aux titulaires d'une subvention à la découverte de l'organisme pour accéder aux navires du MPO (ceux de la GCC) ou à d'autres navires (CRSNG, 2012a). Une exception notable est le brise-glace de recherche *Amundsen*, géré par un consortium d'universités canadiennes et ArcticNet, dans le cadre d'un accord de partage des coûts avec le gouvernement du Canada (NGCCAS, 2013b) (voir l'encadré 4.6).

Tableau 2.1

Navires de la garde côtière canadienne (NGCC) affectés à la recherche océanique

Genre de navire	Nom du navire	Région d'attache	Année	Âge (années)	Longueur (m)	Autonomie (milles nautiques)	Endurance (jours)
Brise-glace moyen	*Amundsen**	Québec	1979	34	98,2	35 000	100
Océanographie extracôtière	*John P. Tully*	Pacifique	1984	29	65,7	12 000	50
	*Hudson***	Maritimes	1963	50	90,4	23 100	105
Science de la pêche hauturière**	*Alfred Needler*	Maritimes	1982	31	50,3	3 000	30
	Teleost	Terre-Neuve-et-Labrador	1988	25	63,0	12 000	42
	W.E. Ricker	Pacifique	1978	35	58,0	6 000	50
Science semi-hauturière***	*Otter Bay*	Pacifique	1992	21	13,4	250	5
	Matthew	Maritimes	1990	23	50,3	4 000	20
	Frederick G. Creed	Québec	1988	25	20,4	870	3
	Vector	Pacifique	1967	46	39,7	3 500	16
Recherche halieutique semi-hauturière***	*M. Perley*	Maritimes	2012	1	22,0	12 000	7
	Leim	Québec	2012	1	22,0	12 000	3
	Vladykov	Terre-Neuve-et-Labrador	2012	1	25,0	1 800	8
	Neocaligus	Pacifique	1989	24	18,8	–	–
	Calanus II	Québec	1991	22	19,9	2 000	30
	Opilio	Maritimes	1989	24	18,2	800	4
	Shamook	Terre-Neuve-et-Labrador	1975	38	24,9	2 500	5

suite à la page suivante

Genre de navire	Nom du navire	Région d'attache	Année	Âge (années)	Longueur (m)	Autonomie (milles nautiques)	Endurance (jours)
Spécialisé (science multidisciplinaire hydrographique)***	*Viola M. Davidson*	Maritimes	2010	3	18,0	–	–
	F.C.G. Smith	Québec	1985	28	34,8	1 500	7
	G.C. 03	Québec	1970	43	18,5	400	5

Source des données : GCC, 2012b

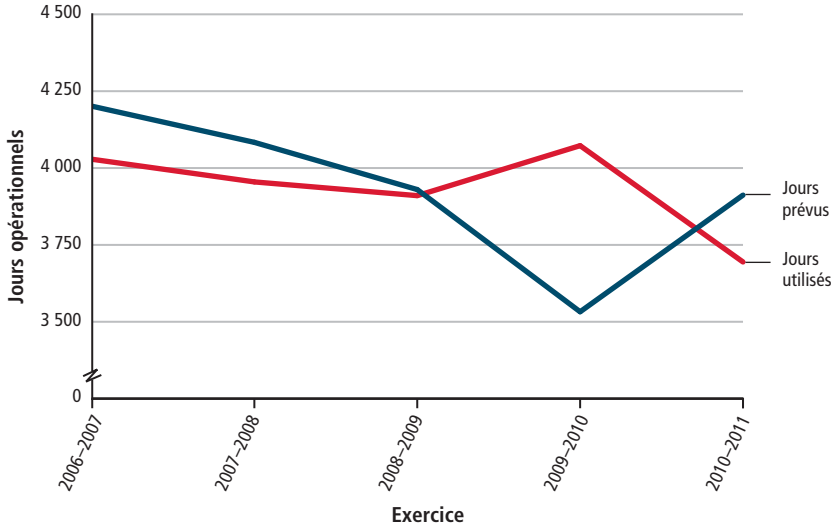
« Année » représente l'année de mise en service d'un navire; l'âge de chaque navire correspond à l'année 2013.

* Le NGCC Amundsen est affecté aux services de déglaçage durant l'hiver et à la recherche au cours de l'été, à l'exception des années où ses missions scientifiques l'amènent à passer l'hiver dans l'Arctique.

** La stratégie nationale d'approvisionnement en matière de construction navale (SNACN) englobe la construction d'un navire hauturier de recherche océanographique pour remplacer le NGCC Hudson et de trois navires hauturiers de remplacement en sciences halieutiques (TPSGC, 2013).

*** Le MPO a récemment annoncé une enveloppe de 488 M$ qui servira à acquérir entre 18 et 21 nouveaux navires pour la Garde côtière canadienne, dont un nombre non précisé de navires scientifiques semi-hauturiers et des navires de levé et de sondage de chenaux (MPO, 2013e).

La GCC ne surveille pas systématiquement la capacité ou l'utilisation de la flotte actuelle, et il est difficile de déterminer si les ressources disponibles sont utilisées efficacement et répondent aux besoins des chercheurs (MPO, 2012c). L'âge de la flotte a maintes fois suscité des inquiétudes quant à la capacité de la GCC de continuer à répondre aux besoins de la recherche (BVG, 2007; Conseil de l'Arctique, 2009). En 2009–2010, plus de 70 % des navires de la GCC avait dépassé la moitié de leur durée utile prévue (GCC, 2010, 2012e). Le vieillissement des navires et la détérioration des infrastructures terrestres ont entraîné plus de pannes, des coûts plus élevés et des pertes de jours opérationnels en raison des travaux d'entretien (GCC, 2010). De 2006–2007 à 2010–2011, le nombre de jours opérationnels planifiés et utilisés à de fins scientifiques a diminué à chaque année, sauf une (figure 2.6). Durant cette période, 5 % des jours prévus n'ont pas été livrés en raison de pannes de navires, de retards attribuables à la météo et de changements dans les priorités des clients (GCC, 2011).



Source des données : GCC, 2011. Pêches et Océans Canada. Reproduit avec la permission de sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2013.

Figure 2.6

Nombre de jours opérationnels alloués par la Garde côtière canadienne à Sciences de l'océan et des écosystèmes du MPO, de 2006–2007 à 2010–2011

Le nombre de jours opérationnels prévus par la Garde côtière canadienne et utilisés par Sciences de l'océan et des écosystèmes du MPO a diminué progressivement entre 2006–2007 et 2010–2011. Durant cette période, 95 % des jours opérationnels prévus ont été utilisés. Les jours opérationnels non utilisés, soit 5 % du total, sont imputables à des pannes de navire, des retards causés par la météo ou des changements dans les priorités des clients.

En 2012, le processus de renouvellement continu de la flotte a été complété par une décision prise dans le cadre du Plan d'action économique du Canada en vue de remplacer trois navires hauturiers de sciences halieutiques, un navire hauturier de recherche océanographique et un brise-glace polaire qui comprendra du matériel et des installations scientifiques (GCC, 2010, 2012d). Bien que l'objectif principal du renouvellement de la flotte soit de « maintenir les programmes et les services actuels » (GCC, 2012c), cet investissement offre également la possibilité d'étendre la capacité afin de mieux faire correspondre les caractéristiques et l'équipement des navires aux besoins scientifiques du MPO et des autres clients de la GCC.

Les comparaisons avec les flottes de recherche d'autres pays seulement en fonction du nombre de navires ont une utilité limitée parce que ce n'est qu'un des facteurs qui influent sur la fourniture et l'accessibilité du temps-navire pour les chercheurs. Parmi les autres facteurs, il y a le matériel scientifique, le port d'attache et la zone des opérations, le nombre de jours de conditions météorologiques propices par an, les coûts de fonctionnement, ainsi que l'efficacité et la transparence du processus de présentation et d'évaluation des demandes de temps-navire. Le critère le plus adéquat pour évaluer la capacité de la flotte serait le rapport entre l'offre et la demande de temps-navire dans des régions données et à des fins précises. Au Canada, aucune donnée n'est actuellement disponible pour permettre de faire une estimation appropriée de l'offre et de la demande de temps-navire. Une comparaison avec d'autres pays révèle toutefois des différences importantes dans la gouvernance des flottes de recherche et la gestion du temps-navire.

Alors que la GCC agit en tant que propriétaire, exploitant et gestionnaire de plusieurs navires de recherche au Canada, ces fonctions sont souvent séparées dans d'autres pays, ce qui permet à des consortiums ou à d'autres organisations scientifiques de participer à la gestion et à la répartition du temps-navire.

Les exemples suivants montrent que les modèles de gouvernance pour la propriété, le fonctionnement et la gestion d'une flotte de recherche varient selon les pays. La propriété et le fonctionnement des grands navires de recherche exigent une importante infrastructure matérielle et humaine qui dépasse la capacité de nombreux établissements de recherche. Cela conduit à une séparation de l'offre et la demande de temps-navire entre les différentes organisations (comme la GCC et les instituts de recherche universitaires). Les modalités décrites ci-dessous constituent des exemples de mécanismes qui peuvent combler ce fossé et fournir un accès direct au temps-navire pour les chercheurs, accroître l'efficacité de la

répartition du temps-navire, faciliter la coopération internationale et la mise en commun d'infrastructures de recherche, et éclairer les décisions sur les investissements futurs en infrastructure.

- Aux États-Unis, le University National Oceanographic Laboratory System (UNOLS) donne accès à un total de 23 navires de recherche appartenant à la U.S. Navy, à la National Science Foundation et à d'autres établissements, y compris les trois brise-glaces que possède et exploite la Garde côtière américaine (UNOLS, 2004). En outre, la National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA) gère sa propre flotte de 17 navires (NOAA, 2013).
- Le portail des navires de recherche allemands donne accès à des renseignements sur sept grands navires de recherche qui sont la propriété du gouvernement fédéral, des administrations provinciales ou d'intérêts privés allemands. Le portail est géré par un organisme indépendant qui agit pour le compte de plusieurs établissements de recherche, le Ministère fédéral allemand de l'éducation et de la recherche et la Fondation allemande pour la recherche (Portal deutsche Forschungsschiffe, s.d.).
- L'Institute of Marine Research (IMR) en Norvège donne accès à cinq grands navires de recherche appartenant à cet organisme, à d'autres établissements de recherche ou au gouvernement norvégien (IMR, 2011).
- En Europe, le projet Eurofleets a développé une plateforme virtuelle et une base de données qui fournit des renseignements provenant de 28 pays sur les navires de recherche, les programmes de croisière et les rapports sommaires de croisière. Ce projet vise à élaborer un système dynamique pour la planification des croisières, ainsi que l'échange et l'utilisation des gros instruments. Même si le système n'est pas encore pleinement opérationnel, les chercheurs peuvent actuellement utiliser la base de données pour trouver des renseignements sur les navires de recherche, y compris les places disponibles pour les croisières à venir. Le portail d'Eurofleets utilise ces renseignements pour permettre une planification plus efficace et harmonisée de l'utilisation des infrastructures de recherche en vue de promouvoir une approche paneuropéenne plus cohérente en matière de politique d'infrastructure (Eurofleets, s.d.).

2.3.2 L'infrastructure d'observation et d'information

Tel qu'indiqué ci-dessus, les technologies d'observation de l'océan évoluent rapidement et offrent des possibilités sans précédent. Les systèmes d'observation océanique représentent une combinaison d'infrastructure matérielle et d'information. Ils fournissent des données de base et contextuelles importantes pour étudier des questions de recherche plus précises. Le Canada abrite plusieurs systèmes d'observation de pointe (voir l'encadré 2.1), ainsi que de nombreuses autres initiatives d'observation à différentes échelles poursuivant divers objectifs. Il contribue également à plusieurs volets du Système mondial d'observation des océans (SMOO), y compris l'OTN et le réseau Argo de flotteurs autonomes. La

Encadré 2.1
Points saillants sur l'observation océanique

Faits saillants récents des initiatives d'observation canadiennes et internationales :

- **Argo** est un réseau mondial de plus de 3 500 flotteurs automatisés qui transmettent des données par satellite. Le système couvre presque tout l'océan mondial, à l'exception notable de l'Arctique. Le Canada contribue environ un dixième des flotteurs Argo actifs et a été l'un des premiers développeurs du système logiciel Argo (Argo, s.d.).
- L'**Ocean Tracking Network (OTN)**, basé à l'Université Dalhousie, recueille des données sur les mouvements d'animaux de mer en rapport avec les caractéristiques physiques de l'océan environnant. Il utilise un réseau mondial de récepteurs acoustiques pour suivre les balises individuelles attachées à une variété d'espèces aquatiques (OTN, s.d.).
- Le **Census of Marine Life** (2000–2010) a utilisé des véhicules dirigés par des humains, des véhicules télécommandés, des VSA et des plateformes remorquées dans le cadre d'un effort concerté visant à établir une base de référence de la biodiversité marine (Snelgrove, 2010).
- L'observatoire **Ocean Networks Canada (ONC)** combine le North-East Pacific Undersea Networked Experiments (NEPTUNE) et le Victoria Experimental Network Under the Sea (VENUS) dans l'un des réseaux câblés les plus puissants du monde (Taylor, 2009).

participation du Canada à l'Integrated Ocean Observing System (IOOS) des États-Unis se limite actuellement au volet de l'Atlantique Nord-Est (NERACOOS), avec un petit nombre de stations couvrant seulement une fraction de la région côtière et océanique du pays.

Une étude récente menée par le MPO et le PSTO a identifié 67 systèmes d'observation des océans distincts, dont la plupart ont des sites Web accessibles au public (PSTO, 2011b). Le rapport notait que la plupart des systèmes d'observation des océans canadiens visent à répondre à des besoins d'information locaux ou régionaux précis, auxquels les données et la production d'information sont adaptées. Bien que le rapport ait reconnu un rôle de leadership pour le Canada en matière d'innovation et de développement technologique pour l'observation, il souligne que cette innovation n'est pas utilisée efficacement dans les opérations gouvernementales, et que les possibilités qui s'offrent actuellement pour augmenter les données d'observation de l'océan grâce à l'intégration des données de télédétection ne sont pas exploitées (PSTO, 2011b). Une étude parallèle qui a évalué la valeur environnementale, économique et sociétale des systèmes d'observation de l'océan a fait ressortir la nécessité d'une stratégie nationale pour maximiser les avantages des investissements dans les systèmes d'observation de l'océan (PSTO, 2011a).

Les progrès réalisés dans l'observation de l'océan et la quantité croissante de données disponibles engendrent de nouveaux besoins en infrastructures d'information pour stocker et gérer des ensembles de données de plus en plus vastes et complexes provenant de différentes sources et fournir l'accès en temps opportun aux différents utilisateurs (Baker et Chandler, 2008; MPO, 2008b, Hall *et al.*, 2009; Ribes et Lee, 2010). En outre, l'utilisation que les scientifiques font des données est en voie de changer. Plutôt que de recueillir des données supplémentaires, l'exploitation des données provenant des systèmes d'observation joue un rôle accru en sciences de la mer. Comme un volume croissant de données sont partagées entre les chercheurs au niveau international, l'interopérabilité et l'accessibilité des données prennent une importance prioritaire dans l'infrastructure d'information (Delaney et Barga, 2009).

Au Canada, le programme de Gestion des données scientifiques intégrées (GDSI) du MPO est mandaté pour gérer, archiver et fournir l'accès aux données océaniques recueillies dans le cadre des programmes fédéraux ou obtenues grâce à la participation du gouvernement à des initiatives internationales. Le programme GDSI sert aussi de centre national de données océanographiques au Canada pour l'Échange international des données et d'information océanographiques (IODE) de la COI, sous l'égide de l'UNESCO. Alors que les scientifiques utilisent fréquemment la GDSI, le comité d'experts n'a retracé aucune évaluation systématique de sa performance. Le GDSI n'inclut pas de données sur les ressources ni de données socioéconomiques, dont la plupart sont conservées dans d'autres bases de données du MPO. Outre le GDSI, il y a beaucoup d'autres dépôts de données, y compris le programme Les géosciences à l'appui de la gestion des océans, du MPO et de RNCan, et les ensembles de données géophysiques des offices des hydrocarbures extracôtiers de Terre-Neuve-et-Labrador et de la Nouvelle-Écosse, ainsi que l'Office national de l'énergie pour les forages extracôtiers dans l'Arctique.

2.4 LE FINANCEMENT

Cette section évalue les tendances du financement public des sciences de la mer en milieu universitaire à partir des données disponibles auprès des organismes de financement, suivi d'une brève analyse des dépenses scientifiques du MPO. La section se concentre sur les deux plus importantes sources de dépenses publiques en sciences de la mer au niveau fédéral. Le comité d'experts n'a pu avoir accès à des données sur le financement des sciences de la mer provenant des autres ministères fédéraux ou provinciaux et de fondations privées, ou des dépenses de R-D du secteur privé et celles-ci ne sont donc pas incluses dans les analyses. Les résultats doivent être considérés comme une estimation minimale des dépenses consacrées aux sciences de la mer.

2.4.1 Le soutien des principaux organismes de financement

Au cours de l'exercice financier 2010–2011, les grands organismes fédéraux ont représenté 27,3 % des dépenses en recherche de l'ensemble des disciplines universitaires (Statistique Canada, 2013). C'est la seconde part en importance après les dépenses financées par les budgets des universités (44,2 %), suivie des gouvernements provinciaux (10,6 %), des organismes privés sans but lucratif (9,1 %) et des entreprises commerciales (7,5 %). Les dépenses des universités englobent généralement les salaires des professeurs et des chercheurs à temps plein, ainsi que les coûts des infrastructures de base telles que les locaux à bureau et les laboratoires. Les dépenses pour la recherche universitaire financées par d'autres sources comprennent une part plus élevée de dépenses pour des infrastructures spécialisées et les coûts directs de la recherche, mais elles peuvent également comprendre une part des salaires liés au projet. Bien que les parts des sources de financement varient selon la discipline, on peut néanmoins supposer que les données utilisées dans la présente analyse couvrent entre le quart et le tiers des dépenses totales des universités en sciences de la mer. Les renseignements provenant des organismes de financement suivants ont été analysés pour estimer le financement fédéral prévu en sciences de la mer dans les universités canadiennes :

- La Fondation canadienne pour l'innovation (FCI);
- Le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG);
- Le Conseil de recherches en sciences humaines (CRSH);
- Les Instituts de recherche en santé du Canada (IRSC);
- La Fondation canadienne pour les sciences du climat et l'atmosphère (FCSCA, maintenant le Forum sur le climat canadien), et
- Génome Canada.

Une combinaison de termes de recherche et de catégories choisies dans le système de classification de chaque organisme a été utilisée pour extraire des données sur les subventions pertinentes aux sciences de la mer. Les termes de recherche exacts et les critères de filtrage ont été légèrement adaptés pour chaque organisme, en fonction du nombre de faux positifs et de la nature des termes utilisés dans les titres de projets et les descriptions de base de chaque organisme.

Les données de ces organismes ont révélé qu'il y a eu plus de 920 millions de dollars en financement public pour quelque 4 900 projets et installations liés aux sciences de la mer durant les exercices 2002–2003 à 2011–2012, ce qui revient à environ 92 millions de dollars par année (tableau 2.2). Ce financement était fondé sur le mérite et n'était pas alloué expressément aux sciences de la mer par un organisme de financement. Le CRSNG a fourni la majorité du financement (65 %), tandis que la FCI a fait d'importants investissements dans de grands projets d'infrastructure (23 %).

Tableau 2.2

Dépenses consacrées aux sciences de la mer par les organismes de financement au Canada, exercices 2002–2003 à 2011–2012

Organisme de financement	Dépenses en sciences de la mer ($)	Nombre de projets	Nombre de chercheurs
CRSNG	594 488 611	4 322	2 769
FCI	212 171 690	208	–*
CRSH**	40 011 916	328	276
IRSC	28 527 181	47	44
Génome Canada**,***	25 079 144	9	9
FCSCA**	20 129 980	21	18
Total	**920 408 522**	**4 935**	**3 116**

Source des données : calculé à l'aide de données de la FCI, du CRSNG, du CRSH, des IRSC, de la FCSCA et de Génome Canada

Les montants en dollars représentent la somme totale dépensée par chaque organisme de financement entre les exercices 2002–2003 et 2011–2012. Le nombre de *projets* est indiqué plutôt que le nombre de *subventions* pour une période donnée : certains projets ont reçu du financement de plus d'un programme de subventions (par exemple, Découverte, Temps-navire et autres suppléments). Les « chercheurs » comprennent les étudiants bénéficiant d'une bourse d'étude, les stagiaires postdoctoraux et les professeurs d'université qui sont les chercheurs principaux dans le cadre d'une subvention. En raison des limites des données, seul le nom du chercheur principal pour chaque subvention a pu être pris en compte : ainsi, les nombreux chercheurs participant à des réseaux, à des subventions de partenariat ou à d'autres projets de groupe n'ont pu être dénombrés.

Notes :

* Le nombre de chercheurs soutenus par la FCI n'est pas indiqué. Le financement des infrastructures soutient un nombre beaucoup plus grand de chercheurs que ne l'indiquent les données disponibles de la FCI.

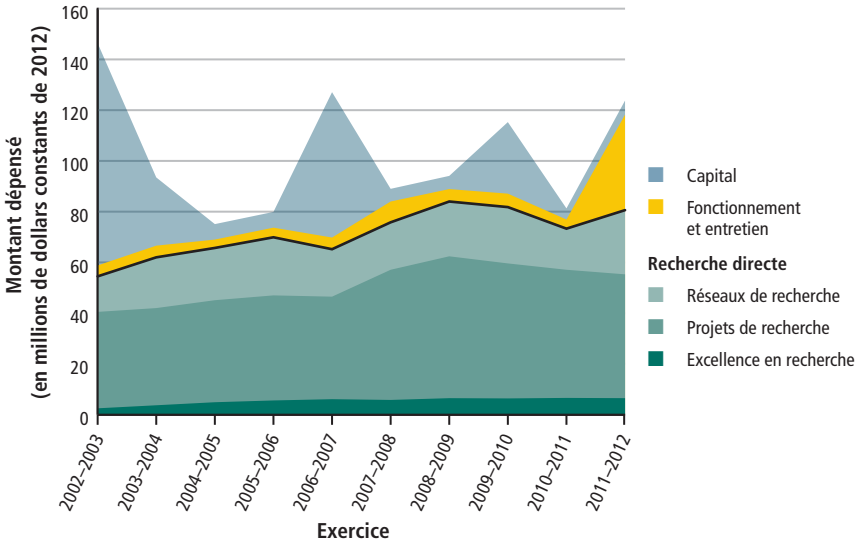
** Le CRSH, la FCSCA et Génome Canada ont fourni des données sur le montant total des subventions accordées et les dates auxquelles elles débutent et se terminent : les sommes moyennes dépensées à chaque année ont été calculées à l'aide de ces données.

*** Les données de Génome Canada englobent celles de Genome British Columbia.

Créés en 2000, soit peu avant la période couverte par ces données, Génome Canada et la FCSCA ont fourni un financement ciblé pour de grands projets de recherche sur la génomique et le changement climatique, respectivement, en lien avec les sciences de la mer. Le mandat fédéral de financement pour la FCSCA a pris fin en 2012 (FCSCA, 2012). Cependant, le CRSNG a récemment lancé le programme de Recherche sur les changements climatiques et l'atmosphère (RCCA) qui offre des subventions allant jusqu'à 1 million de dollars par an (CRSNG, 2013b).

Le financement des sciences de la mer peut être réparti entre les catégories de dépenses suivantes : immobilisations, frais de fonctionnement et d'entretien, et dépenses directes de recherche, selon les programmes d'un organisme (figure 2.7). Les dépenses en immobilisations comprennent les subventions du CRSNG pour les outils et instruments de recherche (OIR) et les infrastructures, et de nombreuses subventions de la FCI qui ont servi à l'achat ou à la construction d'infrastructures, allant des instruments de laboratoire aux investissements majeurs tels que la remise en état du *NGCC Amundsen* ou l'observatoire câblé NEPTUNE. Bien que le financement des immobilisations contribue à créer des infrastructures, l'utilisation de ces infrastructures pour la recherche engendre des frais d'entretien et de fonctionnement. La catégorie des dépenses directes de recherche englobe le financement provenant de la plupart des autres programmes pour des projets individuels ou des réseaux de recherche et servant à défrayer le coût des activités de recherche, du matériel, des déplacements et de la diffusion. Le financement des dépenses directes de la recherche comprend également les programmes d'excellence destinés à recruter et à retenir les meilleurs chercheurs canadiens (par exemple le CRC et le CERC) et le financement des grands réseaux de recherche, comme le RCE, les Réseaux stratégiques du CRSNG, les Alliances de recherche universités-communautés (ARUC) du CRSH et les Subventions de partenariat (voir la section 2.2.6).

Les dépenses en immobilisations sont variables, notamment les subventions de la FCI, qui prennent la forme de montants substantiels versés en une seule année plutôt qu'étalés sur plusieurs années (figure 2.7). Moins de 10 % du financement saisi dans cet ensemble de données provient de programmes axés sur le fonctionnement et l'entretien des infrastructures, comme le Programme de subventions d'accès aux installations majeures et le Programme d'appui aux ressources majeures du CRSNG. Au moment de la rédaction du rapport, ces programmes n'acceptaient pas de nouvelles demandes (CRSNG, 2012b). En 2011, toutefois, la FCI a lancé le Fonds des initiatives scientifiques majeures pour le fonctionnement et l'entretien des installations de recherche de grande envergure financées par la FCI (FCI, 2013b). Ce programme finance actuellement le fonctionnement de l'observatoire ONC, qui explique la forte augmentation des dépenses de fonctionnement en 2011–2012 observée à la figure 2.7. La FCI appuie également le fonctionnement des infrastructures qu'elle a financées, par le biais de son Fonds d'exploitation des infrastructures, lequel fournit directement du financement aux établissements qui en assure la gestion (FCI, 2013a). Ainsi, les fonds destinés au fonctionnement et à l'entretien des infrastructures proviennent de plus en plus de la FCI.



Source des données : calculé à l'aide de données fournies par la FCI, le CRSNG, le CRSH, les IRSC, la FCSCA et Génome Canada

Figure 2.7

Dépenses des organismes de financement en sciences de la mer, en dollars constants de 2012, exercices 2002–2003 à 2011–2012

Le graphique fait voir les montants dépensés par six organismes fédéraux de financement dans des projets en sciences de la mer, identifiés par des termes de recherche dans la base de données de chaque organisme. Les dépenses en capital varient plus que les autres postes de financement, en raison de la nature peu fréquente des investissements importants. Les coûts de *fonctionnement et d'entretien* des infrastructures ont accaparé une part relativement modeste du financement, à l'exception notable du fonds d'Initiatives scientifiques majeures attribué par la FCI au début de 2012. Le financement de la *recherche directe* (et de l'*excellence en recherche*) a atteint un sommet d'un peu plus de 60 M$ en 2008–2009, pour ensuite diminuer légèrement jusqu'en 2011–2012. En revanche, le financement des réseaux de recherche a fortement augmenté en 2011–2012 avec le début du MEOPAR des RCE et trois subventions de partenariat du CRSH. L'exercice 2012–2013 était en cours au moment de la rédaction du rapport. L'exercice débute le 1er avril et se termine le 31 mars de l'année suivante.

La plus grande partie du financement des sciences de la mer recensé a servi à soutenir directement la recherche, y compris les programmes d'excellence, les grands réseaux et les projets individuels (figure 2.7). Entre le quart et le tiers de ces fonds sont allés au soutien des réseaux de recherche, qui eux-mêmes appuient de nombreux chercheurs et leurs projets, jusqu'à un maximum de sept ans dans certains cas. Le montant consacré aux réseaux des sciences de la mer a augmenté en 2011–2012, tandis que les autres fonds de recherche continuaient à diminuer (figure 2.7). Cela correspond au lancement du MEOPAR/RCE et de trois subventions de partenariat du CRSH, et pourrait aussi signaler une transition vers l'attribution d'une plus grande part du financement des sciences de la mer aux réseaux plutôt qu'aux projets individuels.

Une telle transition pourrait aussi expliquer la baisse observée du nombre de chercheurs soutenus par ces organismes de financement (figure 2.2), si les chercheurs reçoivent du financement d'un réseau plutôt que directement d'un organisme de financement. Par contre, les tendances à long terme dans les possibilités de financement, les priorités et les installations disponibles peuvent également influencer les décisions des chercheurs quant à l'opportunité de demeurer engagés dans les sciences de la mer au Canada, de changer de domaine ou de déménager dans un autre pays.

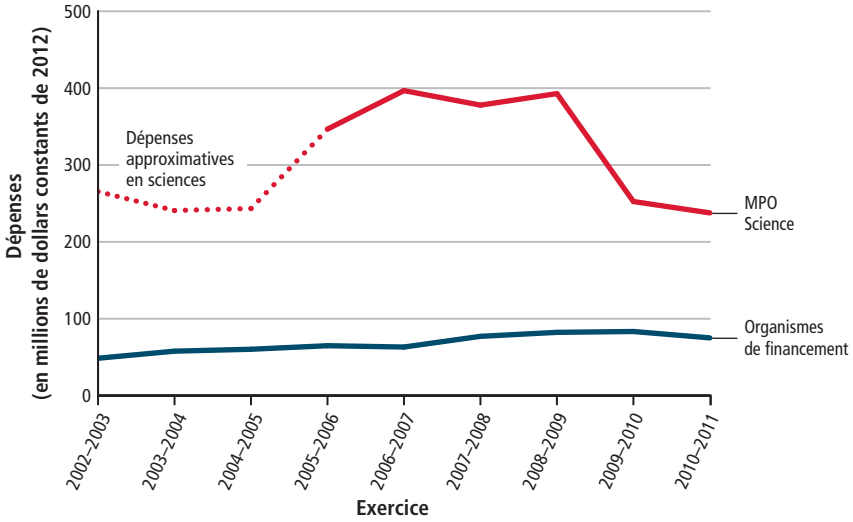
2.4.2 Dépenses du MPO en sciences de la mer

Les ministères sont une autre source importante de dépenses en sciences de la mer au Canada. Le MPO est le principal ministère fédéral responsable des questions touchant l'océan, mais ses responsabilités englobent également la pêche en eau douce et d'autres zones non-océaniques. Les autres ministères et organismes fédéraux ayant des activités scientifiques et autres liées à l'océan sont Environnement Canada, Ressources naturelles Canada, RDDC, le CNRC, Transports Canada, Santé Canada, l'Agence de santé publique du Canada, l'ACIA et l'Agence spatiale canadienne (voir le tableau A2 à l'appendice A). Beaucoup de ministères provinciaux et territoriaux ont aussi des responsabilités en lien avec l'océan, en particulier dans les régions côtières du Canada (voir la section 2.2.2).

Les rapports ministériels sur le rendement du MPO antérieurs à 2011 comprennent des postes budgétaires pour les dépenses en science, lesquels ont été utilisés comme mesure approximative de la dépense minimum pour les sciences de la mer au gouvernement fédéral. Ces postes budgétaires couvrent un large éventail d'activités scientifiques, incluant la collecte et la gestion de données, ainsi que des produits et services à l'appui de la navigation et de la gestion des océans. Les dépenses du MPO comprennent les salaires des chercheurs et du personnel de soutien technique. Dans les universités, les salaires de ces employés sont en grande partie payés par les établissements d'accueil soutenus par des transferts provinciaux et ne figurent pas dans la plupart des dépenses des organismes de financement présentées ci-dessus.

La façon de faire rapport sur les dépenses a changé en 2005 et inclut des postes budgétaires pour la « science » dans chacun des domaines stratégiques du MPO, lesquels ont été additionnées pour estimer les dépenses totales en science de 2005–2006 à 2010–2011. Les dépenses du MPO en science avant 2005 ont été estimées en combinant les postes budgétaires d'activités individuelles telles que « Hydrographie », « Science des Pêches et Océans » et d'autres. Les rapports sur les dépenses et les secteurs stratégiques du MPO ont changé à nouveau en 2011, de sorte qu'il est impossible de délimiter de manière fiable les dépenses en science pour faire une comparaison avec les années précédentes.

Les dépenses en sciences du MPO ont fluctué plus fortement que les dépenses des organismes de financement au cours de la période étudiée (figure 2.8). À l'instar de celles des organismes de financement, les dépenses scientifiques du MPO ont diminué depuis 2008–2009. Les dépenses totales du MPO sont passées de 1,5 milliard de dollars en 2002–2003 à 2,0 milliards de dollars en 2010–2011, tandis que les dépenses en science ont fluctué de façon indépendante, ce qui indique que les dépenses en science ne sont proportionnellement pas constantes par rapport au budget total du MPO (figure 2.9).



Source des données : MPO (2013f) et données fournies par le CRSNG, le CRSH, les IRSC, la FCSCA et Génome Canada

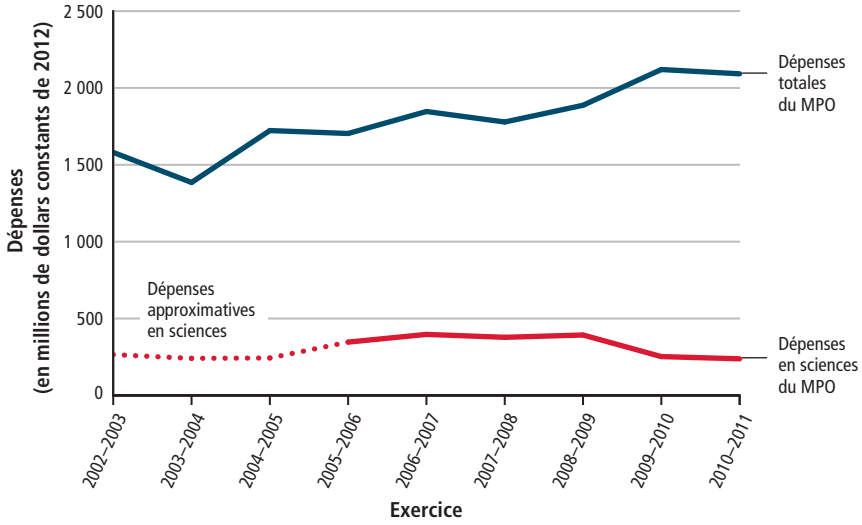
Figure 2.8

Dépenses du MPO en sciences et dépenses des organismes de financement en sciences de la mer, en dollars constants de 2012, exercices 2002–2003 à 2010–2011

Les dépenses des organismes de financement ne comprennent pas les subventions de la FCI, qui sont très variables (montants importants versés en une seule année). En incluant les subventions de la FCI, les dépenses totales des organismes de financement n'ont pas dépassé 150 M$ par an durant cette période. Les domaines stratégiques du MPO et les postes budgétaires ont changé en 2005–2006. Les dépenses en sciences durant les exercices 2002–2003 à 2004–2005 ont été calculées approximativement en combinant les postes budgétaires pour des activités en sciences similaires à celles utilisées de 2005–2006 à 2010–2011 (hydrographie et sciences des pêches et de la mer). Les dépenses du MPO en sciences comprennent une partie des dépenses consacrées à la rémunération des chercheurs et du personnel de soutien technique. La plupart des dépenses des organismes de financement n'incluent pas les salaires des professeurs et du personnel à temps plein des universités, qui sont en grande partie assumés par les établissements d'accueil. Le MPO est le ministère fédéral qui a la responsabilité première des questions liées aux océans, mais il n'est qu'un des nombreux organismes fédéraux œuvrant dans le domaine des sciences de la mer. L'exercice financier débute le 1er avril et se termine le 31 mars de l'année suivante.

Bien que les dépenses en sciences de la mer des organismes de financement semblent moins élevées que celles des ministères, les activités et les coûts diffèrent également. En plus de fournir des conseils scientifiques aux décideurs, les ministères sont responsables du fonctionnement des systèmes d'observation et de surveillance à grande échelle et de la gestion des données connexes pour les produits et services.

Les activités liées aux grandes infrastructures et à la surveillance sont généralement au-delà de la portée et des ressources des chercheurs universitaires, mais les réseaux et les consortiums permettent une mise en commun des ressources et engendrent des possibilités de développement de capacités nouvelles. Parmi les exemples d'infrastructures dirigées par des groupes d'universités, il y a le brise-glace de recherche *NGCC Amundsen* (voir l'encadré 4.6) et l'OTN.



Source des données : MPO, 2013f

Figure 2.9

Dépenses totales et dépenses consacrées aux sciences par le MPO, en dollars constants de 2012, exercices 2002–2003 à 2010–2011

Les domaines stratégiques du MPO et les postes budgétaires ont changé en 2005–2006, mais les dépenses totales en sciences ont été estimées approximativement en combinant les postes pour des activités similaires en sciences à celles utilisées de 2005–2006 à 2010–2011 (hydrographie et sciences des pêches et de la mer). L'évolution des dépenses du MPO en sciences ne semble pas liée à celle des dépenses totales. Par conséquent, les dépenses en sciences ne représentent pas une proportion constante des dépenses totales du MPO. Les exercices débutent le 1er avril et se terminent le 31 mars de l'année civile suivante.

2.5 LES POLITIQUES ET LA GOUVERNANCE

Le cadre stratégique pour les sciences de la mer au Canada est déterminé par une série de lois et de règlements fédéraux et provinciaux ainsi que par les accords internationaux dont le Canada est signataire. La Loi sur les océans, adoptée en 1997, forme l'assise de la gouvernance et de la science océaniques fédérales et elle désigne le MPO comme ministère responsable de l'intendance de l'océan au Canada. La Loi définit les principes de la gouvernance de l'océan et confie un mandat scientifique particulier au MPO, incluant la collecte de données, la recherche fondamentale et appliquée; les relevés; et la publication de données, de cartes, de rapports de recherche et d'autres documents. Une autre partie importante du mandat scientifique du MPO est la prestation de conseils scientifiques au gouvernement fédéral et à d'autres intervenants. Le MPO participe également au développement de technologies océaniques, à des projets de recherche en collaboration et à l'exploitation des navires, des instituts de recherche, des laboratoires et des autres installations servant à la recherche, aux relevés et à la surveillance. D'autres lois fédérales influent sur les sciences de la mer au Canada, notamment la *Loi sur les pêches*, la *Loi sur les aires marines de conservation*, la *Loi sur les espèces en péril*, la *Loi sur la protection de l'environnement*, la *Loi sur la quarantaine* et la *Loi sur la santé des animaux* (voir GC, 2010).

En 2002, le MPO a publié *La Stratégie sur les océans du Canada* afin de fournir un cadre politique et opérationnel pour la gestion intégrée de l'océan (MPO, 2002). La stratégie reconnaît le rôle de la collectivité de la science et de la recherche dans la gestion intégrée et recommande son engagement dans le processus de gouvernance. En 2005, le MPO a publié le *Plan d'action du Canada pour les océans,* qui présente des initiatives de mise en œuvre regroupées autour de quatre thèmes : le leadership international, la souveraineté et la sécurité; la gestion intégrée des océans pour le développement durable; la santé de l'océan; les sciences et technologies océaniques (MPO, 2005). Peu de temps après, le MPO a publié un cadre scientifique (MPO, 2008b) et un programme de recherche sur cinq ans décrivant les domaines prioritaires pour le programme de recherche du MPO (MPO, 2007). Cet exercice a été complété par un *Plan de recherche quinquennal* pour la période 2008–2013, qui présente les initiatives de recherche du MPO dans les principaux écosystèmes océaniques du Canada (MPO, 2008a).

Le Canada est signataire de plusieurs accords internationaux et régionaux qui influent sur la gouvernance des océans et créent des exigences précises touchant aux sciences de la mer ainsi que des possibilités de collaboration internationale. Ainsi, la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer (CNUDM) réglemente

les activités à l'extérieur de la zone économique exclusive (ZEE) des pays et a compétence sur le processus par lequel les pays définissent les limites extérieures de leur plateau continental, sur la base de données scientifiques. La Convention sur la diversité biologique s'applique à la biodiversité côtière et marine dans les ZEE et conseille la CNUDM sur les méthodes de protection de la biodiversité marine dans les eaux internationales. Le Comité des pêches de l'Organisation des Nations Unies pour l'agriculture et l'alimentation (FAO) est un important forum de collaboration internationale sur la science et la gouvernance des pêches et de l'aquaculture. La Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) établit les obligations en matière de surveillance et les besoins scientifiques, y compris les interactions océan-atmosphère et les effets du changement climatique sur les systèmes océaniques, tandis que le Panel intergouvernemental sur le changement climatique offre un important forum pour la collaboration et les échanges internationaux sur toute la recherche liée au climat. Parmi les autres accords internationaux axés sur la science, il y a notamment la Convention sur la conservation des espèces migratrices (CMS) et la Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction (CITES). Le Canada est également membre de plusieurs organisations régionales de gestion des pêches (ORGP), dont l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest (OPANO), l'Organisation pour la conservation du saumon de l'Atlantique Nord (OCSAN) et la Commission des poissons anadromes du Pacifique-Nord (CPAPN)[4]. Enfin, le Canada est un membre du Conseil de l'Arctique, qui fait la promotion du développement durable et de la protection de l'environnement dans l'Arctique, entre autres problématiques.

Ces accords internationaux et plusieurs autres constituent d'importants déterminants des sciences de la mer au Canada et offrent des forums de collaboration et de « diplomatie scientifique » définie comme étant le recours à la collaboration scientifique pour résoudre des problèmes communs et établir des partenariats internationaux (Dufour, 2012). Plusieurs des 40 questions de recherche portent directement ou indirectement sur des problématiques visées par ces accords internationaux. Alors que la participation du Canada à ces accords et son engagement connexe ne peuvent être considérés comme un élément de la capacité de recherche en tant que telle, ils fournissent une justification importante pour les investissements en sciences de la mer et un canal essentiel pour mobiliser la science au service de la collaboration et de la gouvernance internationale.

4 Pour plus d'information sur les accords dont le Canada est signataire et sur les accords de coopération bilatérale, voir le site http://www.dfo-mpo.gc.ca/international/dip-fra.htm.

2.6 CONCLUSION

Le domaine des sciences de la mer au Canada se caractérise par la présence de nombreux acteurs différents, dont des ministères, des universités, le secteur privé et des organisations de la société civile. Ces acteurs sont regroupés en grappes régionales sur la côte Est et la côte Ouest du Canada, avec également une capacité de recherche importante au centre du pays. Cette diversité permet aux organisations de se concentrer sur les priorités scientifiques aux niveaux régional et local et soutient l'émergence de grappes régionales spécialisées.

Bien que cette structure dispersée puisse constituer un obstacle à la collaboration et à la coordination, il existe de nombreux réseaux et autres arrangements qui aident à le surmonter. Les réseaux récents mettent l'accent sur le financement et l'accès aux grandes infrastructures physiques, ce qui semble être un modèle fructueux pour mobiliser les acteurs de tous les secteurs de la société. Cependant, aucun organisme ou structure d'ensemble n'agit comme pôle de leadership et d'orientation stratégique pour la collectivité des sciences de la mer au Canada. D'autres pays ont mis en place des structures temporaires ou permanentes pour coordonner les activités en sciences de la mer. Entre autres fonctions, ces organismes produisent des évaluations périodiques de l'état des sciences de la mer et dirigent l'élaboration d'une vision nationale du développement futur des sciences de la mer dans leur pays.

Le Canada dispose d'une flotte de recherche importante, mais vieillissante, dont la gestion et l'exploitation relèvent de la GCC. Une comparaison avec d'autres pays révèle que la gestion de l'accès au temps-navire par le biais d'un consortium scientifique appliquant des procédures d'accès normalisées et offrant un centre d'information sur la capacité et l'utilisation disponibles, peut contribuer à améliorer la transparence et l'efficacité de la gestion des navires de recherche. Les renseignements fournis par ces consortiums facilitent par ailleurs le partage international des infrastructures de recherche.

Les données disponibles sur le personnel hautement qualifié suggèrent que le nombre de diplômes de premier cycle et de cycles supérieurs décernés dans les disciplines directement liées aux sciences de la mer va en augmentant. De 2002 à 2008, le nombre de professeurs recevant du soutien de bailleurs de fonds a augmenté de plus de 30 à chaque année, mais il a diminué tout aussi rapidement par la suite jusqu'en 2011. La capacité humaine globale en sciences de la mer au Canada demeure inconnue parce que les données n'étaient pas disponibles pour tous les secteurs.

Les données des organismes subventionnaires fédéraux montrent une augmentation du financement direct de la recherche en sciences de la mer à partir de 2002–2003 à 2008–2009, suivie d'une baisse ces dernières années. Les données révèlent aussi plusieurs transitions dans le financement des sciences de la mer, notamment l'expansion récente du financement des réseaux et le fait que le financement du fonctionnement des infrastructures est assuré de plus en plus par la FCI plutôt que par le CRSNG.

3

Production et impact de la recherche en sciences de la mer au Canada

- Analyse bibliométrique
- Production et impact des sciences de la mer
- La collaboration
- Conclusion

3 Production et impact de la recherche en sciences de la mer au Canada

Principales constatations

- Le Canada se classe au 7e rang dans le monde pour le nombre d'articles publiés en sciences de la mer et 11e pour l'impact scientifique de ses publications, tel que mesuré par la moyenne des citations relatives.
- Les sciences de la mer au Canada ont progressé plus lentement que les autres domaines scientifiques entre 2003 et 2011, ce qui signifie que leur part de la production totale de la recherche au Canada a diminué au cours de la période.
- Bien que des organismes nationaux comme le MPO et Environnement Canada soient des pôles abondamment connectés, les collaborations au Canada sont généralement plus décentralisées, ressemblant à un réseau de grappes régionales.
- Les articles publiés en sciences de la mer avec des co-auteurs internationaux sont cités plus souvent que ceux publiés par des auteurs d'un même pays, en particulier dans le cas du Canada.

L'analyse bibliométrique est une méthode couramment employée pour comparer la production de publications d'entités telles que des pays, des organisations ou des particuliers (CAC, 2012b, 2012c). En tant que mesure de la production, les indicateurs bibliométriques offrent aussi une mesure indirecte de la capacité globale de recherche. Le présent chapitre donne un aperçu de la production des sciences de la mer au Canada par rapport aux autres principaux pays dans ce domaine, telle que mesurée par les indicateurs bibliométriques. Des analyses bibliométriques sont également utilisées pour décrire les profils de collaboration et la production des organisations au Canada.

3.1 ANALYSE BIBLIOMÉTRIQUE

Les données bibliométriques ont été compilées à partir des articles scientifiques revus par des pairs qui ont été indexés dans la base de données *Scopus* (Elsevier) et publiés entre 2003 et 2011[5]. Tous les articles publiés dans plus de 200 revues choisies en sciences de la mer ont été inclus, outre des articles parus dans d'autres revues scientifiques saisis à l'aide d'interrogations basées sur plus de 1 000 termes de recherche dans les titres, les mots clés, les auteurs et les résumés. Une approche similaire a été utilisée pour créer des sous-ensembles d'articles

5 La société canadienne Science-Metrix (Montréal, Qc) a fait les analyses bibliométriques présentées dans le rapport.

publiés en sciences de la mer sous chaque thème présenté au chapitre 4. Certains de ces articles peuvent être classés sous plus d'un thème, ce qui entraîne des chevauchements (ainsi, le thème de l'océan Arctique recoupe tout l'éventail des sciences de la mer).

Dans chaque ensemble d'articles scientifiques publiés sur l'océan, les principaux pays ont été comparés au niveau international, tandis que les organisations et les collaborations entre celles-ci ont été comparées au niveau canadien. Aucun autre indicateur n'a été calculé pour les entités comptant moins de 30 articles publiés afin de garantir des résultats fiables et utiles.

Les articles publiés par des co-auteurs provenant de plusieurs organisations ont été utilisés pour créer des réseaux de collaboration montrant les profils de co-rédaction parmi les organisations. Le comité d'experts reconnaît que la collaboration prend de nombreuses formes autres que la rédaction d'articles, notamment les conférences et réunions, le partage de données ou d'autres activités non saisies par les données bibliométriques. Des réseaux de collaboration ont été dessinés à l'aide d'un algorithme qui, généralement, attribue un positionnement plus rapproché aux organisations qui ont des liens de collaboration plus étroits. Les organisations liées par de nombreux articles publiés par des auteurs communs ont donc tendance à se regrouper dans un diagramme de réseau, tandis que celles qui collaborent avec de nombreuses autres organisations ont tendance à apparaître comme des « pôles » localisés près du centre du réseau.

3.1.1 Principaux indicateurs utilisés dans le rapport

Le nombre de publications désigne le nombre d'articles pour une entité donnée (pays ou organisation) obtenu en faisant un décompte complet. Chaque article est compté une fois pour chaque pays et organisme dont le nom figure dans le champ *adresse*. Aucune autre mesure n'a été calculée pour les pays ou les organisations comptant moins de 30 publications au cours de la période étudiée.

La moyenne des citations relatives (MCR) mesure l'impact scientifique observé de la recherche publiée par une entité, selon la moyenne du nombre de citations reçues par chacun de ses articles, par rapport au nombre moyen de citations reçues par l'ensemble des articles parus dans des revues du même genre dans le monde (articles de synthèse ou articles de recherche) publiés dans la même année et dans le même domaine. Les citations sont comptées dans l'année de publication et les deux années suivantes. Pour la plupart des articles scientifiques, le nombre de citations atteint un sommet entre trois et cinq ans (Moed *et al.*, 1985; REPP, 2005). En outre, le nombre total de citations après deux ans était un excellent indicateur du nombre de citations après neuf ans ($R^2 = 0,99$) pour

les articles en sciences de la mer publiés en 2003. Une fenêtre de trois ans saisit donc l'absorption à court terme et l'impact commun à la plupart des articles, normalisés pour tenir compte des différences dans les profils de citations.

- MCR > 1,0 signifie que la recherche de l'entité a été citée plus souvent que la moyenne mondiale.
- MCR < 1,0 signifie que la recherche de l'entité a été citée moins souvent que la moyenne mondiale.

L'indice de spécialisation (IS) mesure l'intensité de la recherche d'une entité dans un domaine donné par rapport à l'intensité mondiale dans le même domaine. Ainsi,

$$\text{IS} = \frac{\text{Pourcentage des articles publiés par une entité en sciences de la mer}}{\text{Pourcentage des articles publiés dans le monde en sciences de la mer}}$$

L'indice de croissance (IC) mesure la croissance de la production scientifique exprimée par le rapport entre la part de l'ensemble des articles d'une entité en sciences de la mer entre 2008 et 2011 (fin de la période étudiée) et la part des articles en sciences de la mer entre 2003 et 2006 (début de la période étudiée). Ainsi, si 5 % des articles d'un pays traitaient des sciences de la mer au cours de la première période et que la proportion a atteint 10 % au cours de la seconde période, cela se traduit par un IC de 2 (10/5 = 2) :

$$\text{IC} = \frac{\text{Pourcentage des articles d'une entité en sciences de la mer de 2008 à 2011}}{\text{Pourcentage des articles d'une entité en sciences de la mer de 2003 à 2006}}$$

3.1.2 Limites de l'analyse bibliométrique

Les indicateurs bibliométriques ne mesurent que les articles revus par des pairs et n'incluent pas d'autres formes de production de la recherche, qui peuvent ou non être examinées par des pairs, telles que les brevets, les conférences, les ouvrages ou les rapports de consultants. Étant donné que le genre de production varie en importance selon la discipline, cette limite peut être plus sérieuse en ingénierie, en sciences sociales, en sciences humaines et parmi les entreprises du secteur privé, où les produits de la recherche autres que les articles de revues évalués par des pairs sont plus fréquents (voir CAC, 2012b).

À titre d'exemple, le Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS) du MPO maintient une archive en ligne de plus de 6 000 rapports, comptes rendus et autres publications remontant à 1977 (MPO, 2012e). Parmi ceux-ci, 2 197 documents ont été publiés au cours de la période visée par la présente analyse bibliométrique (2003–2011), laquelle coïncide avec la période de transition au cours de laquelle la priorité est passée de la gestion des pêches à la gestion des écosystèmes dans la *Loi sur les océans* (MPO, 2008b, 2008a). Bien qu'elles ne soient

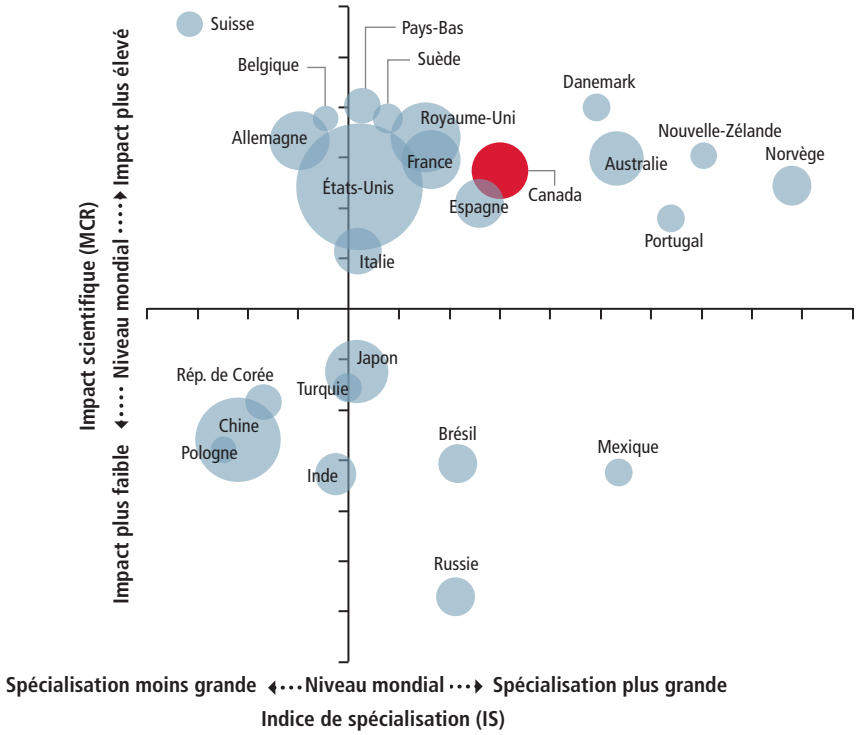
pas indexées dans la base de données *Scopus* employée pour construire l'ensemble de données bibliométriques destiné au présent rapport, les publications du SCCS représentent 7 % du nombre total de publications canadiennes en sciences de la mer analysées aux fins du présent rapport.

Les analyses bibliométriques sont fortement influencées par la base de données sur les publications qui est utilisée et la façon dont les publications sont classées. Les analyses présentées ici reposent sur la base de données *Scopus* qui a une plus grande couverture des revues en sciences humaines, en arts et en sciences sociales que la plupart des autres (CAC, 2012b). Néanmoins, *Scopus* n'indexe pas toutes les revues publiées au Canada et n'inclut que les articles comportant un résumé en anglais. Étant donné la nature pluridisciplinaire des sciences de la mer et le rôle de nombreuses disciplines qui englobent des activités scientifiques ne portant pas sur l'océan, la plupart des systèmes de classification existants peuvent ne pas représenter pleinement les sciences de la mer dans leur ensemble. Les analyses présentées ici classent plutôt les publications sous les thèmes de recherche employés dans le rapport (voir le chapitre 4).

Les indicateurs bibliométriques sont également sensibles à la période étudiée. Ainsi, le taux de citation utilisé dans plusieurs indicateurs a tendance à augmenter au fil du temps parce que les articles plus anciens ont tendance à être cités davantage que les articles récents. Les profils de citations peuvent aussi changer avec le temps dans un même domaine. Pour neutraliser ces différences, les indicateurs de citations sont normalisés en fonction du nombre moyen de citations pour les articles du même genre (articles de synthèse ou articles de recherche) publiés dans la même année et dans le même domaine de spécialisation. En outre, les changements récents dans la capacité ne sont pas saisis dans les analyses bibliométriques parce qu'il peut s'écouler un certain temps avant qu'ils ne se traduisent en changements dans la production de la recherche et puissent alors être mesurés. Ainsi, les investissements majeurs récents en infrastructure et dans les réseaux de recherche peuvent avoir un effet sur les profils de collaboration au niveau national, soit de façon générale, soit pour des thèmes de recherche particuliers, dans les années à venir.

3.2 PRODUCTION ET IMPACT DES SCIENCES DE LA MER

Cette analyse considère qu'un article est canadien si au moins un des auteurs est affilié à une organisation ayant une adresse postale au Canada : cela n'inclut pas les auteurs canadiens publiant des articles alors qu'ils sont affiliés à des organisations établies à l'extérieur du pays, par exemple la FAO. Sur les 520 000 articles en sciences de la mer inscrits dans la base de données pour la période 2003–2011, 5,6 % (29 162) comprennent au moins un auteur canadien. Cela fait du Canada le septième pays en importance pour la production en sciences de la mer (voir la figure 3.1).



Source des données : calculé par Science-Metrix en utilisant la base de données *Scopus* (Elsevier)

Figure 3.1

Classement des 25 principaux pays selon la production en sciences de la mer, de 2003 à 2011

La taille de la bulle est proportionnelle au nombre de publications du pays durant la période étudiée. Le Canada, surligné en rouge, est un pays relativement spécialisé (IS = 1,36) et ayant un impact élevé (MCR = 1,33) (quadrant supérieur droit).

Note : Les valeurs de la MCR et de l'IS ont été exprimées en logarithmes pour faciliter la visualisation.

L'impact scientifique moyen du Canada (mesuré par la MCR) est semblable à celui de la France ou de l'Australie et légèrement supérieur à celui des États-Unis, de la Norvège et de l'Espagne. Le Canada se classe 11e rang dans le monde pour l'impact scientifique (MCR = 1,33), derrière la Nouvelle-Zélande et plusieurs pays européens : la Suisse, les Pays-Bas, le Danemark, la Belgique, la Suède, l'Allemagne et le Royaume-Uni (figure 3.1). L'impact scientifique de la Suisse est élevé également dans de nombreux domaines des sciences de la mer (voir Picard-Aitken *et al.*, 2009) en raison de la publication de quelques articles ayant un impact très élevé. Comme on pouvait s'y attendre d'un pays sans accès direct à la mer, l'indice de spécialisation de la Suisse est peu élevé (0,72). L'impact moyen

élevé de la Suisse s'explique par un niveau général d'excellence scientifique (ce pays arrive premier au classement pour l'ensemble de la base de données *Scopus*) et un taux élevé de la collaboration internationale (voir CAC, 2012b).

Le Canada est relativement spécialisé dans les sciences de la mer (IS = 1,36), ce qui témoigne d'une proportion plus élevée d'articles canadiens que la moyenne mondiale. Cependant, le Canada n'est pas aussi spécialisé en sciences de la mer que d'autres pays côtiers comme la Norvège, la Nouvelle-Zélande, le Portugal, l'Australie et le Danemark (voir la figure 3.1).

L'indice de croissance du Canada pour les sciences de la mer (0,91) est inférieur à 1,0; cela signifie que, même si le nombre d'articles publiés dans ce domaine par des auteurs canadiens est en hausse, la proportion des publications canadiennes en sciences de la mer diminue parce que le nombre d'articles publiés dans d'autres domaines augmente plus rapidement. De plus, le Canada a l'indice de croissance le plus faible parmi les 25 principaux pays, ce qui veut dire que cette proportion diminue plus rapidement au Canada que dans ces pays.

Même si les sciences de la mer continuent de prendre de l'expansion, leur croissance est légèrement inférieure à la moyenne des autres domaines représentés dans la base de données *Scopus* (IC = 0,99). Seulement 4 des 25 principaux pays qui publient dans ce domaine affichent une croissance supérieure à la moyenne mondiale : la Suisse (1,16), la République de Corée (1,15), la Pologne (1,09) et la Chine (1,09). Pour de nombreux pays du peloton de tête comme les États-Unis et le Canada, la capacité en sciences de la mer est déjà considérable et elle croît plus lentement que dans ces pays en expansion rapide, qui peuvent avoir relativement une plus grande possibilité de croissance (voir CAC, 2012b). Bien que l'effet net soit une baisse de la part des articles mondiaux en sciences de la mer détenue par les pays établis, cela signifie aussi un plus grand nombre de partenaires de collaboration potentiels et une augmentation de l'activité en sciences de la mer dans l'ensemble du monde.

3.3 LA COLLABORATION

La nature multi-échelle et multidisciplinaire des sciences de la mer incite à penser que la collaboration est importante pour conserver un leadership dans ce domaine. Néanmoins, la collaboration à elle seule ne garantit pas qu'il y ait de la recherche interdisciplinaire et ne constitue pas un substitut approprié pour l'expertise locale. Les sciences de la mer peuvent profiter de tout un éventail de collaborations : certaines cibleront principalement des préoccupations locales, tandis que la collaboration nationale et internationale permettra de partager davantage de connaissances et de mettre en commun des ressources pour élucider

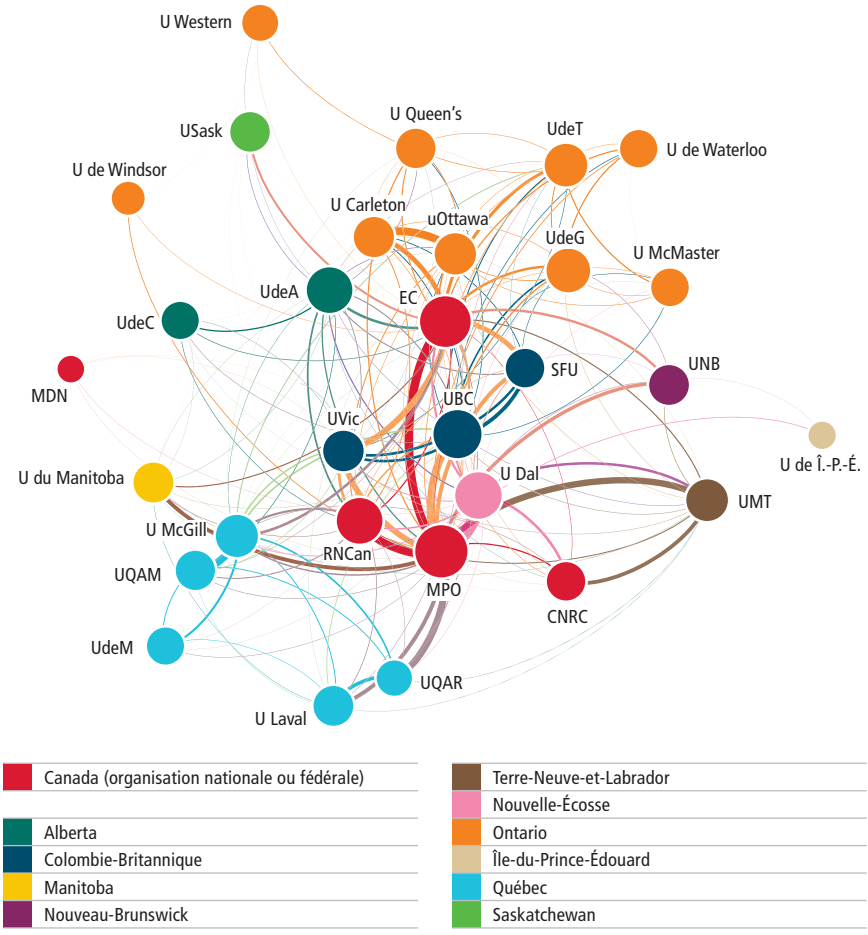
des questions de recherche de plus grande envergure. Compte tenu du littoral étendu du Canada, qui s'étend le long de trois grands bassins océaniques, les collaborateurs internationaux travaillant sur le même bassin océanique peuvent être plus rapprochés que d'autres chercheurs canadiens et peuvent aussi avoir une expertise plus pertinente.

3.3.1 La collaboration au Canada

La figure 3.2 montre le réseau de collaborations en sciences de la mer au Canada. Chaque nodule représente une organisation, tandis que le nombre d'articles publiés par des auteurs affiliés à plusieurs organisations est représenté par les lignes reliant les organisations (une ligne épaisse correspond à un plus grand nombre d'articles co-rédigés). Les organisations sont disposées dans le graphique de telle manière que celles qui collaborent davantage entre elles sont plus rapprochées, tandis que celles qui collaborent moins sont plus éloignées. Le graphique montre que la plupart des organisations collaborent fréquemment avec des partenaires multiples, ce qui indique que les sciences de la mer au Canada sont bien intégrées. Les organisations établies dans la même région apparaissent comme des groupes liés par des niveaux élevés de co-rédaction, ce qui souligne le fait que la proximité physique facilite la collaboration. La structure globale peut être décrite comme un réseau de grappes régionales. Les organisations ontariennes (dans le coin supérieur droit) et les organisations québécoises (dans le coin inférieur gauche) forment d'importants groupements régionaux. Environnement Canada (plus près des organisations ontariennes) et RNCan et le MPO (plus près des organisations du Québec) agissent comme pôles centraux.

La plupart des organismes du gouvernement fédéral apparaissent au centre du réseau, ce qui indique qu'ils interviennent comme partenaires de nombreuses organisations canadiennes. De même, la localisation de l'Université de la Colombie-Britannique, de l'Université de Victoria, de l'Université Dalhousie et de l'Université Simon Fraser au cœur du réseau suppose que ces universités collaborent avec plusieurs autres organisations partout au Canada, même si le nombre total de collaborations peut être inférieur à celui des ministères.

S'il est important de compter sur l'apport de multiples disciplines en sciences de la mer, une analyse des articles publiés dans ce domaine pourrait être influencée principalement par les tendances dans les disciplines ayant des taux de publication plus élevés. Étant donné que les sciences sociales et humaines pourraient être sous-représentées dans les données bibliométriques par rapport aux autres disciplines, une analyse distincte des organisations canadiennes a été effectuée pour les articles en sciences de la mer publiés dans des revues de sciences sociales, en se fondant sur le système de classification de Science-Metrix (voir CAC, 2012b).



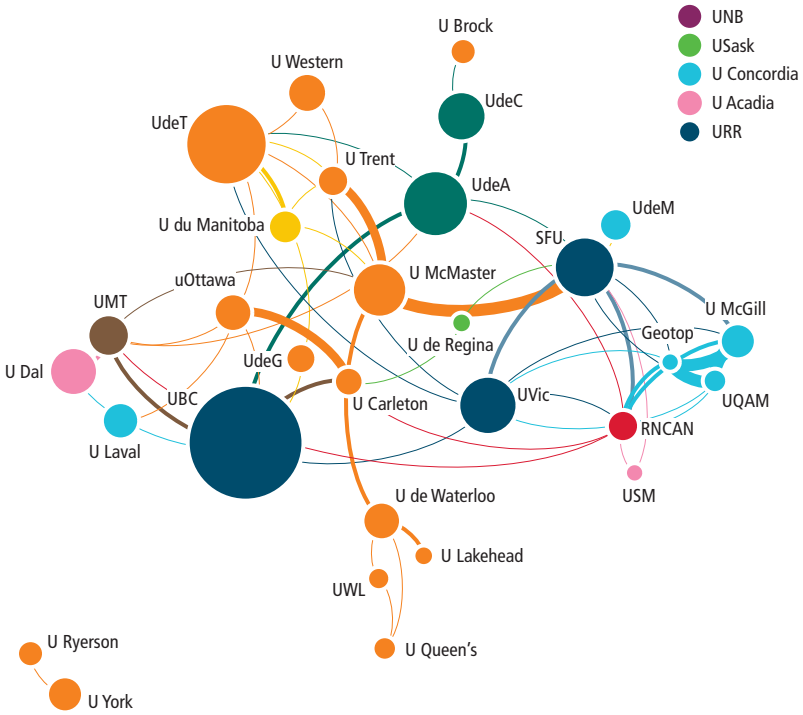
Source des données : calculé par Science-Metrix en utilisant la base de données *Scopus* (Elsevier)

Figure 3.2

Réseau de collaboration des 30 principales organisations canadiennes publiant en sciences de la mer, de 2003 à 2011

La taille des nodules est proportionnelle au nombre de publications en sciences de la mer, tandis que l'épaisseur des lignes est proportionnelle au nombre de collaborations (co-rédaction d'études). La collaboration entre les organisations canadiennes œuvrant en sciences de la mer est relativement dispersée, les organismes fédéraux et les grandes universités agissant comme pôles centraux. Le MPO et Environnement Canada font voir des niveaux de collaboration élevés entre eux et avec les universités partout au pays, en partie à cause de leur structure décentralisée. Les grappes régionales d'organisations semblent indiquer que la tendance naturelle à la collaboration augmente avec la proximité.

Note : Seuls les liens représentant dix collaborations ou plus entre des établissements sont affichés pour rendre la figure plus lisible.



Canada (organisation nationale ou fédérale)	Terre-Neuve-et-Labrador
	Nouvelle-Écosse
Alberta	Ontario
Colombie-Britannique	Île-du-Prince-Édouard
Manitoba	Québec
Nouveau-Brunswick	Saskatchewan

Source des données : calculé par Science-Metrix en utilisant la base de données *Scopus* (Elsevier)

Figure 3.3

Réseau de collaboration des organisations canadiennes publiant des travaux en sciences sociales liés aux sciences de la mer, de 2003 à 2011

Le graphique indique que la plupart des travaux publiés en sciences sociales liés aux sciences de la mer au Canada proviennent des universités plutôt que d'autres organisations. La faible densité de la collaboration et le petit nombre de textes publiés (moins de 750) soulignent le fait que de nombreux travaux en sciences sociales au Canada pourraient ne pas avoir été saisis dans les données bibliométriques utilisées aux fins de cette analyse.

Note : Tous les liens sont affichés dans le réseau. L'épaisseur du lien varie entre cinq collaborations (plus large) et une (plus fine). La taille des nodules varie de 81 documents (le plus élevé) à 6 (le moins élevé).

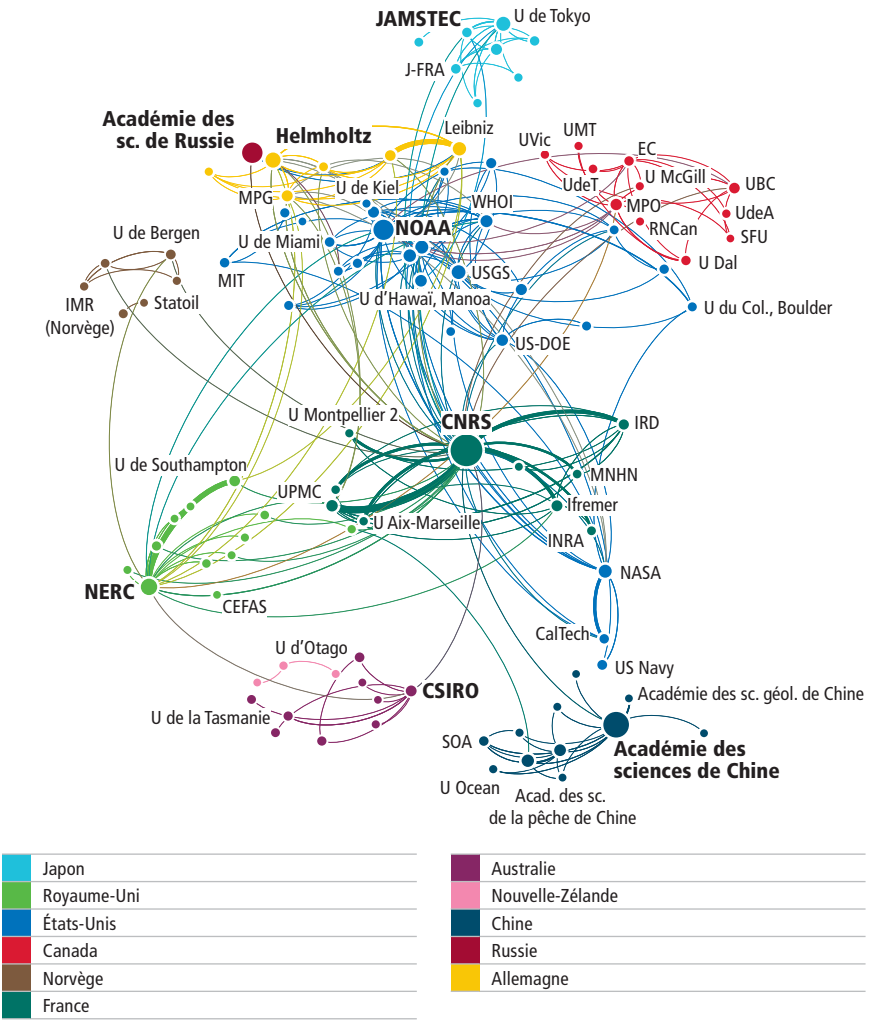
Cette approche a fait ressortir la très faible proportion d'articles en sciences sociales dans l'ensemble de données bibliométriques : 729 sur un total de 29 162 articles canadiens (2,5 %), et le pourcentage est aussi faible au niveau mondial. Cela concorde avec la variété des produits de la recherche dans ces domaines qui, en plus des articles publiés dans des revues soumises à l'examen des pairs, englobent des ouvrages, des rapports et des activités de mobilisation des connaissances. Par conséquent, les indicateurs bibliométriques utilisés dans ce rapport reflètent plus souvent d'autres domaines des sciences de la mer ayant des taux plus élevés de publication dans des revues et un plus grand nombre d'auteurs par publication.

Les principaux producteurs d'articles publiés dans des revues canadiennes en sciences sociales qui figurent dans la base de données sont notamment les universités qui ont une production de publications relativement élevée, comme l'Université de Toronto, l'Université de la Colombie-Britannique et l'Université de l'Alberta (figure 3.3). RNCan est le seul organisme fédéral comptant des articles de revues en sciences sociales dans la base de données. Selon cette analyse, la plupart des articles en sciences sociales traitant des sciences de la mer au Canada sont produits dans les universités. Des réseaux régionaux ayant des taux élevés de collaboration locale ressortent aussi clairement à Ottawa (Université d'Ottawa et Université Carleton) et à Montréal (Université McGill, Université du Québec à Montréal et Geotop).

3.3.2 La collaboration internationale

Une figure montrant un réseau international de collaborations parmi 200 organisations de premier plan a aussi été élaborée dans le cadre de cette analyse, mais elle n'a pas été reproduite en entier dans ce chapitre en raison de sa taille et de son niveau de détail (voir le réseau de collaboration complet à l'appendice B). La figure 3.4 renferme une version simplifiée de ce réseau, dans laquelle les principaux profils restent évidents, avec des grappes d'organisations qui émergent, principalement au niveau des pays et des régions. Une grappe européenne domine le centre du réseau, reliant une importante grappe d'organisations des États-Unis avec une grappe chinoise et de la région de l'Océanie. Une grappe d'organisations canadiennes est étroitement liée à la grappe des États-Unis, en raison de taux de collaboration élevés.

De nombreuses grappes se forment autour d'une grande organisation nationale, au cœur de chaque réseau national, qui agit comme un pôle régional et international majeur. C'est le cas notamment de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) aux États-Unis, du Centre national de la recherche scientifique (CNRS) en France, du Natural Environment Research Council (NERC) au Royaume-Uni et de l'Académie des sciences de Chine. Le Canada ne possède pas un tel réseau de collaboration nationale organisé autour d'une grande organisation; il a plutôt une collectivité de la recherche plus décentralisée, axée sur la collaboration, qui regroupe de multiples organisations de taille relativement



Source des données : calculé par Science-Metrix en utilisant la base de données *Scopus* (Elsevier)

Figure 3.4

Réseau de collaboration internationale des principales organisations publiant en sciences de la mer, de 2003 à 2011

La taille des nodules est proportionnelle au nombre de publications en sciences de la mer, tandis que l'épaisseur des lignes est proportionnelle au nombre de collaborations (co-rédaction d'études). Les nodules sont disposés à l'aide d'un algorithme où les nodules liés s'attirent mutuellement, tandis que les nodules non liés se repoussent mutuellement. Il s'agit d'une version simplifiée du réseau complet de collaboration entre les 200 principales organisations en sciences de la mer dans le monde (la version complète est disponible à l'appendice B). Certains organismes et liens de collaboration ont été choisis afin de faire ressortir des modes de collaboration et non nécessairement les meilleures organisations publiant dans ce domaine.

Note : Les liens ne représentant que quelques collaborations ont été supprimés pour rendre la figure plus lisible.

restreinte. Même si certaines organisations comme le MPO constituent des centres de collaboration importants au Canada, ils ne dominent pas les collaborations internationales du Canada. Les indicateurs de réseau montrent que l'Université de la Colombie-Britannique et l'Université Dalhousie ont collaboré davantage en sciences de la mer sur le plan international que d'autres organisations canadiennes, y compris le MPO (voir l'appendice B).

Les articles en sciences de la mer publiés par des co-auteurs internationaux ont tendance à avoir un plus grand impact, tel que mesuré par la MCR (gain moyen de 0,45), comparativement aux articles dont les auteurs sont originaires du même pays (voir l'appendice B). Cela est notamment vrai au Canada, où les articles comptant des collaborateurs internationaux ont une MCR de 1,57, contre 1,06 pour ceux ayant seulement des auteurs canadiens (gain de 0,51).

De 2003 à 2011, les chercheurs canadiens ont le plus souvent collaboré avec des chercheurs des États-Unis, suivis du Royaume-Uni, de la France, de l'Allemagne, de l'Australie et de la Chine. Dans plusieurs de ces pays les chercheurs ont également une production de publications importante en sciences de la mer, de sorte que l'on peut s'attendre à des niveaux de collaboration élevés. Sur la foi des taux de publication, le Canada a collaboré plus que prévu avec certains pays, dont la Nouvelle-Zélande, les États-Unis, la Chine et plusieurs autres pays avancés (voir l'appendice B); mais il a collaboré moins que prévu avec les Pays-Bas, la Russie, l'Allemagne et la Pologne.

3.4 CONCLUSION

L'analyse de la recherche publiée dans des revues évaluées par les pairs présentée dans ce chapitre montre que le Canada est en bonne position parmi les principaux pays en sciences de la mer, se classant au 7e rang pour la production et au 11e rang pour l'impact. Cependant, cette analyse révèle aussi que les sciences de la mer au Canada ont l'indice de croissance le plus faible parmi les 25 pays du groupe de tête. Cela signifie que la production en sciences de la mer au Canada progresse à un taux inférieur à celui d'autres disciplines scientifiques au Canada. L'analyse de la collaboration fait ressortir l'importance des ministères fédéraux dans la production de la recherche et la collaboration au niveau national. En raison de leurs structures décentralisées, le MPO, RNCan, Environnement Canada et le CNRC sont des pôles de collaboration importants, en particulier avec les universités. Cependant, au niveau international, les ministères fédéraux figurent côte-à-côte avec plusieurs partenaires canadiens, dont l'Université Dalhousie et l'Université de la Colombie-Britannique. Cela contraste avec la situation observée dans de nombreux autres pays, où un seul organisme joue un rôle dominant et fonctionne comme principale plaque tournante de la collaboration internationale.

Le chapitre 4 présente d'autres résultats tirés de l'analyse bibliométrique par thème de recherche qui mettent en évidence les forces comparatives et les « principaux acteurs », sur la base des travaux publiés dans des revues scientifiques évaluées par les pairs.

4

Possibilités et défis pour les sciences de la mer au Canada

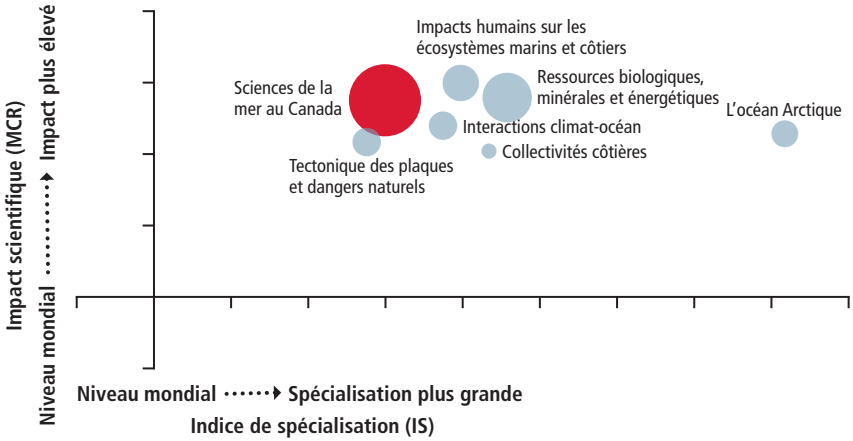
- Interactions océan-climat
- Les ressources biologiques, minérales et énergétiques
- Les impacts humains sur les écosystèmes marins et côtiers
- La tectonique des plaques et les dangers naturels
- Les collectivités côtières
- L'océan Arctique

4 Possibilités et défis pour les sciences de la mer au Canada

Principales constatations

- L'échelle des recherches liées aux interactions océan-climat pose de nombreux défis pour l'observation et la surveillance, mais il existe des occasions de collaboration et de partage du savoir dans la modélisation de ces interactions.
- Le Canada a acquis une importante capacité de recherche sur les ressources marines, biologiques, minérales et énergétiques, ainsi qu'une capacité croissante dans des domaines émergents comme la génomique et les biotechnologies marines.
- Historiquement, la recherche entourant les impacts des activités humaines sur les écosystèmes marins et côtiers a été un point fort au Canada, mais la capacité de recherche sur les contaminants connus et nouveaux pourrait être en déclin.
- En dépit des investissements majeurs faits récemment dans l'observatoire de l'ONC et le MEOPAR RCE pour appuyer la recherche sur la tectonique des plaques et les risques naturels, il subsiste des défis importants au niveau de la couverture des données dans l'océan Arctique.
- Bien que le Canada affiche l'un des plus forts taux de croissance pour les publications de recherche sur les collectivités côtières, la recherche pourrait progresser encore davantage si l'on améliorait la capacité de collaboration interdisciplinaire et de gestion des données.
- La recherche sur l'océan Arctique est une priorité claire pour le Canada, comme il ressort des formules de collaboration élaborées par les chercheurs pour partager les coûts de construction et d'entretien des infrastructures spécialisées.

Le présent chapitre traite de la capacité actuelle du Canada sous six thèmes de recherche regroupant les questions qui reflètent les méthodes et les approches établies en sciences de la mer parmi les 40 questions de recherche qui guident ce rapport. Pour donner un aperçu des capacités pertinentes à chaque thème, le comité d'experts a d'abord examiné des indicateurs bibliométriques, puis il a utilisé des données supplémentaires pour rendre compte des caractéristiques et des tendances observées. Chaque section traite de la capacité requise pour répondre aux questions de recherche liées à un thème et évalue les capacités existantes. Cette évaluation est suivie d'une analyse des occasions suscitées par les points forts du côté de la production ou les investissements passés et actuels dans la capacité, ainsi que des défis posés par les écarts de capacité, les difficultés d'accès à la capacité existante ou les lacunes au niveau de l'expertise.



Source des données : calculé par Science-Metrix en utilisant la base de données *Scopus* (Elsevier)

Figure 4.1

Position du Canada par rapport à la moyenne mondiale, par thème des sciences de la mer, de 2003 à 2011

La taille de la bulle est proportionnelle au nombre de publications canadiennes parues sous ce thème de recherche de 2003 à 2011. L'impact scientifique et le niveau de spécialisation du Canada sont supérieurs à la moyenne mondiale pour tous les thèmes et pour l'ensemble des sciences de la mer. Le Canada est le plus spécialisé dans la recherche sur l'océan Arctique. Le plus grand impact scientifique du Canada se manifeste dans les impacts humains sur les écosystèmes marins et côtiers, et les ressources biologiques, minérales et énergétiques, qui sont des points forts bien établis.
Note : Les valeurs de la MCR et de l'IS ont été exprimées en logarithmes pour faciliter la visualisation.

Le développement technologique continu et l'interdépendance des catégories de capacité compliquent la prévision des besoins de la recherche dans certains domaines. Les questions de recherche dans ces domaines émergents ou les problématiques complexes dont les besoins de recherche demeurent imprécis font l'objet d'une analyse sous les trois thèmes décrits au chapitre 5.

Les analyses révèlent d'importants écarts dans la performance relative du Canada d'un thème à l'autre, et dans la taille et la croissance de ces six thèmes à travers le monde (tableau 4.1). D'un côté, la production de la recherche au Canada est abondante et a d'importants impacts pour ce qui est des ressources biologiques, minérales et énergétiques et des impacts humains sur les écosystèmes marins et côtiers, des domaines où le Canada a acquis une réputation de leadership et d'excellence, notamment en recherche halieutique et dans les champs connexes (CAC, 2012b). De l'autre, les résultats de la recherche menée dans les collectivités côtières sont modestes relativement à d'autres thèmes, mais ils progressent rapidement, ce qui évoque l'émergence d'un important domaine de recherche au Canada et dans le monde. Mis à part ce thème, les sciences de la

mer connaissent généralement une croissance plus lente que les autres secteurs de la recherche au Canada, avec un indice de croissance qui se situe parmi les plus bas chez les principaux pays pour la plupart des thèmes.

Le Canada se classe généralement parmi les 10 principaux pays pour la production de la recherche, mais il occupe un rang légèrement inférieur pour l'impact scientifique (tableau 4.1). L'impact de la recherche canadienne surpasse la moyenne mondiale dans les six thèmes de recherche, mais il est plus élevé pour les impacts humains sur les écosystèmes marins et côtiers. Le Canada est relativement spécialisé dans tous les thèmes, mais plus particulièrement en recherche sur l'océan Arctique (figure 4.1), où il n'est devancé que par les États-Unis pour la production de la recherche (tableau 4.1).

4.1 INTERACTIONS OCÉAN-CLIMAT

De nombreuses questions de recherche laissent à penser que le changement climatique sera un sujet de premier plan en sciences de la mer au cours des 10 à 15 prochaines années (Valdès *et al.*, 2010). Le climat et l'océan sont interdépendants et intimement liés par de nombreux processus complexes. L'océan absorbe environ 25 % des émissions de carbone produites par l'homme (Rockstrom *et al.*, 2009), et jusqu'à maintenant, il a absorbé 80 % de la chaleur ajoutée au système climatique par le changement climatique d'origine anthropique (GIEC, 2007). Il est donc essentiel de bien comprendre la relation entre l'océan et l'atmosphère pour faire progresser notre capacité de modélisation et de prévision du climat, prédire les effets du changement climatique et élaborer des stratégies d'adaptation appropriées. Ces défis sont abordés au Canada par des activités d'observation et de modélisation visant à mieux comprendre les interactions océan-climat passées, actuelles et futures, et par des travaux de recherche sur les répercussions plus vastes du changement climatique sur les écosystèmes marins, les côtes et les sociétés.

Plusieurs des questions de recherche regroupées sous cette thématique vont au-delà de l'observation, de la surveillance et de la modélisation, ce qui soulève des questions sur le cycle biochimique (Q6, Q20), les effets du changement du niveau de la mer (Q10, Q15) ou le rôle potentiel de l'océan dans l'atténuation du changement climatique (Q9). La recherche consacrée à la plupart de ces questions profite de la capacité globale d'échantillonnage et d'observation de l'océan décrite à la section 2.3. Les questions de recherche abordant les effets du changement climatique sur les systèmes océaniques figurent aussi sous le thème des impacts des activités humaines sur les écosystèmes marins et côtiers (section 4.3), tandis que les questions traitant des impacts sur les collectivités côtières figurent aussi sous le thème des collectivités côtières (section 4.5).

Tableau 4.1

Principaux indicateurs bibliométriques de la production canadienne en sciences de la mer par thème de recherche, de 2003 à 2011

Indicateur / Thème	Sciences de la mer	Interactions océan-climat	Ressources biologiques, minérales et énergétiques	Impacts humains sur les écosystèmes marins et côtiers	Tectonique des plaques et dangers naturels	Collectivités côtières	L'océan Arctique
Publications mondiales	520 734	74 541	204 413	118 739	83 305	19 583	31 261
Publications canadiennes	29 162	4 544	13 782	7 437	4 546	1 282	4 056
Part des publications mondiales détenue par le Canada (%)	5,6	6,1	6,7	6,3	5,5	6,5	13,0
Rang du Canada, selon le nombre de publications*	7	7	4	4	8	5	2
Spécialisation (IS) des publications canadiennes	1,36	1,48	1,64	1,52	1,33	1,59	3,15
Impact (MCR) des publications canadiennes	1,33	1,28	1,33	1,36	1,25	1,23	1,26
Rang du Canada, selon la MCR*	11	12	11	8	11	14	13
Croissance mondiale (IC)	0,99	0,97	1,06	1,03	0,99	1,22	0,91
Croissance au Canada (IC)	0,91	0,96	0,94	0,95	0,90	1,14	0,95
Rang du Canada, selon l'IC*	25	20	25	22	23	22	16

Source des données : calculé par Science-Metrix en utilisant la base de données *Scopus* (Elsevier)

* Pour chaque indicateur, le rang du Canada est fondé sur les scores obtenus par rapport aux 25 pays ayant le plus grand nombre de publications en sciences de la mer (y compris le Canada).

Principales questions de recherche liées aux interactions océan-climat

Les questions suivantes sont numérotées et classées dans l'ordre où elles se présentent dans *Les 40 questions prioritaires pour la recherche canadienne en sciences de la mer* (CAC, 2012a) :

Q2. Quelle est l'incidence du changement climatique sur les cycles biogéochimiques (le carbone, les éléments nutritifs, les éléments essentiels, les contaminants) dans l'océan Arctique et quels en sont les effets de rétroaction et d'interaction pour le système océanique mondial?

Q3. Comment est-ce que l'interaction océan-glace-atmosphère dans l'océan Arctique et les mers environnantes va-t-elle toucher et sera elle-même touchée par les changements climatiques et comment la productivité, la biodiversité et les services des écosystèmes benthiques, pélagiques et de glace de mer de l'Arctique en seront-ils influencés?

Q4. Comment l'océan, la terre et le fond océanique continental interagissent-ils dans l'Arctique? Comment les interactions évolueront-elles sous l'effet du changement climatique? Quelles régions sont à risque d'être touchées par l'érosion, les inondations, la déstabilisation des infrastructures, le dégel du pergélisol ou la sublimation des hydrates de gaz?

Q5. Quels sont l'étendue spatiale, la fréquence et les dangers associés aux risques marins qui confrontent les eaux côtières canadiennes (par exemple les glissements de terrain causés par les hydrates, les tsunamis, les séismes et les événements météorologiques extrêmes) et quels sont les éléments qui permettront de mieux prévoir ces risques dans le contexte du changement climatique et des changements dans les populations et les infrastructures côtières?

Q6. Comment les flux biogéochimiques planétaires — entre la surface des océans, les eaux intérieures et le fond océanique (par exemple, le transport du carbone et de l'azote) — influent-ils sur le système océanique, comment réagissent-ils au changement climatique et comment sont-ils documentés dans les sédiments accumulés?

Q7. Comment les océans fonctionnaient-ils dans le climats passés et comment les archives paléo-océanographiques peuvent-elles être utilisées pour prédire l'état futur du système océan-atmosphère?

suite à la page suivante

Q8. Comment le changement climatique influe-t-il sur l'amplitude et la configuration spatiale de l'échange atmosphère-océan-fond océanique des gaz à effet de serre (le méthane et le dioxyde de carbone par exemple) et des aérosols?

Q9. Quels mécanismes naturels de l'océan et du fond océanique (par exemple, la séquestration du CO_2) pourraient atténuer le changement climatique et quels risques la manipulation (par exemple la modification de l'albédo, la fertilisation des océans) de ces mécanismes pose-t-elle?

Q10. Comment le niveau de la mer changera-t-il au cours du prochain siècle considérant les différents facteurs en présence (fonte des glaciers continentaux et de la nappe glaciaire, expansion de l'eau de mer, circulation régionale, soulèvements géologiques et champ de gravitation) et quelles en seront les incidences sur les écosystèmes côtiers et plus largement sur les sociétés humaines à l'échelle mondiale et régionale?

Q15. Quelles incidences le changement climatique et l'acidification des océans auront-ils sur les écosystèmes et la biodiversité de l'océan, la gestion des ressources ainsi que sur les collectivités côtières?

Q20. Quelles observations sont requises pour surveiller et comprendre les processus qui influent sur la circulation des eaux profondes, tels que la circulation méridienne de retournement (CMR) dans l'Atlantique Nord, la ventilation du Pacifique Nord, les flux d'eau douce quittant l'océan Atlantique et la circulation thermohaline dans l'océan Austral?

Q21. Quelles sont les tendances à long terme dans la distribution tridimensionnelle des principales variables océanographiques (température, biomasse, saturation en oxygène, salinité, système carbonique, variation du niveau de la mer, courants, etc.) dans les océans du monde? Où et comment doit-on mesurer ces variables pour établir les tendances à long terme?

Q22. Comment mettre à profit les observations météorologiques et océanographiques et le développement d'une assimilation opérationnelle couplée atmosphère-glace-océan et de la capacité de prévision afin d'améliorer la prévision des changements liés au climat et aux écosystèmes marins?

4.1.1 Fruits de la recherche et collaboration

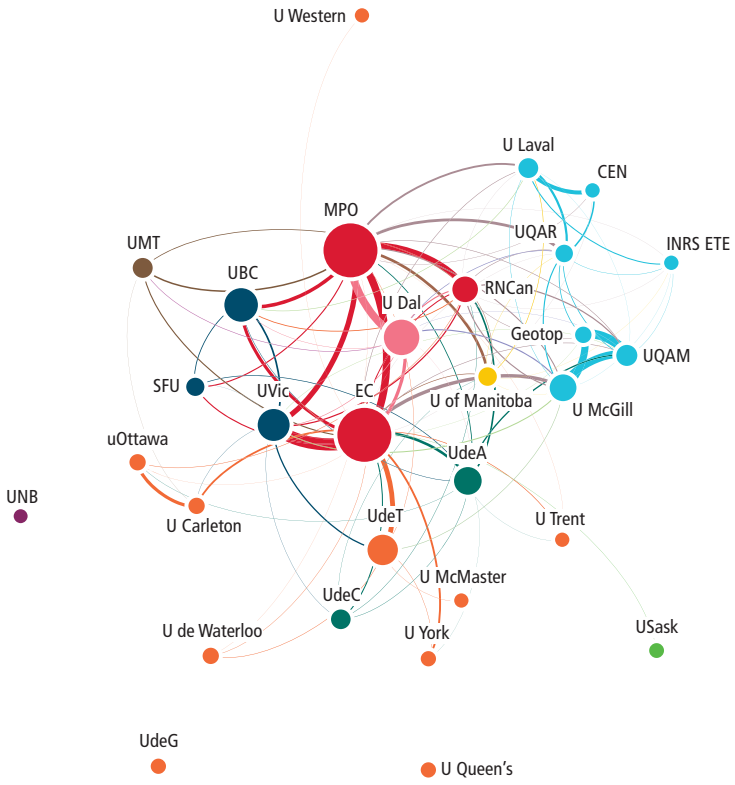
L'analyse bibliométrique indique que la production de la recherche au Canada sur le thème des interactions océan-climat (4 544 articles) est plus faible que pour la plupart des autres thèmes parmi les principaux pays, ne représentant que 6,1 % des

publications mondiales et plaçant le pays au septième rang mondial (tableau 4.1). L'impact scientifique des articles canadiens (MCR = 1,28) sur ce thème demeure au-dessus de la moyenne mondiale, mais n'est pas aussi élevé que pour la plupart des autres thèmes ou aussi élevé que celui de nombreux autres pays. En outre, ce thème ne croît pas aussi rapidement que d'autres domaines dans le monde (IC = 0,97) ou au Canada (IC = 0,96).

La figure 4.2 montre que le MPO et Environnement Canada sont les principaux pôles de publication et de collaboration sur les interactions océan-climat, suivis de RNCan et de cinq universités dont la production est similaire. L'un des principaux centres de recherche sur le climat, le Centre canadien de modélisation et d'analyse climatiques (CCMAC), est un organisme d'Environnement Canada établi sur le campus de l'Université de Victoria. La colocation de ce centre explique le niveau élevé de co-publication de ces organisations. De façon générale, la capacité de recherche hors du MPO et d'Environnement Canada est assez bien répartie entre les établissements canadiens. Plusieurs grappes de collaboration régionales et provinciales ressortent des données bibliométriques : l'Université McGill, l'Université du Québec à Montréal, Geotop et Ouranos, ainsi que le réseau formé par l'Université Laval, l'Université du Québec à Rimouski et le Centre d'études nordiques, au Québec, auxquelles s'ajoutent la collaboration entre l'Université de la Colombie-Britannique, l'Université de Victoria et l'Université Simon Fraser en Colombie-Britannique, de même que celle qui lie étroitement l'Université d'Ottawa et l'Université Carleton, à Ottawa, en Ontario.

4.1.2 Situation de la recherche

La modélisation du climat s'appuie sur les données des conditions passées et présentes pour éclairer et tester des modèles d'interactions océan-atmosphère qui améliorent la compréhension des processus observés tels que l'absorption de la chaleur, l'échange de gaz avec l'atmosphère, les courants, la circulation thermohaline, et beaucoup d'autres. Des modèles sont également utilisés pour prévoir les conditions futures et ils éclairent les décisions stratégiques (Johannessen *et al.*, 2004; GIEC, 2007). Le Canada contribue de nombreuses façons à l'amélioration des modèles climatiques globaux et régionaux. Le CCMAC, le Pacific Climate Impacts Consortium (de l'Université de Victoria) et d'autres centres développent des modèles climatiques régionaux et globaux pour mieux comprendre le climat passé et futur. Ces centres contribuent aussi aux efforts de modélisation internationaux, y compris le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). De 1990 à 2007, 6 % des auteurs du GIEC avaient une affiliation canadienne, ce qui en fait la quatrième affiliation la plus fréquente (Ho-Lem *et al.*, 2011).



Canada (organisation nationale ou fédérale)	Terre-Neuve-et-Labrador
	Nouvelle-Écosse
Alberta	Ontario
Colombie-Britannique	Île-du-Prince-Édouard
Manitoba	Québec
Nouveau-Brunswick	Saskatchewan

Source des données : calculé par Science-Metrix en utilisant la base de données *Scopus* (Elsevier)

Figure 4.2

Réseau de collaboration des 30 principales organisations canadiennes publiant des travaux sur les interactions océan-climat, de 2003 à 2011

Le MPO et Environnement Canada sont les organisations les plus productives sous ce thème, suivis de près par l'Université de la Colombie-Britannique, l'Université Dalhousie, l'Université de Victoria, l'Université de Toronto, l'Université de l'Alberta, l'Université McGill et RNCan.

Note : Seuls les liens représentant cinq collaborations ou plus entre des organisations sont affichés pour rendre la figure plus lisible.

Bien que les modèles globaux bénéficient d'une meilleure représentation des interactions océan-climat, les modèles à l'échelle régionale sont également nécessaires pour prévoir avec une meilleure résolution les impacts du changement climatique sur les écosystèmes et les collectivités côtières (Foreman et Yamanaka, 2011). Plusieurs établissements et réseaux s'efforcent d'améliorer la modélisation climatique régionale en travaillant sur des aspects tels que le paramétrage des modèles globaux à l'échelle régionale. Ce sont notamment le Consortium sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques (Ouranos), qui s'intéresse à la modélisation régionale au Québec et en Amérique du Nord; le Pacific Institute for Climate Solutions (PICS), un réseau de connaissances mis sur pied par des universités de la Colombie-Britannique et financé par la province; et le Pacific Climate Impacts Consortium de l'Université de Victoria. ArcticNet et le nouveau MEOPAR des RCE facilitent également la collaboration entre les experts en modélisation du climat et de l'océan au Canada. ArcticNet s'intéresse notamment aux impacts du changement climatique dans l'Arctique et le programme des RCE a activement fait la promotion de la recherche sur des modèles plus précis à l'échelle régionale intégrant le rôle de l'océan et de la glace de mer (ArcticNet, 2011, 2012). Le plan de recherche de MEOPAR comprend des projets sur la modélisation et la prévision marines en lien avec les activités humaines dans l'océan, y compris les événements extrêmes associés au changement climatique (MEOPAR, 2013).

Bien que le Canada possède une capacité considérable dans l'élaboration de modèles climatiques et l'infrastructure d'information connexe, les efforts de modélisation à l'échelle mondiale et régionale sont gênés par un manque de données d'observation océanique, en particulier des données d'observation à une résolution suffisante pour permettre de paramétriser les modèles climatiques régionaux (Arritt et Rummukainen, 2011). Les contributions du Canada en vue de combler cette lacune comprennent des données de télédétection uniques recueillies à l'aide de plateformes telles que les satellites RADARSAT, qui ont fourni aux utilisateurs canadiens et étrangers des observations sur l'océan, la glace, la terre et l'atmosphère (ASC, 2012a). Les spécialistes canadiens des sciences de la mer sont aussi des chefs de file dans le développement de plateformes de télédétection, de systèmes automatisés et de capteurs pour enregistrer des données océaniques liées au climat, tels que les systèmes de profilage servant sous un couvert de glace mobile (Fowler *et al.*, 2004; Kaminski *et al.*, 2010; Send *et al.*, 2012).

L'étendue du littoral canadien et la dispersion des infrastructures et de la population rendent particulièrement difficile la surveillance *in situ* des conditions océaniques liées au climat, à l'échelle et aux résolutions spatiales et temporelles requises. Ainsi, le manque de données disponibles limite le développement de modèles régionaux précis reflétant les changements rapides et complexes

qui se produisent dans l'Arctique (Johannessen *et al.*, 2004; Huntington *et al.*, 2005). Selon un rapport du Conseil des académies canadiennes, le Canada est en retard sur d'autres pays au niveau de la densité et de la continuité de la surveillance environnementale dans l'Arctique (CAC, 2008). Comme il ressort de la section 4.6, des investissements futurs tels que la Station de recherche du Canada dans l'Extrême-Arctique (SRCEA) pourraient renforcer la capacité dans certains domaines. Simultanément, le maintien de certains aspects uniques de la capacité d'observation pose un défi. À titre d'exemple, le Laboratoire de recherche atmosphérique en environnement polaire (PEARL), équipé de divers instruments hautement spécialisés, a cessé de fonctionner tout au long de l'année en 2012 à cause d'un manque de financement (CANDAC, 2013a). Au moment de la rédaction du présent rapport, une subvention du CRSNG avait été versée pour « sonder l'atmosphère de l'Arctique » (« Probing the Atmosphere of the High Arctic [PAHA] »), ce qui permettra la collecte de données limitées en hiver de 2013 à 2018 (CANDAC, 2013b).

L'observation climatique pertinente de l'océan est une initiative d'envergure de plus en plus mondiale (Hall *et al.*, 2009; Roemmich *et al.*, 2009). Les lacunes dans l'observation des variables océaniques liées au climat nuisent aussi à la capacité du Canada de contribuer à des programmes d'observation internationaux comme la Commission technique mixte OMM-COI d'océanographie et de météorologie maritime (CMOM), le Système mondial d'observation des océans (SMOO) et le Système mondial d'observation du climat (SMOC), et de profiter de ces initiatives (Nichols, 2005). Le Canada participe actuellement au SMOO et au SMOC en fournissant des données provenant de plusieurs systèmes d'observation nationaux, comme les stations météorologiques, les marégraphes, les bouées amarrées et dérivantes, les flotteurs Argo et des capteurs montés sur des navires d'observation bénévoles.

L'amélioration de la représentation de l'océan, de la glace et de la neige sont les principaux défis de la modélisation climatique (Weller *et al.*, 2005; Jahn *et al.*, 2011). Le Canada est bien placé pour contribuer à la compréhension de la glace de mer par le biais du Service canadien des glaces, qui recueille et conserve de vastes ensembles de données sur l'étendue, la concentration et le type de glaces de mer présentes dans les eaux canadiennes (Nichols, 2005). Bien que ces cartes soient produites principalement pour le transport maritime, les données peuvent constituer un atout précieux pour la surveillance et la modélisation du climat à l'échelle mondiale.

Outre l'observation et la surveillance des conditions actuelles, la compréhension des interactions océan-climat requiert également des données passées sur le climat à partir des renseignements paléo-océanographiques produits par l'analyse des sédiments et des carottes de glace et d'autres méthodes. Ce type de recherche est un volet essentiel du mandat du International Ocean Drilling Program (IODP). Le Canada a actuellement accès à la capacité de forage de l'IODP grâce à une adhésion restreinte comme participant à l'European Consortium for Ocean Research Drilling, qui offre seulement un accès limité à la capacité de forage spécialisé requise.

4.1.3 Possibilités et défis

De nombreuses questions de recherche regroupées sous ce thème requièrent une amélioration des modèles climatiques ou une meilleure compréhension des processus d'interaction océan-climat entrant dans les nouveaux modèles. La recherche dans ce domaine peut bénéficier des capacités acquises dans des activités connexes à l'observation et à la surveillance où le Canada possède des atouts considérables (comme la capacité de calcul et la télédétection). En outre, de nouveaux projets phares d'observation océanique et les investissements à venir dans la capacité de recherche dans l'Arctique créent des occasions d'améliorer l'intégration des processus océaniques, de la glace de mer, et des interactions océan-atmosphère dans les modèles climatiques globaux et régionaux.

Les principaux problèmes qui limitent le potentiel du Canada sous ce thème ont trait à la nécessité d'une observation et d'une surveillance soutenues des phénomènes océaniques liés au climat, en particulier dans l'Arctique. En raison de l'étendue du littoral du Canada et de son exposition à l'Arctique par rapport à sa population, ce défi est redoutable. De telles observations et les améliorations concomitantes de la modélisation et de la prédiction apporteraient toutefois des avantages non seulement pour la société canadienne, mais aussi pour la communauté internationale. La participation du Canada aux systèmes d'observation internationaux est liée aux données et aux services qu'il peut fournir. Cette participation lui permet d'accéder à des ensembles de données globales et à d'autres infrastructures, tout en lui donnant des occasions de contribuer au développement de la capacité internationale pour le bien de tous (voir Westermeyer, 2010). Cela met en relief l'importance de la collaboration internationale et la nécessité d'une coordination des efforts d'observation et de surveillance au niveau national.

4.2 LES RESSOURCES BIOLOGIQUES, MINÉRALES ET ÉNERGÉTIQUES

L'océan renferme des ressources incalculables qui peuvent concourir au bien-être et à l'activité économique des humains (voir les exemples présentés au tableau 4.2). Comme la population continue de croître et de se développer, il est à prévoir que la demande pour ces ressources ira en augmentant (COI/UNESCO *et al.*, 2011). Mais il y a des limites à l'abondance apparente de l'océan et les ressources n'y sont pas réparties uniformément. Les poissons et les autres animaux marins se déplacent fréquemment à travers les frontières. La santé de l'écosystème détermine la disponibilité et la qualité des ressources biologiques. L'exploration et l'extraction des ressources minérales et énergétiques sur le fond marin ou sous celui-ci présentent des défis techniques et environnementaux. Il est essentiel de comprendre la répartition, la dynamique et l'interdépendance de ces ressources pour en assurer une utilisation et une conservation durable face à la pression croissante des activités humaines et d'autres types de changement au niveau planétaire.

Tableau 4.2

Exemples de produits biologiques, minéraux et énergétiques tirés de la mer

Biologiques	Minéraux	Énergétiques
Organismes marins : poissons, mammifères marins, algues	**Sulfures polymétalliques massifs**	**Non-renouvelables :** pétrole et gaz, dépôts d'hydrate de gaz
Ressources génétiques	**Nodules de manganèse**	**Renouvelables :** vent de terre, marée montante, énergie des vagues
Substances marines naturelles : produits nutraceutiques et pharmaceutiques	**Croûtes de manganèse-cobalt**	
	Phosphorites	
	Minéraux lourds	

Le thème des ressources biologiques, minérales et énergétiques regroupe des questions de recherche portant sur la compréhension fondamentale des ressources vivantes et non vivantes. Un certain nombre de questions évoquent la réponse des espèces et des écosystèmes aux changements globaux ou à d'autres facteurs de stress et ses conséquences pour les ressources vivantes. Plusieurs questions qui mettent l'accent sur la compréhension des effets de l'exploitation des ressources minérales et énergétiques (Q26, Q29) abordent directement le prochain thème — les impacts humains sur les écosystèmes marins et côtiers (voir la section 4.3). La présente section traite de la recherche nécessaire pour comprendre la nature et la répartition des ressources minérales et énergétiques, ainsi que la dynamique et l'interdépendance des systèmes de ressources biologiques. En d'autres mots, ce thème englobe la recherche plus fondamentale qui est requise pour approfondir la compréhension des ressources océaniques. Cette recherche sert d'assise à la recherche appliquée au développement de technologies d'extraction et à l'élaboration d'approches axées sur la gestion durable.

Principales questions de recherche liées aux ressources biologiques, minérales et énergétiques

Les questions suivantes sont numérotées et classées dans l'ordre où elles se présentent dans *Les 40 questions prioritaires pour la recherche canadienne en sciences de la mer* (CAC, 2012a) :

Q11. Comment les changements dans les interactions entre les espèces influent-ils sur la structure des réseaux trophiques au sein des écosystèmes et entre eux?

Q12. Quelles incidences les changements dans la biodiversité auront-ils sur le fonctionnement des écosystèmes océaniques?

Q13. Quelle est la configuration et quels sont les facteurs de la dynamique temporelle et spatiale de la diversité biologique et des ressources génétiques marines, particulièrement en ce qui a trait aux taxons et aux régions mal échantillonnés?

Q14. Quelles incidences les pratiques de gestion et la variabilité naturelle ont-elles sur la façon dont les pathogènes et les parasites influent sur l'abondance des espèces marines?

Q16. Quelles incidences les changements dans la qualité de l'eau résultant de l'hypoxie, de l'eutrophisation, du couplage terre-mer, des pathogènes, des contaminants, des particules et de l'acidification auront-ils sur les organismes marins associés à la pêche et à l'aquaculture, particulièrement aux stades de vie vulnérables?

Q17. Comment la migration et la survie des organismes marins, y compris des espèces envahissantes, sont-elles influencées par les changements environnementaux et quelles en sont les incidences socioécologiques?

Q19. Quelle est la bathymétrie et quelles sont les caractéristiques détaillées du fond océanique des marges des trois océans limitrophes du Canada? Quelles nouvelles technologiques sont requises pour cartographier et caractériser le fond océanique et ses habitats?

Q21. Quelles sont les tendances à long terme dans la distribution tridimensionnelle des principales variables océanographiques (température, biomasse, saturation en oxygène, salinité, système carbonique, variation du niveau de la mer, courants, etc.) dans les océans du monde? Où et comment doit-on mesurer ces variables pour établir les tendances à long terme?

suite à la page suivante

Q26. Quelles seraient les incidences environnementales et sociales et quels seraient les avantages et les risques associés aux activités humaines exercées dans les océans en mutation sous l'effet des industries de l'extraction, de la pêche, du tourisme, de la navigation et des utilisations traditionnelles?

Q27. Quelles sont les incidences des déversements pétroliers dans les régions océaniques froides et profondes et sous les glaces de mer et quelles stratégies et technologies peuvent être utilisées pour prévenir et atténuer ces incidences?

Q28. Quels sont les effets de l'exploration marine et de l'exploitation des ressources vivantes et minérales sur les écosystèmes benthiques et l'état du fond océanique, particulièrement en eaux profondes?

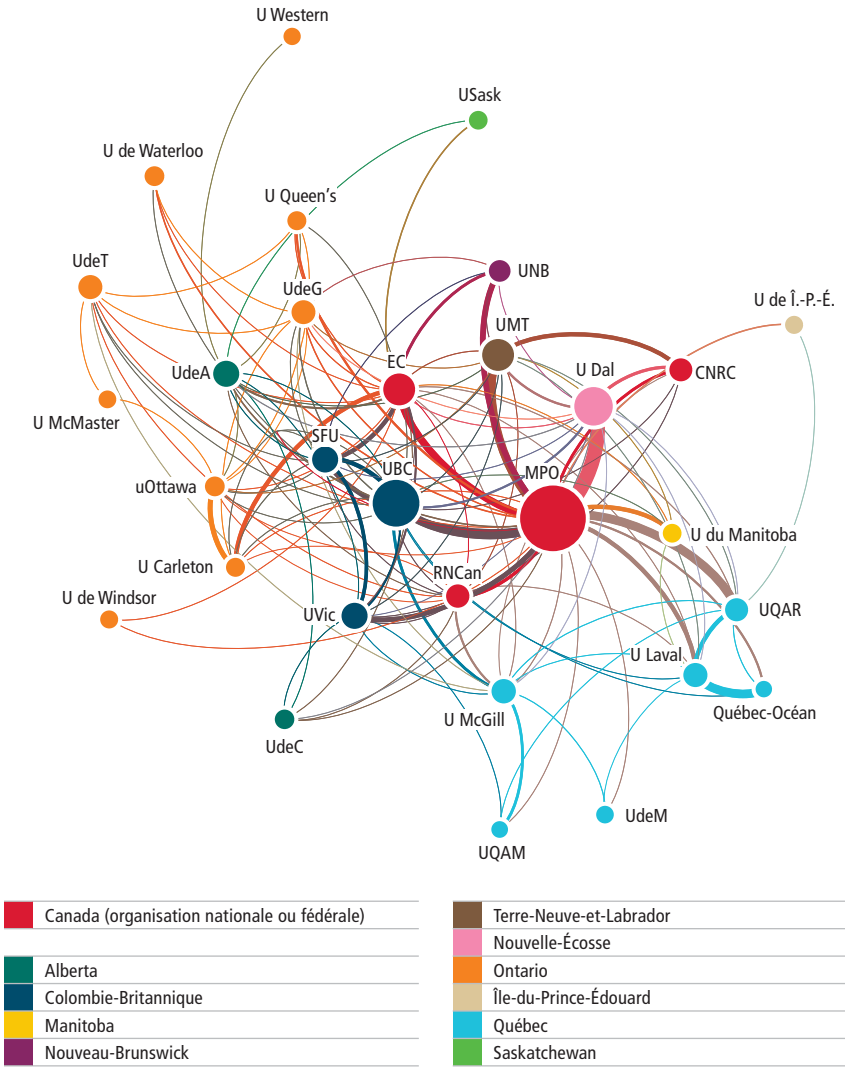
Q29. Quels facteurs empêchent le rétablissement des espèces marines mises en péril ainsi que de la pêche commerciale et des collectivités associées et que peut-on faire pour traiter ces facteurs afin de favoriser le rétablissement des stocks?

Q37. Comment, compte tenu des incertitudes et des changements planétaires, doit-on s'y prendre pour déterminer, surveiller et protéger les régions et/ou les espèces particulièrement vulnérables, telles que les foyers de diversité ou fonction relativement importante? Comment peut-on améliorer les capacités requises pour mener à bien ces activités?

4.2.1 Production de la recherche et collaboration

Le thème des ressources biologiques, minérales et énergétiques est celui où la production de publications dans le monde et au Canada est la plus abondante parmi les six thèmes de recherche. Le Canada se classait au quatrième rang avec 6,7 % des publications mondiales (13 782 articles) (tableau 4.1). Le Canada est hautement spécialisé dans ce thème (IS = 1,64) et son impact est supérieur à la moyenne mondiale (MCR = 1,33). La croissance mondiale pour ce thème (IC = 1,06) est légèrement supérieure à celle des autres domaines, mais ce thème perd du terrain par rapport aux autres domaines de recherche au Canada (IC = 0,94); de plus, le Canada arrive au dernier rang parmi les 25 principaux pays pour l'indice de croissance. Bien qu'il s'agisse d'un des domaines où le Canada a traditionnellement dominé, il se peut que d'autres pays soient en train de le rattraper au niveau des résultats de la recherche.

Les organisations canadiennes les plus productives dans la recherche sur ce thème sont entre autres le MPO (plus de 2 400 articles), l'Université de la Colombie-Britannique et l'Université Dalhousie, chacune ayant publié plus de 1 000 articles de 2003 à 2011 (figure 4.3). Les ministères fédéraux publient également une part importante de la recherche portant sur ce thème sous



Source des données : calculé par Science-Metrix en utilisant la base de données *Scopus* (Elsevier)

Figure 4.3

Réseau de collaboration des 30 principales organisations canadiennes publiant des travaux sur les ressources biologiques, minérales et énergétiques, de 2003 à 2011

Le réseau canadien de collaboration sur ce thème est étroitement lié et comprend plusieurs pôles décentralisés, notamment des organismes fédéraux tels que le MPO et Environnement Canada, outre des universités qui collaborent étroitement partout au Canada, dont l'Université Dalhousie, l'Université de la Colombie-Britannique, l'Université de Victoria, l'Université Memorial et l'Université de l'Alberta. Note : Seuls les liens qui représentent deux collaborations ou plus entre des organisations sont affichés pour rendre la figure plus lisible.

forme de rapports, dont plusieurs sont soumis à l'examen des pairs, mais ils ne sont pas inclus dans les données bibliométriques analysées ici. De nombreuses publications figurant dans la base de données du SCCS au MPO présentent des travaux de recherche sur les ressources vivantes, ce qui est conforme à la priorité accordée historiquement par le MPO à la gestion des pêches et à la transition actuelle vers une gestion axée sur les écosystèmes en vertu de la *Loi sur les océans* (MPO, 2008b, 2008a).

Le réseau canadien de collaborations sur les ressources vivantes et non vivantes est étroitement connecté, formé de plusieurs pôles décentralisés qui englobent des organismes fédéraux, tels que le MPO et Environnement Canada, et des universités qui collaborent abondamment au Canada, dont l'Université Dalhousie, l'Université de la Colombie-Britannique, l'Université de Victoria, l'Université Memorial et l'Université de l'Alberta. La grappe d'établissements universitaires gravitant autour de l'Université Laval au Québec témoigne d'un niveau de collaboration plus élevé dans cette région qu'ailleurs. La collaboration internationale en recherche sur les pêches est visible dans les nombreux forums internationaux et régionaux, comme le Comité des pêches de la FAO, l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest (OPANO) et l'Organisation pour la conservation du saumon de l'Atlantique Nord (OCSAN) (Lutgen, 2010).

4.2.2 Situation de la recherche

Ce thème englobe la recherche fondamentale consacrée à tout un éventail de catégories de ressources que le comité d'experts a examinées de façon distincte pour cerner les défis et les possibilités qui se présentent aux sciences de la mer au Canada.

Les ressources biologiques

Les ressources biologiques marines ont longtemps été au centre du mandat du MPO, ce qui peut expliquer l'importante capacité accumulée et la solide performance mesurée par les indicateurs bibliométriques sous ce thème. Les ressources biologiques demeurent très présentes parmi les priorités énoncées dans un document intitulé *Pêches et Océans Canada : Programme de recherche quinquennal (2007–2012)*, (MPO, 2007, 2008b) (voir l'encadré 4.1).

Encadré 4.1
Les priorités scientifiques de Pêches et Océans Canada

1. La population de poisson et la productivité de la collectivité
2. Les liens entre habitat et population
3. Le changement et la variabilité climatiques
4. Les stratégies d'évaluation et de gestion des écosystèmes
5. Les espèces aquatiques envahissantes
6. La santé des animaux aquatiques
7. Le caractère durable de l'aquaculture
8. Les effets de la production d'énergie sur l'écosystème
9. L'océanographie opérationnelle
10. Les technologies émergentes et habilitantes pour les responsabilités au chapitre de la réglementation

(MPO, 2007, 2008b)

Note : Au moment de la rédaction du rapport, on ne savait pas si ces priorités s'appliqueraient au-delà de 2013.

Tel que mentionné au chapitre 2, le MPO abrite une capacité humaine et matérielle importante dans ses instituts et laboratoires régionaux. Ces installations sont les principaux centres de recherche sur les ressources biologiques, et fournissent une grande partie de la capacité nécessaire pour répondre aux questions de recherche portant sur ce thème. Le MPO maintient également 13 centres d'expertise (voir le tableau 4.3). La plupart de ces centres sont de nature « virtuelle » et fonctionnent comme des réseaux de collaboration entre des chercheurs du MPO et de l'extérieur, tandis que d'autres sont organisés en instituts bénéficiant d'une infrastructure locale ou régionale. Certains centres sont axés sur des impacts humains particuliers, mais la plupart font de la recherche qui contribue à la compréhension fondamentale des ressources biologiques et des écosystèmes. Entre 2007 et 2012, en accord avec l'accent mis sur l'évolution des écosystèmes, le MPO a mené sept initiatives de recherche pilotes sur les écosystèmes au Canada. Les objectifs globaux étaient de comprendre les processus des écosystèmes et les effets de la variabilité de l'environnement et du climat, puis de développer des outils pour soutenir le modèle de gestion du MPO axé sur les écosystèmes (MPO, 2013h). Les travaux de recherche entrepris dans le cadre de ces initiatives sont maintenant terminés et leurs résultats devraient guider les activités opérationnelles du MPO, même si de nombreuses questions nécessiteront des recherches plus poussées dans l'avenir (MPO, 2013b).

Tableau 4.3

MPO Science – Centres d'expertise (CE)

Centre	Priorités de la recherche
Centre d'expertise sur la santé des animaux aquatiques, recherche et diagnostiques	Maladies infectieuses des animaux marins sauvages ou d'élevage
Centre de recherche sur la réglementation de la biotechnologie aquatique	Recherche au niveau de la réglementation et évaluation des risques concernant les poissons ayant des caractères nouveaux
Centre de recherche sur l'habitat aquatique	Liens habitat-population concernant la capacité productive, la productivité de la population, la résilience de l'écosystème et les conséquences sur le plan de la gestion
Centre d'expertise pour l'analyse des risques aquatiques	Priorisation, coordination et normalisation des évaluations des risques liés aux espèces aquatiques invasives
Centre d'expertise sur les récifs de coraux et d'éponges d'eau froide	Approches pour la conservation du corail éponge, y compris le soutien et la coordination des efforts internationaux
Centre d'expertise virtuel pour les mammifères marins	Dynamique, écologie, habitat, migration et santé des mammifères marins
Centre de recherche environnementale sur les pesticides	Répercussions environnementales de l'utilisation des pesticides, y compris des conseils sur la gestion et la réglementation des parasites
Centre national d'expertise en savoir écologique traditionnel (TEK)	Acquisition et intégration de TEK aux données scientifiques en vue d'améliorer la prise de décision; engagement des détenteurs de TEK à l'égard la gestion océanique et côtière
Centre d'expertise sur l'hydroélectricité et ses impacts sur le poisson et l'habitat du poisson	Impacts du développement de l'hydroélectricité sur le poisson et l'habitat du poisson
Centre virtuel de développement des modèles océaniques dédiés aux applications	Élaboration de modèles océaniques et application aux priorités ministérielles
Centre de recherche sur le pétrole, le gaz et les autres sources d'énergie extracôtières	Impacts environnementaux et océanographiques de l'exploration, de la production et du transport du pétrole au large des côtes
Centre national d'excellence pour la recherche aquatique dans l'Arctique	Environnements arctiques marins et d'eau douce, y compris des conseils sur l'élaboration de la législation sur l'Arctique
Centre d'expertise pour les rapports sur l'état des océans	Analyses sommaires des données sur les tendances et les changements des bassins océaniques du Canada

MPO, 2012a

Le Fisheries Centre de l'Université de la Colombie-Britannique est le plus grand institut de recherche universitaire sur les ressources biologiques marines. Il comprend des unités faisant de la recherche multidisciplinaire sur de nombreux aspects des pêches, notamment sur les politiques et le rétablissement des écosystèmes des pêches, les mammifères marins, la modélisation quantitative, l'économie des pêches, les pêches autochtones, les sciences de la conservation aquatique et la modélisation de l'océan planétaire. Le Fisheries and Marine Institute et les chercheurs des autres départements de l'Université Memorial font des recherches sur des questions similaires, alors que la capacité de recherche sur les pêches et dans des domaines connexes à l'Université Dalhousie est répartie entre plusieurs départements et instituts. L'Université Simon Fraser, l'Université de Victoria et l'Université de l'Alberta disposent d'une capacité de recherche importante au sein de leurs départements de biologie et des unités de recherche connexes.

En plus de ces instituts de recherche virtuels et réels, des scientifiques œuvrant dans des universités, des ministères et d'autres organismes ont constitué plusieurs réseaux nationaux consacrés à divers aspects des ressources biologiques marines :

- Le Réseau canadien de recherche sur les pêches (RCRP) : une collaboration entre des chercheurs universitaires et gouvernementaux et l'industrie de la pêche. Il vise à améliorer l'assise d'une approche écosystémique à la gestion des pêches pour atteindre la durabilité écologique et l'efficacité opérationnelle (RCRP, 2012b).
- Le Réseau de recherche sur la gestion des océans (RRGO) : créé à l'origine comme outil de gestion des activités de sensibilisation du MPO en appliquant et en mobilisant les connaissances en sciences de la mer pour l'usage de différentes communautés. Il est devenu un grand réseau pancanadien comptant plus de 800 membres (RRGO, 2012).
- Le Réseau stratégique du CRSNG pour des océans canadiens en santé (CHONe) : il met l'accent sur la science de la biodiversité pour assurer la durabilité des écosystèmes océaniques du Canada, y compris la biodiversité marine, le fonctionnement des écosystèmes et la connectivité des populations (CHONe, 2009).
- L'Atlantic Reference Centre : un musée de recherche pour les organismes aquatiques du Canada atlantique. Maintenu par le MPO et le Centre des sciences de la mer Huntsman, ses collections sont disponibles à des fins de recherche et d'enseignement (HMSC, s.d.).
- Le Centre pour la biodiversité marine (CBM) : un institut virtuel qui vise à renforcer les capacités scientifiques à l'appui de la protection de la biodiversité marine, avec un accent particulier sur l'Atlantique Nord-Ouest. Il permet d'accéder aux ensembles de données du Système d'information biogéographique des océans (OBIS) via le pôle canadien de l'OBIS, le Registre canadien des espèces marines (CaRMS), et aux données de la RAM Legacy Stock Assessment Database (CBM, 2013).

Au cours des dernières années, le Canada a développé une importante capacité en analyse génomique et en applications connexes pour la recherche sur la biodiversité marine, sous l'impulsion et avec le soutien de Génome Canada. Les principaux projets incluent le Marine Barcode of Life (MarBOL), hébergé à l'Institut de la biodiversité de l'Ontario (MarBOL, 2013), et le Fish Barcode of Life (FISH-BOL), hébergé à l'Université de Guelph — un projet connexe visant à développer une bibliothèque de référence spécifique de codes-barres génétiques pour toutes les espèces de poissons (FISH-BOL, 2012). Les codes-barres génétiques ont fait une contribution importante au Recensement de la vie marine, en permettant une l'identification rapide et à peu de frais des espèces marines.

Une partie de l'infrastructure financée par Génome Canada contribue à stimuler la croissance dans le domaine émergent de la biotechnologie marine, avec un accent particulier mis sur la santé des animaux marins par le Centre for Microbial Diversity and Evolution (Université de la Colombie-Britannique), la Chaire de recherche du Canada en biotechnologie marine (Université Memorial) et le Centre for Biomedical Research de l'Université de Victoria (Genome Prairie *et al.*, 2008). La génomique de la biodiversité est de plus en plus utilisée pour évaluer le risque d'extinction des espèces menacées (Johnstone *et al.*, 2007). Les progrès de la génomique soulèvent un certain nombre de questions sociétales telles que les aspects éthiques, environnementaux, économiques, légaux et sociaux des technologies et des produits basés sur l'analyse génomique. Pour faciliter leur intégration, Génome Canada tient compte de ces aspects dans son programme de financement et exige que toutes les demandes abordent ces questions (Génome Canada, 2013).

La progression de la génomique a aussi conduit à l'émergence de technologies et de recherches nouvelles qui n'ont pas atteint une échelle significative au Canada, y compris le développement de technologies de mesures génomiques *in situ* automatisées de la biodiversité, ainsi que l'application de la génomique à la gamme plus vaste des biotechnologies marines (McLean, 2013). Les organismes marins sont souvent mentionnés comme éléments de base potentiels d'une nouvelle génération de produits tels que des médicaments, des cosmétiques ou des composés et enzymes nouveaux pour des procédés biologiques. En dépit du fait que le Canada a accueilli le 2nd Annual World Congress of Marine Biotechnology en 2012 et la 4th BioMarine International Business Convention en septembre 2013, le comité d'experts n'a retracé aucun réseau de recherche consacré à la biotechnologie marine.

Malgré les progrès de la génomique, la taxonomie demeure le fondement de la science de la biodiversité — une situation qui engendre souvent des tensions dans les décisions d'investissement dans différents domaines de la science de la biodiversité. Un rapport de 2010 du Conseil des académies canadiennes a constaté

que le Canada disposait d'installations désuètes et montrait d'importantes lacunes dans la description des espèces et les données sur la répartition géographique, la numérisation des collections et la contribution systématique aux efforts internationaux de partage des données sur la biodiversité (CAC, 2010). En outre, le nombre de jeunes taxonomistes qui demeurent au Canada est inférieur au nombre de taxonomistes qui partent à la retraite. Les conséquences de ces lacunes sur la capacité en taxonomie sont notamment le risque d'une perte de savoir traditionnel et communautaire; une capacité limitée à réagir aux risques émergents, tels que les effets du changement climatique, les espèces envahissantes et les nouveaux agents pathogènes, et un soutien décroissant dans d'autres domaines de la science de la biodiversité. L'absence d'une assise solide au chapitre de la taxonomie pourrait nuire à la capacité du Canada de comprendre et de protéger ses ressources en biodiversité et de gérer de façon durable les biens et services écologiques connexes, en particulier dans les domaines de l'aquaculture et des pêches, mais aussi en ce qui a trait à la santé humaine, à la nutrition et au bien-être.

Les ressources minérales

Plusieurs des questions de recherche regroupées sous ce thème visent à améliorer la compréhension fondamentale des gisements de ressources minérales du fond océanique. Le fond de la mer renferme de précieuses ressources minérales dont l'extraction devient plus économique à mesure que la demande augmente. Les gisements des bassins océaniques profonds comprennent des dépôts croutés de ferromanganèse, des nodules de manganèse et des sulfures massifs de fonds marins (SMF) (Scott, 2012). Les dépôts de SMF ont suscité de l'intérêt au cours des dernières années car ils contiennent de grandes quantités de métaux de base (cuivre, zinc, plomb) et de métaux précieux (argent, or). Les dépôts de SMF se forment autour des sources hydrothermales dans les profondeurs océaniques. Plus de 165 sites hydrothermaux actifs comptant d'importantes accumulations de SMF ont été repérés dans le monde, dont plusieurs sont situés le long de la faille Juan de Fuca au large de la côte pacifique et dans la ZEE du Canada (Hannington *et al.*, 2010; Hannington *et al.*, 2011). Les activités en cours sont dirigées par trois sociétés internationales, dont Nautilus Minerals établie au Canada (Scott, 2012).

L'expérience acquise sur les sites d'exploration actuels a montré que la collaboration entre les géologues de l'industrie et les chercheurs peut accroître considérablement les connaissances sur les grands fonds marins, à la fois pour des fins scientifiques mais aussi pour découvrir de précieuses ressources (Hoagland *et al.*, 2010; Scott, 2012). L'exploitation minière des fonds marins offre aussi des occasions de développement et de transfert technologiques dans le cadre de projets internationaux d'exploration et de recherche en collaboration, conformément à l'objectif de l'Autorité internationale des fonds marins qui est d'appuyer la recherche scientifique

marine en collaboration (Glasby, 2000; ISA, s.d.). La perspective d'une exploitation des fonds marins crée toutefois des inquiétudes concernant les dommages potentiels à la biodiversité des fonds marins, qui est actuellement largement inexplorée et non protégée par le droit international (Halfar et Fujita, 2007).

Alors que l'industrie fait la majeure partie de l'exploration sur les sites actuels, la géoscience marine canadienne joue un rôle important en fournissant l'assise de l'exploration minière. RNCan, qui abrite la Commission géologique du Canada, est le principal ministère fédéral actif dans ce domaine de recherche, mais il collabore couramment avec le MPO, l'U.S. Geological Survey, la NOAA et de nombreuses universités nord-américaines. En 2002, le MPO et RNCan ont lancé le programme Les géosciences à l'appui de la gestion des océans (GGO) pour constituer une base de connaissances géoscientifiques des fonds marins et de la côte océanique du Canada. L'exploration minérale a utilisé toute une gamme de capteurs et de plateformes spécialisés, allant de dispositifs de télédétection magnétique aux véhicules télécommandés et aux VSA. Les plateformes d'observation telles que NEPTUNE Canada assurent une surveillance continue de certaines sources hydrothermales au large de la côte du Pacifique, mais la compréhension de la répartition plus vaste des ressources minérales nécessite des capacités plus étendues et mobiles.

Les ressources énergétiques

Le Canada est doté de riches réserves de gaz et pétrole enfouies dans plusieurs bassins sédimentaires au large des côtes Est et Ouest et dans l'Arctique. L'exploitation de ces ressources est un déterminant important de plusieurs thèmes des sciences de la mer. La découverte et l'exploration des champs pétroliers et gaziers extracôtiers requièrent des techniques complexes et des instruments permettant de faire des tests sismiques, le traitement des données et la visualisation à deux et à trois dimensions (CCEI, 2007). Calgary est devenue un important pôle de la R-D associée à ces services pour l'ensemble de l'industrie pétrolière et gazière, y compris les opérations en mer, ainsi qu'aux besoins de recherche axés plus particulièrement sur les forages extracôtiers dans l'Arctique.

L'industrie pétrolière et gazière au large des côtes a constitué un moteur économique sur la côte Est du Canada, stimulant la croissance d'une grappe de technologies océaniques à St. John's, Terre-Neuve-et-Labrador. Les défis uniques posés par l'accès aux gisements de pétrole et de gaz dans les zones recouvertes de glace de mer ont conduit à la création du Centre for Cold Ocean Resource Engineering (C-CORE) par l'industrie pétrolière et gazière en 1975 (C-CORE, 2005). La recherche sur les avantages et les risques potentiels de la mise en valeur des ressources pétrolières et gazières dans la mer de Beaufort, se déroule dans le cadre d'une collaboration entre ArcticNet et plusieurs sociétés pétrolières et

gazières, ce qui a permis une expansion significative de la collecte de données environnementales pour l'exploration des sources d'énergie et pour d'autres fins de recherche (ArcticNet, 2013).

Les compagnies pétrolières et gazières recueillent de grandes quantités de données et d'échantillons de forage au cours des travaux d'exploration. La réglementation canadienne exige que ces données et échantillons soient mis à la disposition du public aux fins de la recherche. La plupart de ces ressources sont conservées dans les centres géoscientifiques des offices des hydrocarbures extracôtiers Canada–Terre-Neuve-et-Labrador et Canada–Nouvelle-Écosse, ainsi qu'au Bureau d'information sur les terres domaniales, de l'Office national de l'énergie (pour l'Arctique). Ces établissements donnent accès à plusieurs milliers de mètres de carottes de forage, de carottes latérales, de débris de forage et d'échantillons géochimiques provenant de plusieurs centaines de puits extracôtiers, ainsi que à une énorme banque de données sismiques à deux et trois dimensions. Ces ressources contribuent de manière significative à la recherche en géophysique et en histoire géologique, ainsi qu'à l'amélioration des modèles de paléoclimats, de paléocourants et de tectonique des plaques (CNLOPB, 2013; CNSOPB, s.d.).

L'énergie renouvelable provenant de l'océan pourrait devenir un moteur semblable pour les sciences de la mer au Canada. Un récent inventaire de la capacité de R-D du Canada dans le domaine de l'énergie marine renouvelable commandé par RNCan arrive à la conclusion que les technologies et les installations de recherche canadiennes sont à la fine pointe dans plusieurs domaines, avec un fort potentiel de croissance de la R-D, de la fabrication, du déploiement et de la production (Devine Tarbell et Associates, 2008). Le rapport met en évidence les infrastructures de classe mondiale telles que le Bay of Fundy Research Centre for Energy (FORCE), qui abrite un important centre d'essai et une installation d'observation pour le développement de produits à partir de l'énergie marémotrice. FORCE est une société sans but lucratif financée par le gouvernement du Canada, le gouvernement de la Nouvelle-Écosse, Encana Corporation, et des développeurs participants. Marine Renewables Canada, un regroupement de l'industrie, du milieu universitaire et des gouvernements, a publié la Feuille de route technologique sur l'énergie marine renouvelable du Canada, qui présente une vision du développement des ressources renouvelables de l'océan fondée sur ces capacités et d'autres, comme la force du Canada dans la recherche axée sur la technologie (MRN, 2012). La feuille de route suggère d'appuyer des activités telles que les incubateurs technologiques, les transferts de technologie entre secteurs et un renforcement de l'ingénierie, de l'approvisionnement et de la capacité d'acquérir un leadership au niveau international, de développer des marchés et d'accroître les possibilités de transferts de technologie.

Les activités extracôtières liées à la mise en valeur des ressources énergétiques et minérales engendrent également de nouveaux besoins de recherche sur les impacts potentiels de l'extraction des ressources énergétiques en milieu marin, tels que le bruit sous-marin et les déversements d'hydrocarbures dans les environnements d'eau froide (voir, par exemple, BVGC, 2012), la santé humaine et la sécurité, et les répercussions sociales et écologiques (positives et négatives) sur les collectivités touchées par les opérations de forage. Une partie de cette recherche est soutenue par le Fonds pour l'étude de l'environnement, financé par des redevances perçues auprès des entreprises pétrolières et gazières actives dans les régions frontalières du Canada (FEE, 2013).

4.2.3 Possibilités et défis

Ce thème met en évidence le large éventail de la recherche océanique fondamentale, axée sur la découverte, qui est requise pour assurer le développement durable des ressources marines. Faire avancer la recherche dans ces domaines a des conséquences sociétales directes en raison des avantages que procurent les ressources océaniques. Simultanément, les questions de recherche soulignent le besoin d'une meilleure intégration des travaux de recherche sur l'exploitation des ressources et les effets potentiels des activités humaines connexes (voir la section 4.3). Les indicateurs bibliométriques démontrent les atouts traditionnels du Canada dans plusieurs domaines liés à la recherche fondamentale, ce qui pourrait contribuer à aborder plus facilement les questions de recherche sous ce thème.

La recherche sur les ressources biologiques de la mer peut s'appuyer sur une solide capacité de base au sein du MPO et de plusieurs grands instituts et départements universitaires. Si l'on parvient à maintenir une expertise en taxonomie, la capacité du Canada dans les domaines nouveaux et émergents de la recherche sur la biodiversité ouvrira des occasions au moment d'étudier les questions relatives à la biodiversité marine et à la dynamique des écosystèmes. La recherche sur les pêches et les populations de poissons peut bénéficier de la longue tradition du pays en recherche au sein du MPO et dans les grands centres universitaires. S'attaquer à certaines de ces questions nécessitera l'adoption d'une approche socioécologique, ce qui pourrait constituer un défi important dans les années à venir.

Les experts canadiens en géosciences marines et les sociétés minières sont bien placés pour jouer un rôle de premier plan dans la R-D requise pour mettre en valeur les ressources minérales sous-marines. La capacité axée sur les ressources énergétiques marines est plus grande dans le secteur privé, mais les partenariats avec les ministères et les universités offrent un potentiel important. Les avantages pour l'ensemble de ces secteurs de la société croîtront avec le partage de l'information sur les fonds marins.

Les efforts de surveillance et d'observation de l'océan améliorent considérablement la compréhension de la répartition et de la dynamique des ressources biologiques, minérales et énergétiques. Tel qu'indiqué au chapitre 2, le Canada est l'hôte de plusieurs initiatives de premier plan liées à l'observation de l'océan, mais des défis persistent au niveau du développement de systèmes d'observation coordonnés qui assurent une couverture adéquate des vastes ressources océaniques du Canada.

4.3 LES IMPACTS HUMAINS SUR LES ÉCOSYSTÈMES MARINS ET CÔTIERS

Les impacts humains sur l'océan vont inévitablement augmenter en raison de la demande croissante de biens et de services liés à l'océan. La pêche, l'énergie, le développement des ressources minérales et le tourisme ont tous des répercussions physiques, écologiques ou esthétiques sur l'océan qui influent également sur ses autres utilisations humaines. Certains aspects des questions de recherche énumérées ici reviennent sous d'autres thèmes : les ressources biologiques, minérales et énergétiques, et les collectivités côtières. Le présent thème met l'accent sur des éléments qui facilitent la compréhension de la façon dont les systèmes océaniques sont touchés par les activités humaines, et comment ils réagissent à ces effets.

Plusieurs questions de recherche regroupées sous ce thème dépassent la simple compréhension des impacts en visant à déterminer quelles méthodes de gestion peuvent être utilisées pour réduire au minimum les impacts et parvenir à une gestion durable. La question 32 fait écho à la nécessité d'une approche holistique pour l'étude des interactions humains-océan en conceptualisant l'océan comme un système socioécologique — un changement de paradigme qui va engendrer de nouveaux besoins au niveau de la recherche et des données (Berkes *et al.*, 2001; Ommer et Coasts Under Stress Research Project Team, 2007; Ommer *et al.*, 2011) (voir, par exemple, l'encadré 4.4 et CUS, 2006, pour d'autres publications).

Entre autres avantages, ce cadre permet d'étudier les systèmes de rétroaction complexes et les effets secondaires, tels que les facteurs qui entravent la reconstitution des stocks de poisson, ou l'influence des méthodes de gestion sur l'activité des agents pathogènes et des parasites et leurs impacts sur l'abondance des espèces. Il souligne aussi qu'il est non seulement essentiel de combiner les capacités en sciences biologiques, chimiques et physiques pour dépister les impacts humains, mais que ces efforts doivent être intégrés dans un cadre plus large qui comprend la recherche sur les déterminants sociaux et naturels des activités et des impacts, en s'appuyant sur les sciences naturelles et sociales. Qui plus est, cette approche met l'accent sur l'élaboration de méthodologies spécifiques et centrées sur un problème. Elle requiert l'intégration de données qualitatives et quantitatives, ainsi que des moyens sophistiqués d'intégration transdisciplinaire des connaissances et d'inclusion du savoir non scientifique (voir aussi la section 4.5).

Principales questions de recherche liées aux impacts humains sur les écosystèmes marins et côtiers

Les questions suivantes sont numérotées et classées dans l'ordre où elles se présentent dans *Les 40 questions prioritaires pour la recherche canadienne en sciences de la mer* (CAC, 2012a) :

Q10. Comment le niveau de la mer changera-t-il au cours du prochain siècle considérant les différents facteurs en présence (fonte des glaciers continentaux et de la nappe glaciaire, expansion de l'eau de mer, circulation régionale, soulèvements géologiques et champ de gravitation) et quelles en seront les incidences sur les écosystèmes côtiers et plus largement sur les sociétés humaines à l'échelle mondiale et régionale?

Q12. Quelles incidences les changements dans la biodiversité auront-ils sur le fonctionnement des écosystèmes océaniques?

Q14. Quelles incidences les pratiques de gestion et la variabilité naturelle ont-elles sur la façon dont les pathogènes et les parasites influent sur l'abondance des espèces marines?

Q15. Quelles incidences le changement climatique et l'acidification des océans auront-ils sur les écosystèmes et la biodiversité de l'océan, la gestion des ressources ainsi que sur les collectivités côtières?

Q16. Quelles incidences les changements dans la qualité de l'eau résultant de l'hypoxie, de l'eutrophisation, du couplage terre-mer, des pathogènes, des contaminants, des particules et de l'acidification auront-ils sur les organismes marins associés à la pêche et à l'aquaculture, particulièrement aux stades de vie vulnérables?

Q17. Comment la migration et la survie des organismes marins, y compris des espèces envahissantes, sont-elles influencées par les changements environnementaux et quelles en sont les incidences socioécologiques?

Q25. De quels indicateurs dispose-t-on pour évaluer l'état des océans, quelle est la portée des changements observés selon ces indicateurs et quels autres indicateurs doivent être mis au point?

Q26. Quelles seraient les incidences environnementales et sociales et quels seraient les avantages et les risques associés aux activités humaines exercées dans les océans en mutation sous l'effet des industries de l'extraction, de la pêche, du tourisme, de la navigation et des utilisations traditionnelles?

suite à la page suivante

Q27. Quelles sont les incidences des déversements pétroliers dans les régions océaniques froides et profondes et sous les glaces de mer et quelles stratégies et technologies peuvent être utilisées pour prévenir et atténuer ces incidences?

Q28. Quels sont les effets de l'exploration marine et de l'exploitation des ressources vivantes et minérales sur les écosystèmes benthiques et l'état du fond océanique, particulièrement en eaux profondes?

Q29. Quels facteurs empêchent le rétablissement des espèces marines mises en péril ainsi que de la pêche commerciale et des collectivités associées et que peut-on faire pour traiter ces facteurs afin de favoriser le rétablissement des stocks?

Q30. Quels sont les niveaux de bruit ambiant sous-marin et quelles sont les conséquences de l'évolution du bruit sous-marin d'origine humaine (par exemple, le bruit produit par la navigation et l'exploration pétrolière et la propagation accrue du bruit résultant du déclin du pH)?

Q31. Quel sort attend les matières plastiques, les nanomatériaux et les contaminants synthétiques émergents présents dans l'océan et quelles sont les incidences liées à cette présence?

Q32. Comment les responsables des sciences et des politiques de la mer peuvent-ils aborder les changements selon une approche plus socioécologique qui reconnaît l'interdépendance et la capacité d'adaptation de la population et de l'environnement marin?

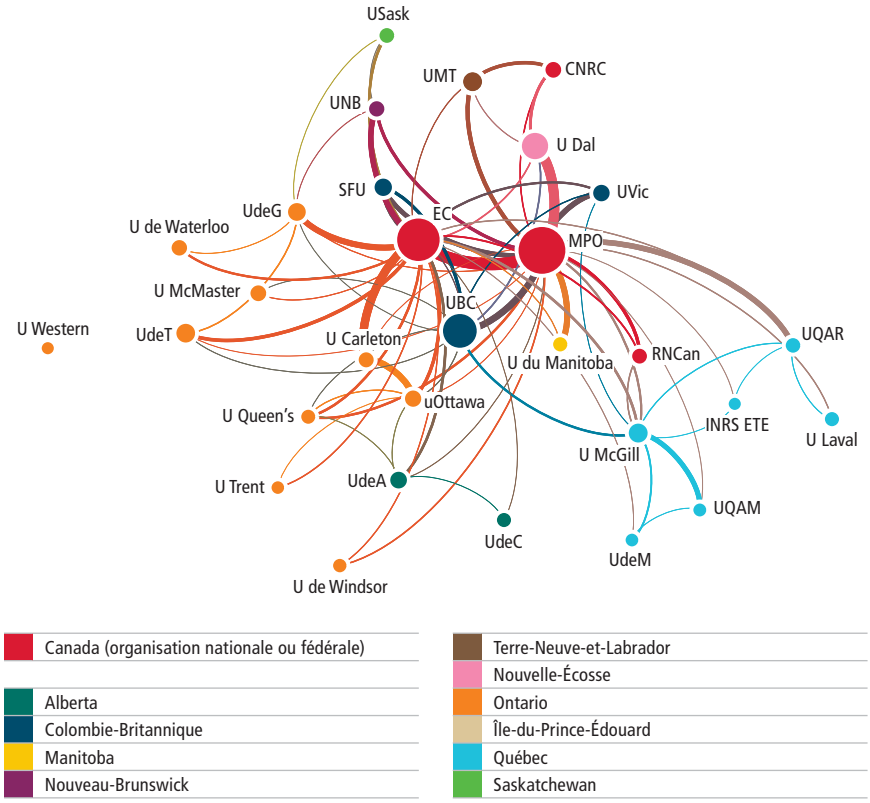
Q39. Quelles technologies et stratégies sont requises pour développer et livrer des ressources énergétiques et minérales océaniques, renouvelables et non renouvelables, à la société en limitant au minimum le tort causé au milieu océanique?

4.3.1 Production de la recherche et collaboration

Le thème des impacts humains sur les écosystèmes marins et côtiers est le second en importance pour la production canadienne de publications (7 437 articles), après celui des ressources biologiques, minérales et énergétiques (tableau 4.1). Le classement élevé du Canada (qui vient au quatrième rang, avec 6,3 % du total mondial) reflète les points forts historiques de la recherche canadienne sur les répercussions des activités humaines telles que la pêche. Néanmoins, ce domaine cède du terrain à d'autres domaines de recherche au Canada (IC = 0,95), mais il progresse au même rythme que les autres domaines au niveau mondial (IC = 1,03).

Les organisations canadiennes les plus productives sur le plan de la recherche liée à ce thème sont notamment le MPO (plus de 1 000 articles), Environnement Canada (985), l'Université de la Colombie-Britannique (730) et l'Université Dalhousie (plus de 500) (figure 4.4). Alors que les publications du MPO et sa collaboration avec

Environnement Canada et RNCan dominent le thème des ressources biologiques, minérales et énergétiques, le MPO et Environnement Canada sont tous deux d'importants pôles de collaboration pour ce thème. Plusieurs grappes régionales sont évidentes au Québec et en Ontario.



Source des données : calculé par Science-Metrix en utilisant la base de données *Scopus* (Elsevier)

Figure 4.4

Réseau de collaboration des 30 principales organisations canadiennes publiant des travaux sur les impacts humains sur les écosystèmes marins et côtiers, de 2003 à 2011

La collaboration canadienne sur ce thème est centrée sur le MPO et Environnement Canada. L'Université de la Colombie-Britannique et l'Université Dalhousie jouent également des rôles importants en raison du grand nombre de publications et du niveau élevé de collaboration avec des organismes fédéraux et d'autres universités.

Note : Seuls les liens qui représentent deux collaborations ou plus entre des organisations sont affichés pour rendre la figure plus lisible.

4.3.2 Situation de la recherche

Conformément à son mandat, le MPO effectue de la recherche sur les effets de nombreuses activités humaines, y compris des évaluations générales de l'état de l'océan, ainsi que de la recherche sur les effets particuliers du changement et de la variabilité climatiques, des espèces envahissantes, de la production d'énergie et de l'utilisation des pesticides, par exemple. Ces activités se reflètent dans les priorités scientifiques du MPO (voir l'encadré 4.1) et les mandats des 13 centres scientifiques virtuels du MPO (voir le tableau 4.3). Plusieurs de ces centres englobent des collaborations avec les universités et d'autres partenaires. Ainsi, le Centre de recherche sur le pétrole, le gaz et autres sources d'énergie extracôtières effectue de la recherche sur un large éventail d'impacts du pétrole et du gaz, notamment dans les conditions d'eau froide et de glace de mer (Q27), en collaboration avec des partenaires d'autres ministères, des universités et de l'industrie (MPO, 2013h).

D'autres collaborations université-gouvernement portent sur des évaluations de stocks individuelles, auxquelles des professeurs et des étudiants participent avec le personnel du MPO, ainsi que sur de grands réseaux de recherche dirigée. Deux exemples sont le Canadian Aquatic Invasive Species Network (CAISN) et le Réseau stratégique du CRSNG pour des océans canadiens en santé (CHONe). De 2006 à 2011, le CAISN, un partenariat regroupant 13 universités et 6 laboratoires du MPO, a étudié les vecteurs et les voies par lesquels les espèces aquatiques envahissantes entrent au Canada. CAISN II, qui a reçu du financement pour la période 2011–2016, produira un profil complet des espèces aquatiques envahissantes dans les eaux canadiennes et développera des outils de détection précoce et de réponse de contrôle rapide. CHONe était un partenariat de cinq ans entre 15 universités canadiennes, le MPO et d'autres laboratoires gouvernementaux axé sur la biodiversité de la vie océanique au Canada (CHONe, 2009).

En outre, les spécialistes canadiens des sciences de la mer ont été étroitement associés aux organisations internationales et intergouvernementales en sciences marines et y ont souvent joué des rôles clés, notamment dans l'étude des répercussions des activités humaines, par exemple le Programme international concernant la géosphère et la biosphère (PIGB), la Commission océanique intergouvernementale de l'UNESCO (COI), le Conseil international pour l'exploration de la mer (CIEM), le North Pacific Marine Science Organization (PICES), le Comité des pêches de la FAO, la Convention sur la diversité biologique et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE). Parmi les 89 auteurs de l'ouvrage de synthèse intitulé *Marine Ecosystems and Global Change* (Barange *et al.*, 2010), issu du programme Global Ocean Ecosystem Dynamics du PIGB, 12 % ont des liens avec le Canada. De plus, l'actuel secrétaire général du CIO, le président sortant du CIEM, le président actuel de PICES, et le président élu du Conseil international pour la science (ICSU) sont tous des scientifiques canadiens.

Tel qu'indiqué à la Q25, la recherche sur ce thème dépend tout particulièrement des données d'observation et de surveillance. L'observation et la surveillance à long terme produisent des ensembles de données qui permettent de comparer des attributs de l'écosystème avant et après un impact humain donné, ce qui nous éclaire sur la façon dont les écosystèmes sont affectés et sur le délai de récupération. De nombreux établissements gèrent de telles données, la plupart relevant du gouvernement fédéral et ayant un mandat spécifique à cette fin. L'unité de la Gestion des données scientifiques intégrées (GDSI) du MPO et d'autres unités de ce ministère conservent des données liées aux observations physiques, chimiques et biologiques recueillies par le MPO et d'autres organisations au Canada et à l'étranger. L'unité de la GDSI permet aussi d'accéder aux bases de données océaniques d'autres organisations dans le monde, notamment :

- les données physiques, chimiques et biologiques fournies par les instituts de recherche du MPO (Profils océanographiques);
- les données sur la température de la planète et les profils de salinité provenant du Programme sur les profils de la température et de la salinité à l'échelle du globe (GTSPP);
- les données recueillies par les bouées dérivantes et les données sur les profils océaniques provenant de programmes canadiens et internationaux tels que le programme sur la variabilité climatique (CLIVAR);
- les données océanographiques biologiques et chimiques (BioChem);
- les renseignements sur les produits chimiques toxiques dans les poissons, les autres formes de vie aquatique et leurs habitats qui proviennent du Système national d'information sur les contaminants (SNIC);
- la partie canadienne du Système d'information biogéographique des océans (OBIS).

(MPO, 2013g)

Des centres non gouvernementaux au Canada possèdent des ensembles de données supplémentaires, comme la RAM Legacy Stock Assessment Database (nommée d'après Ransom A. Myers, qui a compilé la base de données originale) pour plus de 300 populations marines exploitées commercialement dans le monde (Ricard *et al.*, 2011). Par ailleurs, les organisations non gouvernementales (ONG) effectuent de plus en plus leurs propres recherches et analyses sur les impacts humains, notamment en ce qui a trait à la planification marine spatiale et aux zones marines protégées (Hastings, 2011; Calado *et al.*, 2012; CEC, 2012).

Dans les trois bassins océaniques du Canada, le MPO procède à des relevés annuels et parfois saisonniers pour évaluer l'abondance et d'autres caractéristiques des populations de poissons et de mammifères marins. Alors que ces relevés ont tendance à cibler des populations qui présentent un intérêt commercial ou charismatique, l'évolution vers des approches plus holistiques de l'écosystème a conduit à accorder

une plus grande attention aux espèces qui ne présentent pas d'intérêt commercial (MPO, 2012d). La recherche sur l'effondrement et le rétablissement des stocks de poisson montre aussi la nécessité d'adopter des approches plus intégrées (voir l'encadré 4.2). Dans l'Atlantique canadien, un programme de surveillance physique et biologique est en place à l'échelle régionale depuis 1999 (Pepin *et al.*, 2005), mais rien de semblable n'a encore été fait dans le Pacifique ou l'Arctique.

Encadré 4.2
L'effondrement des stocks de morue de l'Atlantique et les défis scientifiques de la gestion des pêches

L'effondrement de la pêche à la morue, dans l'Atlantique Nord-Ouest au début des années 1990 et l'incapacité des stocks à se rétablir jusqu'à maintenant ont suscité des travaux de recherche dans plusieurs disciplines, dont la biologie marine, l'écologie, la science des pêches, l'ingénierie, l'économie, la sociologie et le droit; voir à ce sujet la littérature citée dans Hutchings (1999) et d'autres travaux de recherche menés dans le cadre du programme d'éco-recherche de l'Université Memorial (MUN, 1997). Alors que les connaissances combinées de ces disciplines peuvent expliquer de nombreux facteurs qui ont contribué initialement à cet effondrement, le désaccord persiste sur les raisons de cette période de rétablissement aussi longue qu'imprévue (Fu *et al.*, 2001; Hutchings et Rangeley, 2011). Comprendre la dynamique des stocks n'est qu'un aspect du problème plus vaste de l'élaboration d'approches axées sur une gestion durable des pêches, ce qui oblige également à aborder des questions telles que les aspects économiques et juridiques des régimes d'accès, l'impact des subventions et du commerce international, ainsi que les facteurs socioéconomiques plus généraux qui influent sur les activités de pêche (Hammer *et al.*, 2010; Sumaila, 2012).

Environnement Canada administre de nombreux programmes de surveillance des contaminants à travers le pays, fournissant des données et menant des travaux de recherche sur les impacts des activités humaines connexes sur les écosystèmes marins. Ces programmes comprennent la surveillance de la qualité de l'eau de mer et des eaux usées sanitaires aux fins du Programme canadien de salubrité des mollusques, ainsi que pour le Réseau canadien de biosurveillance aquatique (EC, 2013). Environnement Canada coordonne également la surveillance des contaminants dans l'Arctique canadien, y compris chez les mammifères marins et les poissons, par le biais du Programme de lutte contre les contaminants dans le Nord, et contribue au Programme de surveillance et d'évaluation de l'Arctique, du Conseil de l'Arctique (EC, 2001).

La recherche sur les impacts des activités humaines est confrontée à plusieurs défis. La recherche et la surveillance à long terme susceptibles de soutenir une gestion axée sur les écosystèmes pourraient être contraintes par la durée limitée — de trois à cinq ans — du modèle fédéral de financement des activités scientifiques (Cohen, 2012a). En outre, les mandats de recherche sur les impacts des activités humaines sur les écosystèmes marins et côtiers ne sont pas toujours clairement répartis entre les ministères. Environnement Canada surveille les concentrations de contaminants dans les organismes marins, mais pas leurs effets sur les *populations* de poissons, ce qu'il considère relever de la responsabilité du MPO (Cohen, 2012a). Ces désaccords montrent que la coordination est un défi constant dans des domaines complexes tels que la surveillance des contaminants. À long terme, si la nécessité de coordonner les mandats et les activités ne peut être résolue, nous risquons de ne pas percevoir les lacunes dans la surveillance et l'analyse des contaminants et de leurs effets.

Répondre aux besoins émergents de la recherche et de la surveillance soulève un autre défi. Ainsi, le Programme coopératif de recherche et développement en aquaculture (PCRDA) du MPO a pour mandat de renforcer la capacité scientifique de l'industrie aquacole canadienne au niveau des activités essentielles de recherche-développement (Martell *et al.*, 2011). Néanmoins, les impacts environnementaux de l'aquaculture donnent lieu à un débat controversé (Cohen, 2012b; Hutchings *et al.*, 2012). Nous avons aussi besoin de renseignements supplémentaires sur l'abondance et les voies d'entrée des espèces envahissantes (Sutherland et Levings, 2013) — une lacune que CAISN II vise à combler. Parmi les autres préoccupations entourant les menaces à la biodiversité marine dans les eaux canadiennes, il y a le changement climatique et la pêche (Hutchings *et al.*, 2012). Une base de référence sur la biodiversité marine est nécessaire afin d'évaluer l'influence de chacune de ces menaces et leurs effets cumulatifs. Le Centre de référence de l'Atlantique, appuyé par le MPO et le Centre des sciences de la mer Huntsman, offre une source unique d'expertise taxonomique et d'information sur la biodiversité de l'Atlantique, mais aucune installation similaire n'existe pour le Pacifique ou l'Arctique. Un autre besoin émergent est la recherche sur les impacts potentiels de l'exploitation minière en haute mer étant donné que les activités minières pourraient prendre de l'expansion dans un avenir rapproché. Les études existantes incitent à penser que les effets sur l'environnement pourraient être considérables (Halfar et Fujita, 2007) (voir la section 4.2.2).

La surveillance des contaminants est de plus en plus mise à l'épreuve devant la nécessité de détecter de nouveaux contaminants tels que les médicaments de création récente, les modulateurs endocriniens, les produits de soins personnels, les nouveaux polluants organiques persistants et les nanomatériaux. Les dispositions juridiques au Canada sont déjà vagues pour ce qui est de définir des niveaux acceptables pour plusieurs contaminants existants et nouveaux (Ross *et al.*, 2013).

La capacité à développer des signatures moléculaires spécifiques aux contaminants pour surveiller les produits chimiques nouveaux et existants constituerait un progrès important en vue d'évaluer et de surveiller les risques et les impacts des activités humaines sur les systèmes marins (Veldhoen *et al.*, 2012).

Alors qu'augmentent l'intérêt et la nécessité pratique d'aller vers une planification marine spatiale, la gestion intégrée des zones côtières et des approches axées sur l'écosystème, il y a un besoin croissant de données plus détaillées et d'une meilleure intégration des ensembles de données disparates. La possibilité de relier facilement et rapidement ces données dispersées est notamment renforcée par le Système d'information biogéographique des océans (OBIS), dont le portail canadien est hébergé par l'unité de la GIDS du MPO, mais des liens plus étendus et plus rapides sont requis. Il y a aussi un manque de connaissances sur les effets cumulatifs de multiples facteurs de stress sur les systèmes marins, une problématique qui ressort des conclusions de la *Commission d'enquête Cohen sur le déclin des populations de saumon rouge du fleuve Fraser* (Cohen, 2012b).

4.3.3 Possibilités et défis

L'information examinée ici indique que les sciences de la mer au Canada sont en bonne position pour la poursuite des efforts de recherche sur les impacts des activités humaines sur les écosystèmes marins et côtiers. En grande partie, cette force peut être attribuée au rôle historique joué par les organisations du gouvernement fédéral, ainsi que les importants travaux de recherche effectués par les universités canadiennes. Cependant, les questions de recherche soulignent aussi les défis qui découlent de l'évolution du contexte de la recherche sur les impacts des activités humaines. L'un de ces défis est d'adapter les capacités et l'expertise pour assurer la transition vers des approches plus holistiques utilisant des cadres écosystémiques ou socioécologiques. Pour les ressources biologiques, ce défi est en partie relevé avec la transition du MPO vers une recherche et une gestion axées sur l'écosystème; cependant, des défis persistent dans la formation interdisciplinaire des chercheurs et des autres catégories de personnel hautement qualifié requises pour répondre aux besoins d'une telle approche.

Un autre défi est de s'assurer que le développement des capacités va de pair avec l'évolution des activités humaines, comme la capacité de surveiller les impacts environnementaux de l'aquaculture ou de suivre l'évolution des contaminants, y compris les nanomatériaux émergents. Cela englobe aussi la capacité d'évaluer et de surveiller les effets de l'expansion de l'exploitation des ressources dans de nouvelles zones dont l'écosystème est délicat ou qui sont déjà touchées par les changements rapides qui se produisent à l'échelle planétaire.

La recherche sur les espèces envahissantes montre des lacunes émergentes qui seront vraisemblablement comblées par le réseau CAISN II. D'autres réseaux, tels ceux consacrés aux méthodes génomiques pour l'évaluation de la santé des animaux aquatiques, illustrent à la fois les occasions qui peuvent naître des réseaux et les défis associés à la poursuite de la collaboration au-delà de la période de financement initiale. Les capacités émergentes des ONG et d'autres acteurs laissent par ailleurs entrevoir des possibilités de nouvelles formes de collaboration et de partage des ressources à des fins de conservation et de gestion intégrée.

4.4 LA TECTONIQUE DES PLAQUES ET LES DANGERS NATURELS

L'activité tectonique sur le fond de l'océan est une importante source de dangers naturels — les tremblements de terre, les éruptions volcaniques, les glissements sous-marins et les tsunamis qu'ils provoquent. Ces menaces sont particulièrement présentes sur la côte pacifique du Canada, où le fond marin s'étend le long de la faille Juan de Fuca et converge vers la zone de subduction Cascadia située à proximité (Clague *et al.*, 2003; Leonard *et al.*, 2012). Sept des dix plus grands séismes au Canada se sont produits au large de la côte du Pacifique (RNCan, 2011a). Ces événements localisés sont la cause de la plupart des grands tsunamis survenus le long de ce littoral (Leonard *et al.*, 2012).

Cependant, le plus grand tsunami à frapper le Canada a été causé par un glissement de terrain sous-marin, déclenché par un séisme dans la zone des Grands Bancs de l'Atlantique en 1929 (Clague *et al.*, 2003). Autrement, le risque de tsunami sur la côte atlantique du Canada est dominé par des sources de champs lointains et la topographie côtière peut amplifier les vagues du tsunami, provoquant des impacts plus importants que prévu (Leonard *et al.*, 2012). Le littoral de l'Arctique canadien montre peu de lignes de faille actives et est relativement à l'abri des sources de champs lointains, ce qui se traduit par des risques de tsunami moins élevés que sur les autres côtes du pays.

Les questions de recherche regroupées sous ce thème mettent l'accent sur la nécessité de comprendre les tremblements de terre, les tsunamis et les autres dangers pour réduire les risques pour les vies humaines et les infrastructures. Une meilleure compréhension permet une meilleure prévision et la mise au point de systèmes d'alerte. La recherche sur la tectonique des plaques s'appuie sur les recherches géologiques et hydrographiques et contribue à celles-ci dans le vaste domaine des géosciences. Les levés géologiques et hydrographiques enrichissent les connaissances sur la tectonique des plaques, mais ils concourent aussi à une navigation sécuritaire et à l'exploration des ressources minérales et énergétiques (voir la section 4.2).

Principales questions de recherche liées à la tectonique des plaques et aux risques naturels

Les questions suivantes sont numérotées et classées dans l'ordre où elles se présentent dans *Les 40 questions prioritaires pour la recherche canadienne en sciences de la mer* (CAC, 2012a) :

Q4. Comment l'océan, la terre et le fond océanique continental interagissent-ils dans l'Arctique? Comment les interactions évolueront-elles sous l'effet du changement climatique? Quelles régions sont à risque d'être touchées par l'érosion, les inondations, la déstabilisation des infrastructures, le dégel du pergélisol ou la sublimation des hydrates de gaz?

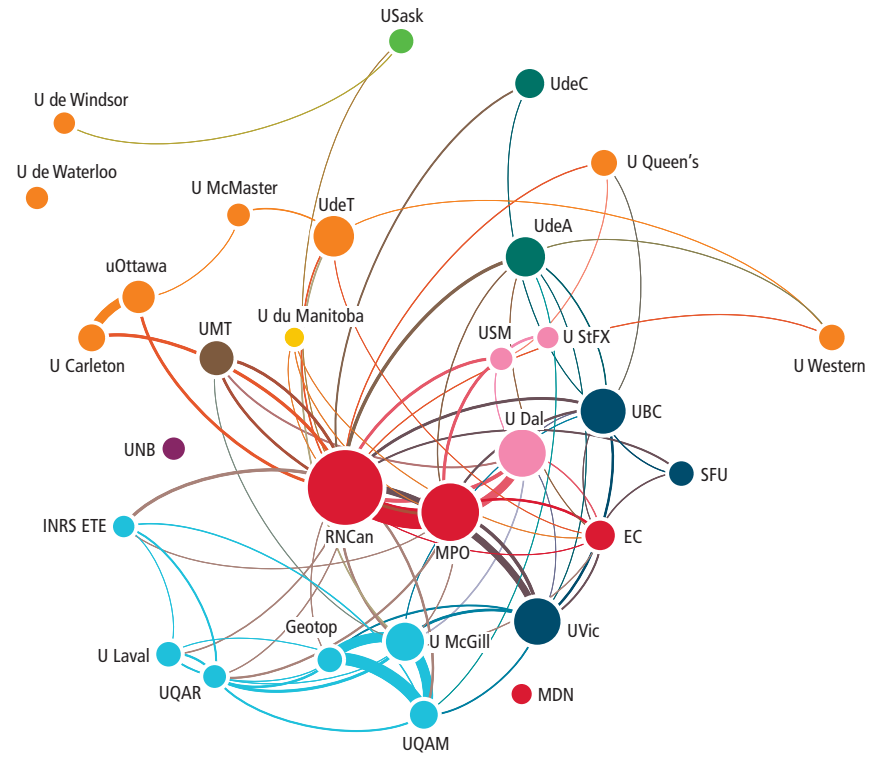
Q5. Quels sont l'étendue spatiale, la fréquence et les dangers associés aux risques marins qui confrontent les eaux côtières canadiennes (par exemple les glissements de terrain causés par les hydrates, les tsunamis, les séismes et les événements météorologiques extrêmes) et quels sont les éléments qui permettront de mieux prévoir ces risques dans le contexte du changement climatique et des changements dans les populations et les infrastructures côtières?

Q19. Quelle est la bathymétrie et quelles sont les caractéristiques détaillées du fond océanique des marges des trois océans limitrophes du Canada? Quelles nouvelles technologiques sont requises pour cartographier et caractériser le fond océanique et ses habitats?

4.4.1 Production de la recherche et collaboration

La part des publications mondiales sur ce thème qui provient du Canada (5,5 %) est la plus faible (plaçant le pays au huitième rang), en comparaison des autres thèmes (tableau 4.1). Bien que l'impact des 4 546 articles canadiens sur la tectonique des plaques et les risques naturels (MCR = 1,25) soit supérieur à la moyenne mondiale, il est plus faible que pour la plupart des autres thèmes. Ce thème progresse aussi rapidement que les autres domaines au niveau mondial (IC = 0,99), mais à un taux inférieur à celui des autres domaines de recherche au Canada (IC = 0,90).

Les organisations canadiennes les plus productives sous ce thème sont RNCan et le MPO (figure 4.5), s'appuyant sur l'expertise importante du Service hydrographique du Canada (SHC) au MPO et de la Commission géologique du Canada (CGC) à RNCan. La collaboration étroite entre RNCan et le MPO est le résultat de la co-occupation des principaux centres de géosciences marines de la CGC avec les installations du MPO : la CGC-Atlantique à l'Institut océanographique



Canada (organisation nationale ou fédérale)	Terre-Neuve-et-Labrador
	Nouvelle-Écosse
Alberta	Ontario
Colombie-Britannique	Île-du-Prince-Édouard
Manitoba	Québec
Nouveau-Brunswick	Saskatchewan

Source des données : calculé par Science-Metrix en utilisant la base de données *Scopus* (Elsevier)

Figure 4.5

Réseau de collaboration des 30 principales organisations canadiennes publiant des travaux sur la tectonique des plaques et les dangers naturels, de 2003 à 2011

RNCan est le pôle de collaboration principal du réseau canadien pour ce thème. L'Université de Victoria et l'Université Dalhousie montrent une étroite collaboration avec le MPO, tandis que plusieurs autres universités ayant une production similaire collaborent moins avec les organismes fédéraux. Il y a peu de collaboration entre les universités, à l'exception d'une grappe formée par l'Université McGill, l'Université du Québec à Montréal et Geotop, ainsi que la collaboration entre l'Université d'Ottawa et l'Université Carleton.

Note : Seuls les liens représentant quatre collaborations ou plus entre des organisations sont affichés pour rendre la figure plus lisible.

de Bedford, à Dartmouth, en Nouvelle-Écosse (RNCan, 2008), et le Centre géoscientifique du Pacifique à l'Institut des sciences de la mer de Sidney, en Colombie-Britannique (RNCan, 2010). Mises à part quelques exceptions locales, la plupart de la collaboration entre des organisations canadiennes sous ce thème implique RNCan, le MPO ou les deux simultanément, mais avec des taux moins élevés de collaboration directe entre les universités (figure 4.5).

4.4.2 Situation de la recherche

La Commission géologique du Canada et le Service hydrographique du Canada sont les principaux fournisseurs de données sur les caractéristiques du fond marin et la bathymétrie des bassins océaniques du Canada. L'Institut océanographique de Bedford abrite une Direction de l'informatique qui appuie le SHC, la CGC, le ministère de la Défense nationale et les Forces canadiennes pour l'analyse et la cartographie des données provenant des levés (IOB, 2013). Celles-ci sont utilisées pour produire des cartes hydrographiques et de navigation qui permettent de repérer les zones à risque telles que celles où les fonds marins sont fragiles et susceptibles d'être endommagés par certains types d'engins de pêche. La bathymétrie à haute résolution et la topographie terrestre sont requises pour que les modèles puissent évaluer le potentiel de déferlement des tsunamis. L'absence de données et de modèles de ce type limite actuellement l'évaluation des risques de tsunamis sur le long littoral du Canada (Leonard *et al.*, 2012). Les lacunes dans les données hydrographiques et l'absence concomitante de cartes précises de l'Arctique posent un danger pour la navigation, avec l'augmentation prévue du trafic maritime dans cette région à mesure que recule la banquise sous l'effet du changement climatique (Conseil de l'Arctique, 2009). Ces lacunes imposent une contrainte à la recherche sur les interactions entre l'océan, la terre et le fond océanique dans l'Arctique (comme l'illustre la Q4).

Les systèmes de détection sismique et de surveillance fournissent des données à long terme sur l'activité tectonique dans les zones qui présentent un intérêt particulier pour la recherche tectonique. RNCan entretient le Réseau national sismologique canadien, qui comprend plus de 100 instruments terrestres servant à déterminer l'étendue et l'emplacement des tremblements de terre (RNCan, 2011b). Pour les études individuelles, ce réseau peut être complété par des sismomètres placés au fond de l'océan; ceux-ci sont conçus pour une utilisation à court terme plutôt que la surveillance à long terme (Hunter, 2012). Le SHC dispose d'un réseau de marégraphes permanents, qui sont également utilisés pour surveiller les tsunamis et les ondes de tempête (MPO, 2013c, 2013a). Le Canada participe au Système d'alerte aux tsunamis du Pacifique, coordonné par le COI (EMBC, s.d.) et il a récemment mis en place un système d'alerte sur la côte atlantique, en partenariat avec les cinq provinces de l'Atlantique et la NOAA (GC, 2007). Le MPO applique également son expertise et son expérience

des dangers naturels en milieu marin, qui englobent les tsunamis et les ondes de tempête, pour fournir des conseils scientifiques aux décideurs canadiens et internationaux (MPO, 2006, 2013e).

Une contrainte importante dans la recherche sur la tectonique des plaques a été l'absence d'observations en direct des éruptions volcaniques et des séismes sous-marins, ou de l'activité autour des cheminées hydrothermales. Le Canada a pris les devants au niveau mondial pour combler cette lacune en construisant le premier observatoire câblé à l'échelle régionale (NEPTUNE); d'autres doivent être construits aux États-Unis, au Japon, à Taïwan et dans l'Union européenne dans les années à venir (Taylor, 2009). NEPTUNE (voir l'encadré 4.3) comprend cinq nodules d'instruments disposés sur le plancher océanique au large de la côte de l'île de Vancouver, reliés en réseau par 800 kilomètres de câble électro-optique sur la plaque tectonique Juan de Fuca (Barnes *et al.*, 2008). L'emplacement de ce réseau permet de faire des recherches sans précédent sur la tectonique des plaques grâce à l'observation en continu d'une région d'activité sismique (y compris les cheminées hydrothermales) et le déploiement accéléré d'instruments supplémentaires au besoin. NEPTUNE devrait aussi faciliter les progrès dans la collaboration internationale puisqu'il sera entièrement interopérable avec les plateformes similaires qui seront construites dans le cadre de la U.S. Ocean Observatory Initiative (OOI) (Taylor, 2009). Ce projet de collaboration a été l'une des nombreuses raisons pour lesquelles l'observatoire NEPTUNE a été financé par le Fonds d'accès international de la FCI. Ensemble, NEPTUNE et les pôles scientifiques régionaux de l'OOI formeront un réseau d'observation à long terme et à grande échelle couvrant l'ensemble de la zone de subduction Cascadia.

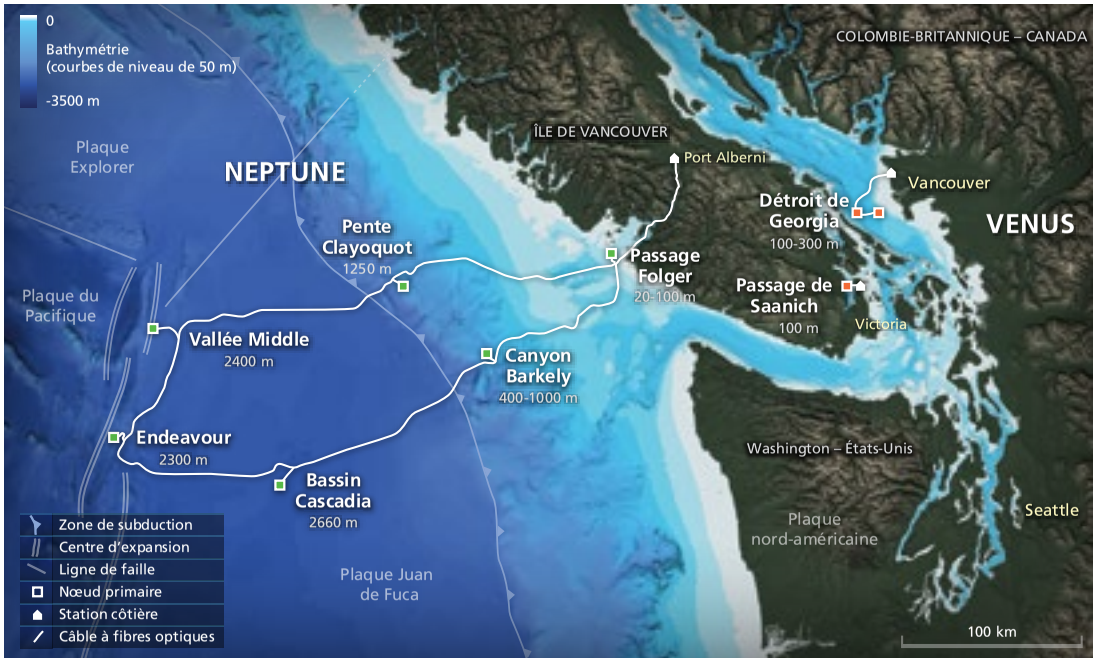
Alors que NEPTUNE et l'OOI représentent une percée extraordinaire dans l'observation de l'océan, la taille et la complexité technique de ces réseaux créent de nouveaux défis. La construction et l'exploitation de réseaux câblés requièrent des navires et des équipements spécialisés pour la pose et le déploiement des câbles et pour l'entretien des nodules et des instruments. Ces besoins accroissent la demande qui s'exerce sur une capacité déjà limitée, qui pourrait aussi être utilisée à d'autres fins. Ainsi, de 2009 à 2012, presque toutes les sorties canadiennes du Remotely Operated Platform for Ocean Sciences (ROPOS), un engin télécommandé hautement polyvalent capable de fonctionner à des profondeurs allant jusqu'à 5 000 mètres, ont été consacrées à des travaux sur NEPTUNE et VENUS (CSSF, 2013). Les coûts d'exploitation, d'entretien et de

gestion de ces observatoires câblés sont considérables, obligeant ONC à trouver d'autres sources de financement à long terme pour soutenir les opérations de façon continue (Barnes *et al.*, 2011). Un défi connexe pour la communauté scientifique est de mobiliser des ressources pour s'assurer que les réseaux câblés sont utilisés à leur pleine capacité scientifique (Taylor, 2009).

Encadré 4.3
L'observatoire Ocean Networks Canada

Ocean Networks Canada (ONC) est une filiale sans but lucratif de l'Université de Victoria qui gère NEPTUNE, le réseau d'observation côtière VENUS et le Centre for Enterprise and Engagement d'ONC (ONCCEE). NEPTUNE et VENUS sont des observatoires alimentés en courant par des câbles qui relient les nodules d'instruments à Internet, recueillent et transmettent en continu des données sur une variété de processus océaniques, y compris l'activité tectonique et sismique, les processus océaniques physiques et chimiques et la biodiversité marine (figure 4.6). En 2012, ONC a étendu ses activités dans l'Arctique en installant un système câblé pilote à Cambridge Bay (ONC, 2012). NEPTUNE est une initiative de collaboration détenue et exploitée par un consortium de 12 universités canadiennes sous la direction de l'Université de Victoria; plus de 250 scientifiques ont contribué à sa conception et à son fonctionnement (Barnes *et al.*, 2008). En plus d'assurer la gouvernance et la gestion de NEPTUNE et VENUS, ONC et l'ONCCEE ouvrent des débouchés pour le secteur des sciences et des technologies de la mer au Canada dans le développement de technologies commerciales et ils encouragent l'application des connaissances aux fins des politiques scientifiques, de la commercialisation, de la sensibilisation et de l'engagement (ONC, 2013).

ONC a aussi innové en lançant le Data Management and Archiving System (DMAS), basé à l'Université de Victoria, pour le traitement des vastes quantités de données recueillies par l'observatoire ONC et les rendre accessibles à un large éventail d'utilisateurs (Barnes *et al.*, 2008). NEPTUNE et ONC sont financés par le gouvernement de la Colombie-Britannique, le gouvernement du Canada, par le biais de la Fondation canadienne pour l'innovation (FCI), le Réseau de recherche avancée et d'innovation du Canada (CANARIE) et les Réseaux de centres d'excellence (RCE); ils reçoivent aussi un soutien en nature de l'industrie (Barnes *et al.*, 2008; Taylor, 2009; CANARIE, 2012; RCE, 2012).



Adapté et reproduit avec la permission d'Ocean Networks Canada (ONC)
Source des données de bathymétrie : bathymétrie du passage de Saanich et du détroit de Georgia, Service hydrographique du Canada; USGS Cascadia DEM (modèle altimétrique numérique) report 99-369; Université de Washington (UW), École d'océanographie, R/V Thomas G. Thompson, Multibeam Cruise Data – financement provenant de la KECK Foundation et de l'UW; frontières des plaques : adapté de Dragert *et al., Science* (mai 2001). Création cartographique : Center for Environmental Visualization, École d'océanographie, UW.

Figure 4.6

L'observatoire d'Ocean Networks Canada

L'observatoire d'Ocean Networks Canada comprend les observatoires câblés VENUS (Victoria Experimental Network Under the Sea) et NEPTUNE (North-East Pacific Time-series Undersea Networked Experiment) au large de la côte pacifique du Canada. Les deux relient des nodules d'instruments par câbles électro-optiques fournissant le courant et transmettant des données à des centres terrestres qui en assurent le traitement et la gestion, et relient aussi l'observatoire à l'Internet. NEPTUNE est situé au-dessus de la plaque tectonique Juan de Fuca nord, permettant une surveillance en temps réel de l'activité tectonique et des cheminées hydrothermales.
Note : Les nodules en vert s'appliquent à NEPTUNE et ceux en rouge, à VENUS.

4.4.3 Possibilités et défis

Avec les contributions passées et présentes de la CGC et du SHC, les différents systèmes de détection et d'alerte, et les observatoires d'ONC, les sciences de la mer au Canada ont le potentiel de jouer le rôle de chef de file mondial de la recherche sur la tectonique des plaques et les risques liés au milieu marin. Cependant, comme pour la recherche sur le changement climatique, un défi majeur est de produire la cartographie complète des conditions géologiques dans les vastes zones côtières et marines du Canada, en particulier dans l'Arctique. Une large couverture de la cartographie géologique, bathymétrique et hydrographique des trois bassins océaniques du Canada est essentielle pour répondre aux questions de recherche regroupées sous ce thème et à beaucoup d'autres questions. De nouveaux défis ont surgi en tentant d'assurer une gestion stable à long terme et la viabilité financière de l'exploitation de VENUS et de NEPTUNE afin de maintenir le leadership du Canada, acquis avec la mise en place de ces installations, en les développant pour en faire des centres de recherche de calibre mondial.

4.5 LES COLLECTIVITÉS CÔTIÈRES

Les régions côtières sont des zones de transition entre la terre et la mer. Bordant les plateaux continentaux, ces zones sont parmi les plus riches en ressources de l'océan. Les régions côtières ont des socioécologies complexes, diversifiées et en évolution rapide qui sont souvent mal comprises. En 2011, 11,5 millions de Canadiens (38,3 %) vivaient à 20 kilomètres ou moins des côtes. En 2015, ce nombre devrait atteindre 16,75 millions de personnes (Manson, 2005, cité dans Ricketts et Harrison, 2007). La population côtière canadienne comprend de petites collectivités éloignées sur les trois côtes océaniques, ainsi que des centres urbains comme Vancouver et Victoria en Colombie-Britannique, Halifax, Saint-Jean, St. John's et Charlottetown dans les provinces de l'Atlantique et la ville de Québec à l'approche de l'estuaire du fleuve Saint-Laurent.

Plusieurs questions regroupées sous ce thème traitent des impacts du changement sur les collectivités côtières, y compris le changement climatique, l'acidification de l'océan et d'autres formes de changements planétaires, ainsi que des impacts plus directs des utilisations humaines de l'océan. Les petites et grandes localités côtières sont touchées par ces changements de différentes manières. Les petites collectivités côtières sont souvent isolées, parfois transitoires, et dépendent d'une ou deux industries de ressources. Plusieurs sont occupées par des communautés autochtones et se trouvent sur des terres autochtones. Les habitants des petites collectivités côtières ont peu de contrôle sinon aucun sur les causes du changement, et sont très vulnérables aux changements qui affectent leur infrastructure sociale et physique, leurs moyens de subsistance et leur culture. En milieu urbain, les moyens de subsistance sont moins directement touchés lorsque le changement global entraîne la perte de possibilités économiques comme, par exemple, un

effondrement des pêches ou la destruction de sites présentant un intérêt touristique. L'infrastructure urbaine est souvent directement exposée aux dommages causés par les tempêtes et d'autres catastrophes naturelles.

Principales questions de recherche liées aux collectivités côtières

Les questions suivantes sont numérotées et classées dans l'ordre où elles se présentent dans *Les 40 questions prioritaires pour la recherche canadienne en sciences de la mer* (CAC, 2012a) :

Q10. Comment le niveau de la mer changera-t-il au cours du prochain siècle considérant les différents facteurs en présence (fonte des glaciers continentaux et de la nappe glaciaire, expansion de l'eau de mer, circulation régionale, soulèvements géologiques et champ de gravitation) et quelles en seront les incidences sur les écosystèmes côtiers et plus largement sur les sociétés humaines à l'échelle mondiale et régionale?

Q15. Quelles incidences le changement climatique et l'acidification des océans auront-ils sur les écosystèmes et la biodiversité de l'océan, la gestion des ressources ainsi que sur les collectivités côtières?

Q17. Comment la migration et la survie des organismes marins, y compris des espèces envahissantes, sont-elles influencées par les changements environnementaux et quelles en sont les incidences socioécologiques?

Q26. Quelles seraient les incidences environnementales et sociales et quels seraient les avantages et les risques associés aux activités humaines exercées dans les océans en mutation sous l'effet des industries de l'extraction, de la pêche, du tourisme, de la navigation et des utilisations traditionnelles?

Q32. Comment les responsables des sciences et des politiques de la mer peuvent-ils aborder les changements selon une approche plus socioécologique qui reconnaît l'interdépendance et la capacité d'adaptation de la population et de l'environnement marin?

Q35. Quelles mesures doivent être mises en œuvre pour assurer la participation adéquate et efficace des diverses collectivités côtières aux processus de gestion et de gouvernance des océans et des régions côtières?

La recherche sur la gouvernance efficace des côtes et l'adaptation au changement doit donc se dérouler à plusieurs échelles et comprendre une perspective historique et une compréhension des besoins et des droits de divers groupes (Ommer et Coasts Under Stress Research Project Team, 2007). Elle est de nature pluridisciplinaire et

requiert une intégration de l'expertise des sciences naturelles et sociales. Le travail sur le terrain nécessite des chercheurs qui sont formés à une interaction respectueuse et éclairée avec des collectivités diverses, qui possèdent les compétences linguistiques requises et qui connaissent les méthodes d'accès et d'utilisation du savoir traditionnel. Bien que ce type de recherche dépende moins des infrastructures physiques que d'autres thèmes, il nécessite des ressources pour rejoindre les collectivités éloignées. L'infrastructure d'information, telle que des connexions Internet rapides à large bande passante, est essentielle pour maintenir la communication et pour recueillir et traiter des données.

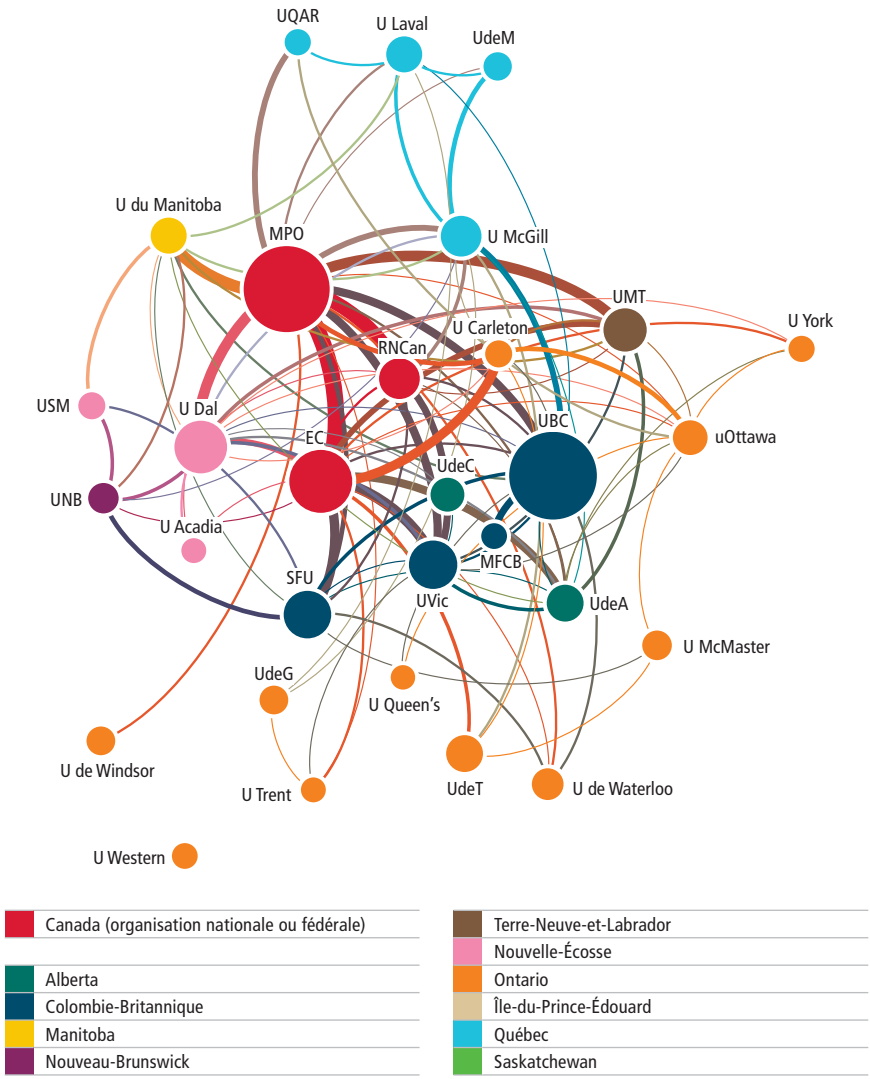
4.5.1 Fruits de la recherche et collaboration

Les articles canadiens (1 282) sur les collectivités côtières comptent pour une part significative (6,5 %) des publications mondiales et ont un impact scientifique supérieur à la moyenne mondiale (MCR = 1,23), mais occupent un rang inférieur (14e) comparativement aux principaux pays pour les autres thèmes. C'est le seul thème de recherche où la production d'articles examinés par les pairs affiche une croissance par rapport aux autres domaines au Canada (IC = 1,14), mais celle-ci est plus lente qu'au niveau mondial (IC = 1,22) (voir le tableau 4.1).

Pour ce qui est des articles inclus, les organisations les plus productives au Canada sont l'Université de la Colombie-Britannique, le MPO et Environnement Canada avec plus de 100 articles chacun entre 2003 et 2011 (figure 4.7). Les principaux centres de collaboration englobent des organismes fédéraux comme le MPO et Environnement Canada, outre l'Université Dalhousie, l'Université de Victoria et l'Université de la Colombie-Britannique. Les organisations du Québec forment une grappe régionale, ce qui semble indiquer un taux de collaboration plus élevé dans cette province qu'avec d'autres organisations.

4.5.2 Situation de la recherche

En raison de la nature interdisciplinaire de ce thème, les projets et les réseaux de recherche en collaboration constituent un volet important de la capacité. Depuis les années 1990, beaucoup de travaux de recherche sur les collectivités côtières ont été réalisés par des équipes pluridisciplinaires, à commencer par le financement de l'initiative Éco-recherche et les initiatives conjointes plus récentes de trois conseils subventionnaires canadiens (CRSNG, CRSH et IRSC), comme Coasts Under Stress, AquaNet, le réseau ArcticNet et MEOPAR des RCE, le Réseau de recherche sur la gestion des océans (RRGO) et les Alliances de recherche universités-communautés (ARUC). Coasts Under Stress est un exemple de réseau national qui a mis l'accent sur la recherche multidisciplinaire dans les régions côtières, avec une participation équilibrée de chercheurs en sciences sociales, en sciences naturelles et en santé (voir l'encadré 4.4).



Source des données : calculé par Science-Metrix en utilisant la base de données *Scopus* (Elsevier)

Figure 4.7

Réseau de collaboration des 30 principales organisations canadiennes publiant des travaux sur les collectivités côtières, de 2003 à 2011

Bien que le MPO collabore largement à la recherche sur ce thème, il ne joue pas un rôle aussi central que pour d'autres thèmes. Les universités fournissent une part plus grande des articles sur ce thème que sur d'autres thèmes, et elles jouent un plus grand rôle au sein du réseau de collaboration que les organismes fédéraux tels que le MPO, Environnement Canada et RNCan.

Note : Tous les liens sont affichés dans le réseau

Encadré 4.4
Coasts Under Stress

Coasts Under Stress est une initiative de recherche concertée, financée conjointement par le CRSNG et le CRSH sur une période de cinq ans (2000-2005), et ayant bénéficié d'un financement supplémentaire de la part de partenaires comprenant des universités, des gouvernements, des entreprises et des organisations non gouvernementales (CUS, 2004). En tant que plus grand réseau multidisciplinaire de ce genre au Canada, Coasts Under Stress a réalisé des études de cas sur les côtes Est et Ouest qui ont donné lieu à plusieurs centaines de publications, notamment des ouvrages synthétisant les résultats des travaux de recherche (CUS 2006; Ommer et Coasts Under Stress Research Project Team, 2007). Les tentatives faites pour concevoir un projet de suivi ont échoué parce que les possibilités qui s'offraient pour solliciter du financement conjoint auprès de plusieurs organismes subventionnaires étaient limitées à l'époque.

Parmi les RCE, ArcticNet se distingue par sa série d'études d'impact régionales visant à éclairer la prise de décision et la gouvernance à divers niveaux. Celles-ci pourraient servir de modèles à d'autres études d'impact sur les côtes du Canada en vue d'intégrer un plus large éventail de perspectives disciplinaires et d'améliorer leur pertinence pour la prise de décision. D'autres réseaux ou projets consacrés aux effets du changement climatique sur les collectivités côtières et leur adaptation incluent le projet Défis des communautés côtières, le projet Canada-Caraïbes sur les stratégies d'adaptation des collectivités aux changements climatiques, et le programme Impacts et Adaptation – Environnement maritime, d'Ouranos. Plusieurs provinces et territoires sont engagés dans la recherche sur l'adaptation, par le biais d'organisations telles que le Centre sur les changements climatiques du Nunavut. Au niveau fédéral, la Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques de RNCan (DIACC) assure la liaison avec les gouvernements provinciaux et territoriaux dans le but de développer des ressources d'information et des outils axés sur l'adaptation dans les zones côtières.

Le comité d'experts a identifié une lacune dans la recherche sur les communautés urbaines et les villes côtières. Une recherche par mots clés dans les publications du projet Coasts Under Stress et les exposés présentés lors des conférences biannuelles de Zone côtière Canada ont révélé qu'il y avait très peu de recherche en cours dans ce domaine. Le programme Coastal Cities at Risk: Building Adaptive Capacity for Managing Climate Change in Coastal Megacities, lancé en 2011, est susceptible de renforcer sensiblement la capacité dans ce domaine. Il vise à développer la base des connaissances et la capacité d'adaptation des mégapoles

au changement climatique, en utilisant la ville de Vancouver comme l'un des nombreux sites d'études internationales, à développer des modèles d'intégration des connaissances et des modèles de simulation interdisciplinaires, ainsi qu'à augmenter le personnel hautement qualifié par la mobilisation et l'application des connaissances (Coastal Cities at Risk, s.d.).

En ce qui concerne la gestion des pêches et des autres ressources aquatiques, le Réseau canadien de recherche sur les pêches (RCRP), financé par le CRSNG, met l'accent sur la collaboration avec l'industrie de la pêche en vue d'améliorer la science et la gestion des pêches au Canada (RCPR, 2012a). La province de la Colombie-Britannique a récemment fourni des fonds à la B.C. Foods and Resources Society et l'Université de l'île de Vancouver pour soutenir l'Aquatic Foods Initiative, dont les objectifs sont d'augmenter la valeur économique, culturelle, sociale, et écologique des ressources alimentaires aquatiques de la province grâce à des activités axées sur la salubrité des fruits de mer, la gouvernance des fruits de mer, et la signification de l'expression fruits de mer (EVI, 2013).

Depuis 2012, le nouveau programme de Subventions de partenariat du CRSH a permis de financer les partenariats suivants, d'une durée de sept ans, en lien avec l'océan :

- « Community conservation research network: exploring local-level environmental stewardship across land and sea » (réseau communautaire de recherche sur la conservation : explorer la gérance locale de l'environnement terrestre et marin) (Université Saint Mary's);
- « Too big to ignore: global partnership for small-scale fisheries research » (trop gros pour être ignoré : partenariat mondial pour la recherche sur les pêches à petite échelle) (Université Memorial);
- « Exploring distinct indigenous knowledge systems to inform fisheries governance and management on Canada's coasts » (l'exploration des systèmes de connaissances autochtones distinctifs pour éclairer la gouvernance et la gestion des pêches sur les côtes du Canada) (Université Dalhousie).

La collaboration entre les chercheurs et les collectivités côtières prend aussi la forme d'organisations de cogestion rassemblant des groupes d'intervenants locaux, comme les organisations de chasseurs et de pêcheurs, avec des organismes gouvernementaux, des ONG et des régies publiques pour partager la responsabilité de la gestion des ressources naturelles (MPO, 2010a). Ces organisations peuvent devenir d'importants mécanismes de mobilisation et de co-production de connaissances : « Un processus de collaboration réunissant une pluralité de sources et de types de connaissances [y compris le savoir traditionnel] pour résoudre un problème précis et acquérir une compréhension intégrée ou systémique de ce problème » [traduction] (Dale et Armitage, 2011) (voir l'encadré 5.3). Les connaissances produites par ces processus

sont essentielles pour trouver des réponses aux questions de recherche sur la gestion durable des systèmes de ressources, pour comprendre les impacts socioécologiques et pour élaborer des stratégies d'adaptation. Le processus de co-production de connaissances est lui-même un domaine de recherche émergent (Armitage *et al.*, 2011). Entre autres avantages, ce type de recherche contribue à l'élaboration d'approches socioécologiques au changement (Q32) et à la cogestion (Q35).

L'importance d'une formation interdisciplinaire, d'habiletés culturelles et linguistiques et d'une expérience des processus tels que la co-production de connaissances, fait de la capacité humaine un indicateur clé de la capacité de recherche globale liée aux collectivités côtières. Cependant, la capacité humaine est difficile à estimer dans ce domaine. Bien que des chercheurs de nombreuses disciplines fassent de la recherche sur les collectivités côtières, celle-ci n'est pas facilement captée dans une recherche par mots clés pertinents aux sciences de la mer. En l'absence d'autres sources, les données du CRSH sur le financement ainsi que le nombre de participants aux conférences et colloques de Zone côtière Canada peuvent être utilisés comme indicateurs de l'activité de recherche (voir l'encadré 4.5). Ils révèlent que d'importants travaux de recherche sont en cours, notamment sur des sujets tels que les pêches, les questions autochtones, l'aquaculture, le développement côtier, la sécurité physique en lien avec l'érosion du littoral et d'autres changements océaniques, et les questions de gouvernance des côtes.

Encadré 4.5
Association Zone Côtière Canada (AZCC)

L'AZCC est une société canadienne sans but lucratif qui appuie la gestion intégrée des zones côtières (GIZC) au Canada et à l'étranger (AZCC, 2013). L'AZCC parraine des conférences biannuelles sur la GIZC attirant entre 300 et 600 participants qui viennent y présenter de la recherche et des expériences pratiques sur la GIZC. Chaque conférence débouche sur la publication d'une déclaration dans laquelle les résultats de la recherche et les messages clés sont synthétisés à l'intention des décideurs et des professionnels. Grâce à ses conférences et à ses activités de sensibilisation, l'AZCC a réussi à faire du Canada un pôle majeur de dialogue international sur la gestion côtière et océanique (Ricketts *et al.*, 2004).

Au-delà de la capacité humaine et des réseaux interdisciplinaires, un atout important pour aborder les questions de recherche regroupées sous ce thème est de disposer d'ensembles de données de haute qualité sur les activités humaines, la démographie, l'économie, la santé et les cultures dans les régions côtières

qui peuvent être reliés à des ensembles de données spatiales sur la répartition des ressources, la température, la hauteur des vagues, la structure côtière, etc. Les ensembles de données à long terme ont historiquement été créés par les ministères fédéraux et provinciaux, dont le MPO (par exemple les données de levés recueillies par les navires de recherche, les données de marquage, les données sur les pêches telles que la valeur des débarquements et des exportations, les données des journaux de bord et les données sur les coûts et les gains), Statistique Canada (par exemple les données du recensement, l'Enquête sur la population active, les données sur les déclarants et les données de l'assurance-emploi), Environnement Canada (les données météorologiques) et RNCan (par exemple les données sur la couverture de glace côtière, l'érosion des côtes et l'élévation du niveau de la mer). La continuité de certains de ces services de collecte de données pourrait être menacée en raison de changements de politiques récents, tels que le remplacement du long formulaire de recensement obligatoire (qui a servi de base de référence pour d'autres enquêtes) par l'Enquête nationale auprès des ménages, qui est facultative (Green et Milligan, 2010).

L'augmentation des populations côtières, les changements dans leur répartition, ainsi que les activités marines et côtières de plus en plus intenses et diversifiées mettent en relief les nouveaux défis socioécologiques qui surgissent dans les régions côtières, de même que la nécessité connexe d'avoir des données précises, à une échelle fine et à jour sur les zones côtières et littorales. Ces données sont essentielles pour faire un suivi des possibilités et des défis émergents pour les collectivités côtières et pour élaborer une gestion intégrée efficace des zones côtières. Malheureusement, les données sur les peuplements de poisson et leur habitat dans la zone littorale, ainsi que sur le visage socioéconomique changeant des collectivités côtières, sont limitées et variables, comme le sont les ressources nécessaires pour surveiller ce qui se passe à l'échelle locale et régionale de façon continue. À titre d'exemple, des inventaires des ressources côtières à partir des connaissances locales ont été effectués, mais seulement une fois, et les résultats n'ont pas été confirmés (O'Brien *et al.*, 1998).

4.5.3 Possibilités et défis

Les renseignements examinés par le comité d'experts montrent qu'un important contingent de chercheurs travaille sur des questions touchant aux collectivités côtières du Canada. Ils indiquent aussi que ces chercheurs possèdent une solide expertise et ont accès à la capacité requise pour répondre aux questions de recherche sur les collectivités côtières, y compris sur les effets du changement climatique et l'adaptation, la gestion communautaire des ressources côtières et halieutiques, et les modalités de cogestion. L'information examinée met également en relief l'importance des grands réseaux interdisciplinaires pour améliorer la compréhension des déterminants et des conséquences des changements dans

les collectivités côtières à diverses échelles. Ces réseaux sont essentiels aussi pour mobiliser ces connaissances et ils offrent la possibilité de mener des recherches interdisciplinaires et la formation connexe. L'expérience des grands programmes multidisciplinaires et pluriannuels tels que Coasts Under Stress incite à penser que ces initiatives ont peu de chance de se prolonger au-delà de la période de financement initiale. Un défi majeur consiste donc à mettre en place un mécanisme de formation interdisciplinaire continue, de collaboration et d'intégration de la recherche sur les collectivités côtières, afin de maintenir et de mobiliser les connaissances et les compétences accumulées.

Assurer la continuité de la collecte de données sur les activités humaines et leur intégration avec les données spatiales et environnementales pertinentes soulève aussi des défis. Le faible niveau d'activité de recherche sur les villes côtières témoigne aussi des difficultés associées à la réalisation des importants travaux de recherche sur l'urbanisation du littoral.

4.6 L'OCÉAN ARCTIQUE

L'Arctique est l'une des zones océaniques qui connaît les changements physiques, écologiques et sociaux les plus rapides. La glace de mer et les températures froides présentent des défis pour la recherche, ce qui se traduit par de nombreuses lacunes importantes dans nos connaissances, alors que le contexte socioécologique distinctif et dynamique de cette région offre par ailleurs de nombreuses possibilités de recherche. Le recul de la glace de mer causé par la hausse des températures ouvre l'accès à de nouveaux gisements de ressources minérales et énergétiques, à des routes maritimes et aux activités de pêche. La demande mondiale croissante pour ces ressources engendre de nouvelles possibilités de développement économique dans la région, mais des recherches supplémentaires sont aussi nécessaires pour s'assurer que la mise en valeur de ces ressources est durable sur les plans social, environnemental et économique. En conséquence, l'Arctique reçoit une plus grande attention de la part du gouvernement fédéral par le biais d'instruments de politique comme la *Stratégie pour le Nord du Canada* (GC, 2009).

Les priorités de la recherche dans l'Arctique recoupent toutes les dimensions des sciences de la mer, avec un accent particulier sur les effets du changement climatique. Plusieurs questions de recherche regroupées sous ce thème sont étroitement liées à la problématique des interactions océan-climat (section 4.1), à celle de la tectonique des plaques et à celle des dangers naturels (section 4.4). La dernière question (Q36) reconnaît l'importance des collectivités côtières du Nord en tant que participants actifs aux travaux de recherche et à la gestion des écosystèmes de l'Arctique.

Principales questions de recherche liées à l'océan Arctique

Les questions suivantes sont numérotées et classées dans l'ordre où elles se présentent dans *Les 40 questions prioritaires pour la recherche canadienne en sciences de la mer* (CAC, 2012a) :

Q1. Quels sont les processus qui influent sur la couverture de glace de mer dans l'Arctique? Combien de temps faudra-t-il pour que l'océan Arctique soit libre de glace de manière saisonnière? Quelles seront les incidences climatiques, biogéochimiques, écologiques, socioéconomiques, culturelles et géopolitiques de la disparition saisonnière de la glace de mer?

Q2. Quelle est l'incidence du changement climatique sur les cycles biogéochimiques (le carbone, les éléments nutritifs, les éléments essentiels, les contaminants) dans l'océan Arctique et quels en sont les effets de rétroaction et d'interaction pour le système océanique mondial?

Q3. Comment est-ce que l'interaction océan-glace-atmosphère dans l'océan Arctique et les mers environnantes va-t-elle toucher et sera elle-même touchée par les changements climatiques et comment la productivité, la biodiversité et les services des écosystèmes benthiques, pélagiques et de glace de mer de l'Arctique en seront-ils influencés?

Q4. Comment l'océan, la terre et le fond océanique continental interagissent-ils dans l'Arctique? Comment les interactions évolueront-elles sous l'effet du changement climatique? Quelles régions sont à risque d'être touchées par l'érosion, les inondations, la déstabilisation des infrastructures, le dégel du pergélisol ou la sublimation des hydrates de gaz?

Q27. Quelles sont les incidences des déversements pétroliers dans les régions océaniques froides et profondes et sous les glaces de mer et quelles stratégies et technologies peuvent être utilisées pour prévenir et atténuer ces incidences?

Q36. Comment peut-on habiliter et engager les collectivités nordiques et côtières, ainsi que leurs systèmes de connaissance à participer à l'étude, à la surveillance et à la gestion des océans afin de développer leur capacité d'adaptation?

4.6.1 Production de la recherche et collaboration

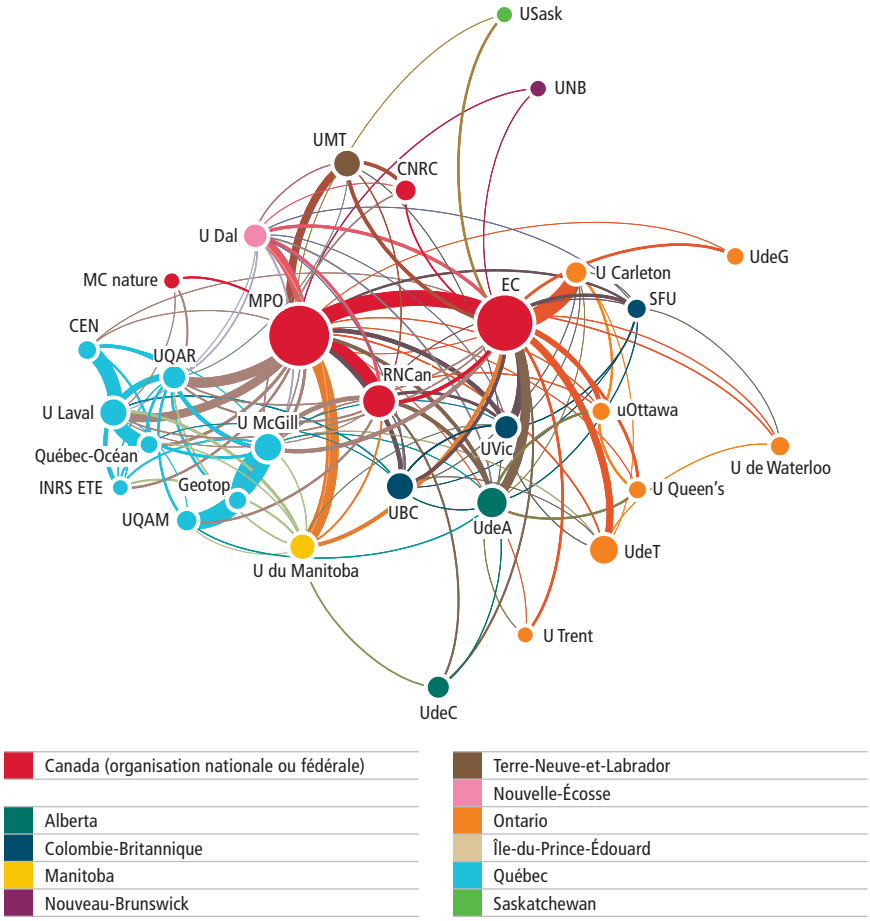
L'océan Arctique est l'un des thèmes de recherche où la production internationale de publications est la moins élevée (voir le tableau 4.1). Le Canada est fortement spécialisé dans ce thème (IS = 3,15) et contribue une plus grande part des publications mondiales que pour tout autre thème de recherche (13 %), venant au second

rang derrière les États-Unis. L'impact scientifique des publications canadiennes sur l'océan Arctique (MCR = 1,26) est supérieur à la moyenne mondiale, mais le rang du Canada selon cette mesure (13e) est inférieur à la plupart des autres thèmes. Le Canada a un indice de croissance (IC = 0,95) supérieur à la moyenne mondiale (IC = 0,91) pour ce qui est des publications traitant de l'océan Arctique, en contraste avec d'autres thèmes où l'indice de croissance au Canada a tendance à être plus faible. Cependant, avec un indice de croissance de moins de 1,0, les recherches sur l'océan Arctique ne progressent pas aussi rapidement que celles consacrées à d'autres domaines, au Canada ou à l'échelle mondiale. Ces résultats semblent indiquer que, même si les publications canadiennes sur l'océan Arctique ont eu un impact scientifique relativement faible par rapport à d'autres pays, le niveau élevé des activités de recherche au Canada pourrait constituer un bon point de départ pour hausser sa stature internationale.

Le MPO et Environnement Canada — les organisations les plus productives dans la recherche sur l'océan Arctique — fonctionnent comme de grands centres de collaboration (figure 4.8). La plupart des universités collaborent davantage avec le MPO, Environnement Canada et Ressources naturelles Canada qu'elles ne le font entre elles, à l'exception des universités du Québec. Au Québec, les centres de collaboration sont liés à des réseaux provinciaux comme Québec-Océan et le Centre d'études nordiques (CEN). En plus des universités établies dans les régions côtières, l'Université de Toronto, l'Université de l'Alberta, l'Université de Calgary et l'Université du Manitoba figurent parmi les principaux établissements au chapitre des publications de recherche et ont des liens de collaboration étroits avec les ministères fédéraux. La place importante qu'occupent des établissements de partout au Canada indique que la localisation pourrait être moins pertinente pour la recherche sur l'océan Arctique que pour d'autres thèmes.

4.6.2 Situation de la recherche

Plusieurs ministères fédéraux contribuent à la recherche sur l'océan Arctique. Ainsi, le Programme du plateau continental polaire de RNCan, qui coordonne la logistique sur le terrain pour l'avancement des connaissances scientifiques et la gestion des terres et des ressources naturelles du Canada dans l'Arctique, a collaboré avec Affaires étrangères et Commerce international Canada et RDDC au développement de véhicules sous-marins autonomes (VSA) pour l'exploration de la région arctique (MAECI, 2011). Environnement Canada et le MPO travaillent également en partenariat pour surveiller les conditions de glace (EC, 2011, 2012). Le Canada collabore par ailleurs avec les États-Unis, d'autres pays de l'Arctique et des organisations internationales en vue d'harmoniser la collecte de renseignements et leur utilisation dans les levés de la CNUDM visant à délimiter le plateau continental canadien, et aux fins des services liés aux glaces (GCC, 2011; EC, 2011).



Source des données : calculé par Science-Metrix en utilisant la base de données *Scopus* (Elsevier)

Figure 4.8

Réseau de collaboration des 30 principales organisations canadiennes publiant des travaux sur l'océan Arctique, de 2003 à 2011

Le MPO et Environnement Canada sont les deux principaux pôles de collaboration, bien qu'une grappe d'universités et d'autres organisations au Québec montrent aussi des niveaux élevés de collaboration.

Note : seuls les liens représentant cinq collaborations ou plus entre des organisations sont affichés pour rendre la figure plus lisible.

La collaboration en recherche dans l'Arctique bénéficie de l'appui de la Commission canadienne des affaires polaires (CCAP) et de son Réseau canadien d'information polaire, qui réunit tout un groupe de spécialistes des régions polaires et d'installations de recherche nordique accessibles au moyen d'une carte interactive en ligne (CCAP, 2012). En collaboration avec Affaires autochtones

et Développement du Nord Canada, la CCAP soutient le Réseau canadien d'opérateurs de recherche nordique (RCORN), qui sert de forum aux exploitants d'installations de recherche dans la région arctique et subarctique du Canada.

La communauté internationale de la recherche dans l'Arctique s'est engagée à mettre en commun les données de la recherche et à améliorer le partage des connaissances et à constituer une base commune de savoir. Ainsi, le Catalogue de données polaires est un service d'archivage qui décrit et donne accès à divers ensembles de données sur l'Arctique et l'Antarctique (ArcticNet, 2011). ArcticNet est devenu un important réseau de collaboration pour faciliter la recherche sur tout un éventail de questions, y compris la participation des collectivités de l'Arctique, de l'industrie et d'autres partenaires nationaux et internationaux (voir l'encadré 4.6).

Encadré 4.6
ArcticNet et le *NGCC Amundsen*

En 2002, un consortium formé d'universités canadiennes et d'organismes fédéraux s'est servi d'une subvention de 27,4 millions de dollars de la FCI et de fonds supplémentaires provenant d'autres sources pour rénover et transformer un brise-glace déclassé en un navire de recherche sur l'Arctique à la fine pointe de la technologie. Le *NGCC Amundsen* assure des fonctions de la Garde côtière la plupart du temps en hiver, mais sert exclusivement de navire de recherche pendant les mois d'été. Lors de sa première mission, l'*Amundsen* est resté dans l'Arctique canadien pendant plus d'un an sans retourner à son port d'attache. Il a aussi transporté du personnel de recherche vers 14 collectivités éloignées du Nord du Québec pour la *Qanuippitaa*? (Comment sommes-nous?), qui est une enquête sur la santé (NGCCAS, 2013c).

La Garde côtière canadienne a la propriété du *NGCC Amundsen* et en assure l'exploitation; elle gère ses missions en collaboration avec un comité d'universités et d'instituts de recherche (NGCCAS, 2013a). Cet arrangement a permis à la communauté scientifique canadienne de trouver collectivement du financement auprès de diverses sources afin d'offrir l'accès partagé à une infrastructure essentielle. ArcticNet, un RCE créé en 2004, utilise le *NGCC Amundsen* comme principale plateforme mobile de recherche (NGCCAS, 2013b). Le réseau réunit des centaines de chercheurs d'universités et d'organismes gouvernementaux travaillant en collaboration avec plus de 100 organismes partenaires de 15 pays. ArcticNet et l'*Amundsen* ont transformé la recherche dans l'Arctique et ont contribué à renforcer la collaboration au niveau national, ainsi qu'entre le milieu universitaire, le secteur privé et les collectivités locales. En reconnaissance de ses contributions à la science de l'Arctique, l'*Amundsen* a été choisi pour servir de thème sur le billet de 50 $ du Canada (NGCCAS, 2013c).

Une critique adressée à la recherche passée dans l'Arctique est que les scientifiques arrivaient dans le Nord sans avoir les compétences nécessaires en sciences sociales pour recueillir et intégrer le savoir local aux sciences de la mer et établir le contact avec les collectivités arctiques (Dale et Armitage, 2011). La recherche doit aussi respecter les droits des communautés à préserver, contrôler, protéger et développer leurs connaissances, en conformité avec les accords internationaux tels que la Déclaration des Nations Unies sur les droits des peuples autochtones et la Convention sur la diversité biologique. Il y a un besoin non comblé de comprendre comment partager ou coproduire, intégrer et appliquer les connaissances provenant de différentes traditions afin de faciliter la cogestion (Armitage *et al.*, 2011). D'autres pays ont établi des modèles en vue de remédier à cette lacune, comme l'Alaska Native Knowledge Network, à l'Université de l'Alaska à Fairbanks, ou le Centre de recherche Sami, à l'Université de la Laponie. Au Canada, le Inuit Knowledge Centre — Inuit Qaujisarvingat — a été créé en 2010 (Inuit Qaujisarvingat, 2013).

Sur le plan international, le Canada participe à plusieurs projets de collaboration issus de l'Année polaire internationale ou lancés par le Conseil de l'Arctique, tels que Maintenir les réseaux d'observation dans l'Arctique (AADNC et CCAP, 2011; Lockwood *et al.*, 2012). En assumant la présidence du Conseil de l'Arctique pour la période 2013–2016, le Canada a une occasion de renforcer la collaboration et le leadership à l'échelle internationale.

Infrastructure

Des navires capables de se déplacer à travers les glaces sont indispensables pour la plupart des activités de recherche dans l'Arctique, servant de plateformes de recherche mobiles et de moyen d'accéder aux stations de recherche et aux collectivités de cette région. La GCC exploite actuellement six brise-glaces, dont trois sont régulièrement utilisés pour la recherche dans l'Arctique. Le *NGCC Louis S. St-Laurent* (1968, 120 m, 20 142 kW) possède des installations de laboratoire et des équipements spéciaux tels que des treuils scientifiques. Le navire de taille moyenne *NGCC Amundsen* (1979, 98 m, 11 155 kW) est réservé à la recherche pendant les mois d'été et transporte un imposant inventaire de matériel scientifique, ce qui en fait une plateforme polyvalente pour la recherche océanique (voir l'encadré 4.6) (ArcticNet, 2011). Le navire de plus petite taille *NGCC Laurier* (1986, 83 m, 5 250 kW) mène des activités scientifiques dans l'Arctique occidental (GCC, 2010, 2012a). En outre, le *NAFC Quest*, un navire de recherche de RDDC, effectue occasionnellement de la recherche militaire dans l'Arctique dans des conditions de glace légère (RDDC, 2012).

Dans le cadre de la Stratégie nationale d'approvisionnement en matière de construction navale (SNACN), le Canada s'est engagé à construire, d'ici 2017, un brise-glace polaire (*NGCC John G. Diefenbaker*) qui devrait disposer d'une importante capacité scientifique (GCC, 2012a, 2012d). La SNACN prévoit également la construction de six navires polyvalents de patrouille au large des côtes et dans l'Arctique, ayant une capacité partielle de circuler dans les glaces et pouvant être utilisés à des fins scientifiques. Ces achats offrent la possibilité d'élargir considérablement l'infrastructure matérielle du Canada pour la recherche dans l'océan Arctique. Avec le *NGCC Diefenbaker* et le *NGCC Amundsen*, le Canada disposera bientôt de deux brise-glaces pour effectuer de la recherche durant toute l'année dans des conditions de glace de mer à l'horizon de deux ans et des conditions de glace pluriannuelles modérées. Ces deux brise-glaces sont toutefois affectés aux services de déglaçage réguliers pendant l'hiver, ce qui peut engendrer des problèmes de répartition, notamment si les besoins de déglaçage saisonnier changent en raison du changement climatique.

Le Canada dispose également d'une vaste capacité d'observation à distance dans l'Arctique, y compris des systèmes satellitaires actifs : le SSM / I pour recueillir des données sur l'étendue des glaces de mer, et RADARSAT II pour étudier la dynamique des glaces de mer (ASC, 2012a). La plateforme Constellation de RADARSAT doit entrer en service en 2018 avec le lancement de trois satellites. La mission PolarSat (Communications polaires et Météo-1), qui doit aussi débuter en 2018, fournira des services continus d'observation météorologique et de communication dans l'Arctique, y compris la température à la surface de l'océan, l'étendue et l'épaisseur des glaces de mer et tout un éventail de variables atmosphériques (ASC, 2012b). À l'heure actuelle, différents instruments embarqués sur des satellites tels que MODIS et SeaWifs détectent la couleur de l'océan, à partir de laquelle il est possible de déduire la biomasse du phytoplancton et d'autres variables clés. Cependant, la résolution est souvent mauvaise pour les régions arctiques et il n'y a pas de détecteur de couleur de l'océan sur orbite polaire (Gregg et Casey, 2007).

Les plateformes autonomes comme les VSA, les planeurs océaniques et les bouées automatisées offrent un grand potentiel pour faciliter et intensifier les travaux de recherche dans l'Arctique une fois qu'ils ont été adaptés aux conditions de glace de mer et de froid extrême. Le Canada a fait d'importantes contributions à la technologie d'observation dans l'Arctique, par exemple les deux VSA Arctic Explorer qui ont effectué des levés bathymétriques que le Canada a soumis pour délimiter son plateau continental. L'un de ces VSA a établi un nouveau record en fonctionnant sans interruption pendant 12 jours sous la banquise arctique (Kaminski *et al.*, 2010; ISE, 2011).

Il existe des infrastructures terrestres servant à l'étude des mers recouvertes de glace à divers endroits au Canada. Le Sea-ice Environmental Research Facility (SERF), récemment inauguré à l'Université du Manitoba, comprend une piscine extérieure d'eau de mer pour étudier la glace de mer dans des conditions contrôlées (SERF, s.d.). Le CNRC exploite plusieurs réservoirs de glace qui simulent des environnements arctiques et peuvent être utilisés pour des essais portant sur de nouveaux modèles de navires et à d'autres fins de recherche (CNRC, 2012c; Safer, 2012). Parmi les laboratoires du MPO, l'Institut océanographique de Bedford, l'Institut des sciences de la mer, et l'Institut des eaux douces font de la recherche dans l'océan Arctique. Le programme de recherche sur l'Arctique du MPO s'étend à l'écologie et à l'étude des poissons et des mammifères marins, à l'évaluation des stocks, à l'environnement, et aux contaminants (MPO, 2010b). Plus de 80 stations de recherche de tailles et capacités différentes sont réparties à travers l'Arctique canadien, dont 33 se trouvent sur les côtes (CCAP, 2012). En 2017, ces stations seront complétées par la Station de recherche du Canada dans l'Extrême-Arctique (SRCEA), à Cambridge Bay, au Nunavut. On prévoit que la SRCEA, qui comprendra des installations pour la recherche marine, deviendra un pôle fonctionnant tout l'année pour les activités scientifiques canadiennes et internationales dans l'Arctique (AADNC et PCC, 2011).

4.6.3 Possibilités et défis

L'importance clé de l'Arctique pour le développement futur du Canada se reflète dans les décisions de politique récentes et les investissements actuels et futurs dans des infrastructures physiques, comme les brise-glaces, les stations de recherche, les réseaux et les projets de recherche à grande échelle auxquels participent les collectivités du Nord. La présidence du Conseil de l'Arctique pour la période 2013–2015 donne au Canada l'occasion de rehausser son profil international dans la recherche sur l'Arctique et de prendre l'initiative d'établir de nouvelles collaborations internationales. Ces circonstances offrent des possibilités exceptionnelles pour trouver réponse aux questions de recherche sur l'océan Arctique, et, du même coup, contribuer à des thèmes plus vastes tels que le changement climatique, la gestion des ressources au niveau communautaire, la biodiversité marine de l'Arctique et la mise en place d'une stratégie de développement durable pour l'Arctique.

La nature transversale de la recherche sur l'Arctique signifie toutefois que les scientifiques sont confrontés aux mêmes défis que dans d'autres régions. Ainsi, la recherche sur le changement climatique est limitée par la faible couverture des données sur l'Arctique. De même, les lacunes dans les données socioéconomiques et d'enquête limitent la recherche sur les collectivités côtières du Nord (voir la section 4.5). Un autre défi est de s'assurer qu'une priorité adéquate soit accordée à la recherche pour qu'elle puisse suivre la cadence des décisions de politique et

des activités humaines qu'elle est censée éclairer, par exemple la recherche sur les conséquences des déversements de pétrole dans l'environnement arctique. L'Arctique présente de nombreuses possibilités de recherche, mais plusieurs requièrent des investissements importants. Les coûts supplémentaires inhérents à l'étude des questions de recherche sur l'océan Arctique entraînent des arbitrages entre les investissements axés sur la capacité de recherche dans l'Arctique et ceux consacrés à la capacité de recherche dans d'autres zones marines.

5

Possibilités et défis dans les domaines émergents et futurs des sciences de la mer au Canada

- La technologie océanique
- La gouvernance de l'océan
- La santé et le bien-être humains

5 Possibilités et défis dans les domaines émergents et futurs des sciences de la mer au Canada

Principales constatations

- Le développement des technologies océaniques engendre continuellement de nouvelles possibilités pour la recherche scientifique qui sont souvent saisies par des alignements entre les gouvernements, les universités et le secteur privé.
- Les chercheurs qui se penchent sur la gouvernance de l'océan prennent davantage conscience de la nécessité de tenir compte de l'incertitude inhérente à la dynamique des systèmes socioécologiques marins, remettant ainsi en cause les approches scientifiques établies et les structures institutionnelles.
- La recherche canadienne sur la santé et le bien-être humains a été étroitement ciblée et elle n'englobe que rarement les aspects multidimensionnels du bien-être, lesquels sont de plus en plus reconnus au niveau international.

La nature prospective du processus qui a produit *Les 40 questions prioritaires pour la recherche canadienne en sciences de la mer* signifie que plusieurs de ces questions transcendent les activités de recherche traditionnelles. La capacité requise pour répondre à ces questions de recherche s'appuie également sur des besoins qui n'ont pas encore été définis en raison de la nature émergente ou dynamique des domaines de recherche. Alors que la capacité de répondre à certaines questions peut nécessiter des outils, des méthodes ou des approches qui n'ont pas encore été créés, d'autres mettent en cause l'expérimentation de nouveaux outils, méthodes et approches dont le potentiel n'a pas été vérifié mais qui pourraient devenir la norme dans un avenir rapproché. Quoi qu'il en soit, ces activités ne sont pas adéquatement prises en compte dans l'analyse bibliométrique, en raison i) du caractère émergent et pluridisciplinaire de la recherche et des exigences connexes et ii) de la production d'extrants tels que des technologies, des conseils sur les politiques ou des rapports qui ne sont pas saisis dans les données bibliométriques (voir la section 3.2).

La technologie océanique est un secteur dynamique de l'économie canadienne. La recherche en cours facilite la création de nouvelles technologies, elle offre la possibilité d'utiliser des outils et des méthodes de façons nouvelles et elle engendre des occasions d'innover. À mesure que l'océan et nos rapports avec celui-ci changent, sa contribution au bien-être des Canadiens évolue. Cependant, la recherche sur les nombreux processus qui relient l'océan à la santé et au bien-être humains demeure un domaine émergent au Canada et ailleurs dans le monde.

La nature dynamique et interactive des systèmes socioécologiques marins — et de la recherche elle-même — oblige les systèmes de gouvernance à s'adapter à l'évolution des circonstances. Dans sa version finale, la série de 40 questions de recherche nous incite à explorer les moyens d'améliorer la gouvernance de l'océan et elle examine la façon dont la science peut éclairer la gestion des activités humaines en milieu océanique.

5.1 LA TECHNOLOGIE OCÉANIQUE

La technologie soutient et facilite de nombreuses activités scientifiques et commerciales dans l'océan. Le développement technologique est un pilier du *Plan d'action sur les océans du Canada* (MPO, 2005) et une priorité de la recherche canadienne dans l'Arctique. Il a le potentiel d'améliorer la surveillance, les télécommunications, la sécurité et diverses infrastructures (CAC, 2008). La science et la technologie sont souvent associées et elles profitent mutuellement l'une de l'autre : la recherche permet le développement de méthodes, de processus et d'outils nouveaux qui, à leur tour, permettent de recueillir de nouvelles données qui contribuent à la connaissance scientifique de manières parfois inattendues. Ainsi, les capteurs magnétiques et acoustiques développés au cours de la Seconde Guerre mondiale pour détecter les sous-marins ont ouvert de nouvelles possibilités pour la recherche sur la tectonique des plaques, la cartographie du fond océanique et l'océanographie physique (Doel *et al.*, 2006). Le marché mondial des technologies océaniques engendre des défis concurrentiels à l'échelle internationale, mais il peut aussi être un créneau important pour le leadership du Canada et sa contribution aux programmes de recherche et d'observation de l'océan à l'échelle mondiale.

Plusieurs des 40 questions de recherche mettent en évidence la nécessité de mettre au point de nouveaux capteurs, plateformes, produits et autres technologies pour améliorer l'observation et la surveillance de l'océan. Les technologies nouvelles et émergentes vont permettre l'accès continu à plus de zones océaniques que jamais auparavant, faire évoluer la vision de l'océan d'une série « d'instantanés » dans l'espace à des données en temps réel offrant des résolutions spatiales et temporelles plus fines, ainsi qu'à des mesures simultanées de multiples processus interactifs (Delaney et Barga, 2009; Kintisch, 2013). La technologie peut aussi transformer la façon dont l'information est échangée entre les chercheurs ou communiquée aux utilisateurs et aux décideurs. Une grande partie de cette technologie n'est pas exclusive aux sciences de la mer, provenant de domaines tels que la nanotechnologie, la biotechnologie, les technologies de l'information, la robotique et l'ingénierie (Delaney et Barga, 2009). L'utilisation de technologies existantes et nouvelles pour assurer une observation utile est un défi qui requiert une coordination et un alignement des intervenants de la communauté canadienne des sciences de la mer.

Principales questions de recherche liées à la technologie océanique

Les questions suivantes sont numérotées et classées dans l'ordre où elles se présentent dans *Les 40 questions prioritaires pour la recherche canadienne en sciences de la mer* (CAC, 2012a) :

Q18. Quels capteurs in situ et quelles plateformes doivent être mis au point pour améliorer notre capacité d'observation des propriétés biologiques, chimiques, physiques et géologiques des océans?

Q19. Quelle est la bathymétrie et quelles sont les caractéristiques détaillées du fond océanique des marges des trois océans limitrophes du Canada? Quelles nouvelles technologiques sont requises pour cartographier et caractériser le fond océanique et ses habitats?

Q21. Quelles sont les tendances à long terme dans la distribution tridimensionnelle des principales variables océanographiques (température, biomasse, saturation en oxygène, salinité, système carbonique, variation du niveau de la mer, courants, etc.) des océans du monde? Où et comment doit-on mesurer ces variables pour établir les tendances à long terme?

Q23. Comment peut-on développer des capteurs et des infrastructures de plateformes autonomes et interconnectés capables de produire des données et des produits de données océanographiques comparables à des fins d'observation, de surveillance, d'analyse et de prise de décisions?

Q24. Comment peut-on établir, exploiter et entretenir un réseau canadien d'observations océanographiques capable de relever les changements environnementaux et leurs incidences?

Q39. Quelles technologies et stratégies sont requises pour développer et livrer des ressources énergétiques et minérales océaniques, renouvelables et non renouvelables, à la société en limitant au minimum le tort causé au milieu océanique?

5.1.1 Situation de la recherche

Presque toutes les questions de recherche sur les technologies océaniques sont liées à l'observation de l'océan, qui joue un rôle fondamental pour comprendre et prédire les événements dans l'océan. La Q18 et la Q19 mettent l'accent sur le besoin d'avoir de nouvelles technologies d'observation. D'autres questions (Q21, Q23 et Q24) soulignent la nécessité de concevoir et de déployer des systèmes d'observation, ce qui englobe en définitive les questions de politique

et de gouvernance de la science concernant la façon de gérer des ressources limitées. La dernière question (Q39) reconnaît la nécessité d'une stratégie élargie d'exploitation durable des ressources océaniques, tout en visant à atténuer au minimum ses effets nocifs. Toutes ces questions, qui s'appliquent aussi à l'utilisation des technologies existantes et nouvelles, pourraient devoir être réexaminées à mesure que le développement technologique modifie les exigences, l'offre et le coût des systèmes d'observation et qu'évoluent les accords et les partenariats internationaux régissant l'observation de l'océan à l'échelle mondiale. La formulation de la plupart des questions de recherche regroupées sous ce thème incite à penser que les besoins de la science et de la technologie demeurent inconnus, ce qui vient compliquer l'évaluation de la capacité du Canada dans ce domaine.

Le Canada a un intérêt particulier pour l'observation océanique en raison de son long littoral et du fait que son économie repose en partie sur l'océan. Les nombreuses zones recouvertes de glace de mer, en particulier dans l'Arctique, continuent de poser un défi pour l'observation au Canada. Cependant, les efforts visant à relever ce défi ont permis au Canada d'acquérir une expérience et une expertise internationalement reconnues, dont témoignent des développements tels que le VSA Arctic Explorer, les profileurs amarrés Icycler et SeaCycler (voir l'encadré 5.1) et les nombreuses innovations mises au point par le Centre for Cold Ocean Resource Engineering (C-CORE) pour l'extraction du pétrole et du gaz. Au-delà de l'Arctique, les chercheurs canadiens ont aussi dirigé des efforts d'observation internationaux, dont le Census of Marine Life, l'Ocean Tracking Network et des observatoires câblés tels que VENUS et NEPTUNE.

Après les investissements du secteur privé, les marchés publics peuvent être un important moteur de développement technologique (Jenkins *et al.*, 2013). Comme le révèlent les exemples présentés dans l'encadré 5.1, le gouvernement fédéral est un client important des sociétés technologiques telles que ISE et MacDonald, Dettwiler and Associates Ltd. Un autre domaine où les marchés publics peuvent avoir des retombées importantes est le renouvellement continu de la flotte, en particulier lorsque les exigences du gouvernement nécessitent la construction de navires ou des carénages sur mesure, comme dans le cas du futur brise-glace *NGCC Diefenbaker* ou de la remise en état du *NGCC Amundsen* pour en faire un brise-glace de recherche (voir la section 4.6).

Encadré 5.1
Exemples de technologie canadienne d'observation de l'océan

International Submarine Engineering (ISE) est un fabricant de submersibles marins de renommée mondiale établi à Port Coquitlam, en Colombie-Britannique. Fondée en 1974, la société ISE a été un chef de file du développement de sous-marins, de véhicules télécommandés et de véhicules sous-marins autonomes (VSA). Plusieurs innovations d'ISE ont été mises au point en réponse à des demandes du gouvernement. Ces innovations comprennent la Remotely Operated Platform for Ocean Science (ROPOS), développée pour le MPO; le premier VSA totalement autonome au monde, construit pour le Service hydrographique canadien; un VSA de grande taille pour la pose de câbles sous-marins de même que la capacité de déployer de petits VSA, développée pour le ministère de la Défense nationale et les Forces canadiennes; et enfin le VSA Arctic Explorer utilisé par RNCan pour cartographier le plateau continental du Canada, lequel a établi un record de 12 jours de fonctionnement en continu sous la glace de mer (Kaminski *et al.*, 2010).

Les ingénieurs de l'**Institut océanographique de Bedford** du MPO ont développé un dispositif de profilage amarré, appelé Icycler, conçu pour fonctionner toute l'année sous la glace de mer instable (Fowler *et al.*, 2004). Le Icycler a inspiré un profileur amarré plus polyvalent, le SeaCycler, développé par des chercheurs du MPO et des partenaires internationaux des États-Unis, du Royaume-Uni et d'Allemagne (Send *et al.*, 2012). Le Icycler et le SeaCycler ont été conçus pour être des plateformes à faible consommation d'énergie, polyvalentes et capables d'accueillir une variété de capteurs. Ils peuvent être utilisés pour la collecte fréquente de données à long terme le long des profils verticaux et reliés à des centres de données par satellite. Contrairement aux bouées autonomes utilisées dans le programme Argo, par exemple, ces plateformes fonctionnent à un endroit fixe tout en évitant les nombreux obstacles à la surface de l'océan, comme les navires, la glace ou les débris (Fowler *et al.*, 2004; Send *et al.*, 2012).

Ocean Networks Canada exploite les observatoires océaniques câblés NEPTUNE et VENUS au large de la côte canadienne du Pacifique, offrant l'accès interactif sur Internet à des données continues pour un large éventail de variables océaniques (voir l'encadré 4.3). Non seulement ces projets sont précurseurs d'observatoires similaires à travers le monde, mais ils font aussi une importante contribution à la grappe des technologies océaniques sur la côte Ouest du Canada (voir l'encadré 5.2).

suite à la page suivante

Une bonne partie de la capacité du Canada dans l'observation de la terre et de l'océan par satellite est aussi le fruit d'une collaboration entre les entreprises des secteurs public et privé. Les satellites RADARSAT ont été développés et construits principalement par **MacDonald, Dettwiler and Associates Ltd (MDA)** pour l'Agence spatiale canadienne (ASC, 2006). En outre, de nombreux instruments utilisés dans les satellites canadiens et internationaux sont produits par la société canadienne **ComDev**.

La participation du Canada aux systèmes mondiaux d'observation tels que le SMOO (Système d'observation de l'océan mondial) est conditionnel à un engagement de ressources et d'expertise qui, en retour, permet d'avoir accès aux données, à la technologie et au partage des connaissances qui en découlent. Le Canada fournit des données provenant de plusieurs stations météorologiques, marégraphes, bouées ancrées et navires auxiliaires occasionnels au Système mondial d'observation du climat en vertu de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (SMOO et SMOC, 2005; Nichols, 2005). Les nouvelles approches pour les systèmes d'observation, le traitement des données et la livraison aux utilisateurs bénéficieront de la collaboration entre océanologues et informaticiens d'une part, et économistes, sociologues, géographes et chercheurs du secteur privé de l'autre (Baker et Chandler, 2008; Delaney et Barga, 2009; Ribes et Lee, 2010). Tel que mentionné dans la section 2.2.4, le Canada possède un secteur de la technologie océanique solide et diversifié qui compte plus de 500 entreprises, dont quelques-unes de grande taille et plusieurs petites et moyennes entreprises (PME), ainsi que des établissements de R-D établis en région (Industrie Canada, 2012; Cinmaps, 2013).

Sur le plan international, les entreprises canadiennes de technologie ont acquis une réputation enviable dans plusieurs créneaux de marché pour divers produits et services scientifiques spécialisés, notamment les services et produits hydrographiques, la technologie de gestion des zones côtières, l'analyse des données provenant d'appareils de télédétection et de satellites, ainsi que le génie océanique dans des conditions rigoureuses ou froides. Ces spécialités sont complétées par des atouts émergents dans les systèmes de gestion des données spatiales, le traitement des données hydroacoustiques pour l'évaluation avancée des stocks de poisson et de la biomasse, les systèmes de surveillance et de gestion de l'environnement marin, et le soutien de la prise de décision axée sur la gestion durable (Industrie Canada, 2012). Le plus grand utilisateur canadien des sciences et des technologies marines est l'industrie pétrolière et gazière au large des côtes, qui représente 43 % des dépenses intérieures, consacrées principalement à l'achat des produits et des services technologiques requis pour l'exploration et la mise en valeur.

Le gouvernement du Canada a recours à des mesures incitatives comme le Programme de recherche scientifique et développement expérimental (RS&DE) pour stimuler la R-D dans les entreprises canadiennes de tous les secteurs. De même, le Programme d'aide à la recherche industrielle (PARI) fournit des services en matière d'innovation et de financement pour soutenir l'expansion des entreprises. Ces programmes ciblent des entreprises dans l'ensemble des secteurs, tandis que des mesures favorables aux grappes technologiques sont employées pour cibler plus précisément les entreprises axées sur les sciences et les technologies marines (voir l'encadré 5.2).

L'émergence de grappes de technologies maritimes dans plusieurs régions côtières du Canada a récemment donné lieu à des recherches et des débats (Doloreux et Shearmur, 2009; Lepawsky, 2009). Bien qu'il y ait plusieurs définitions de la notion de *grappe* dans la littérature, une grappe est généralement considérée comme étant un groupe d'entreprises connexes établies dans la même région géographique qui échangent des intrants, des services ou des infrastructures spécialisés, ou qui ont d'autres liens (voir Doloreux et Shearmur 2009; Lepawsky, 2009). De nombreuses grappes englobent aussi des organismes gouvernementaux et des universités offrant des connaissances et une formation spécialisées (Porter, 2003; Doloreux et Shearmur, 2009). Même si l'impact positif des grappes sur l'innovation est généralement reconnu, un débat a cours sur la mesure dans laquelle les politiques gouvernementales peuvent favoriser la formation de grappes qui deviendront autonomes (Doloreux et Shearmur, 2009). Néanmoins, même les grappes qui dépendent du soutien gouvernemental peuvent être des véhicules efficaces de développement économique et technologique (Colbourne, 2006; Doloreux et Shearmur, 2009; Safer, 2012).

Encadré 5.2
Grappes de technologies océaniques

La grappe de **St. John's (T.-N.-L.)** est ressortie du besoin de disposer de technologies d'exploration et d'extraction sécuritaires des ressources pétrolières et gazières au large des côtes dans des conditions de glace de mer et d'eau froide (Doloreux et Shearmur, 2009; Safer, 2012), ce qui a motivé la création du Centre for Cold Ocean Resource Engineering (C-CORE) en 1975. En 1985, le gouvernement fédéral a créé l'Institut de technologies océaniques du CNRC (ITO-CNRC), qui offre des capacités uniques telles qu'une expertise des affaires, des laboratoires-incubateurs pour les entreprises en démarrage et des installations comme le plus grand réservoir de glace

suite à la page suivante

du monde (Colbourne, 2006). La grappe bénéficie également de l'École des technologies océaniques de l'Université Memorial, ce qui contribue à une main-d'œuvre hautement qualifiée dans la région (Safer, 2012). En 2005 OceansAdvance Inc. a été créée en tant qu'organisation dirigée par l'industrie pour servir la grappe des technologies océaniques (OceansAdvance, s.d.). Tandis que les entreprises de cette grappe ont initialement mis la priorité sur les services requis par l'industrie pétrolière et gazière comme la cartographie, la télédétection, l'enregistrement des données et les produits de communication, la création d'installations supplémentaires telles que l'ITO-CNRC a engendré des occasions d'innovation scientifique et technologique plus générales. La croissance récente des bénéfices annuels des sociétés indique que la grappe pourrait devenir autosuffisante dans un proche avenir (Doloreux et Shearmur, 2009).

Halifax (N.-É.) soutient une grappe d'entreprises de technologies océaniques, travaillant en collaboration avec le MPO, RNCan, le CNRC et l'Université Dalhousie (GC 2010). Les entreprises d'Halifax possèdent un atout particulier dans le domaine des produits nutraceutiques et des additifs alimentaires d'origine marine (Greater Halifax Partnership, s.d.), avec l'appui de l'Institut des biosciences marines du CNRC (IBM-CNRC). La présence de plusieurs installations de la Marine royale canadienne et d'autres divisions du ministère de la Défense nationale et des Forces canadiennes a soutenu le développement d'une industrie de la défense et de la sécurité maritime à Halifax, en plus d'un important secteur du pétrole et du gaz extracôtiers. Le Marine Research Institute de Halifax, créé en 2011, devrait contribuer à renforcer les liens entre l'industrie, les gouvernements, les universités et d'autres établissements.

La **Technopole Maritime du Québec (Grappe Ressources, Sciences et Technologies marines; Qc)** englobe la région côtière peu peuplée du Québec qui longe l'estuaire du Saint-Laurent. Les gouvernements fédéral et provincial ont proposé de stimuler la technologie et le développement économique grâce à des mesures telles que des organismes de soutien à l'innovation (Doloreux et Shearmur, 2009). Cependant, les entreprises de cette grappe ne collaborent que rarement entre elles et recourent peu aux centres de recherche et aux universités comme sources d'innovation (Doloreux et Melançon, 2008). En outre, le niveau d'activité économique dans la région n'a pas encore atteint une masse critique qui permettrait de soutenir financièrement des organismes destinés à appuyer l'innovation. Plusieurs organismes de soutien à l'innovation de la région ont donc dû chercher des clients à l'extérieur de la grappe, ce qui a entraîné une inadéquation entre l'offre et la demande locales de technologies océaniques et de services de soutien à l'innovation (Doloreux et Melançon, 2009).

suite à la page suivante

La grappe **Pacific Ocean Technology (C.-B.)** englobe des liens de collaboration entre la recherche universitaire, des entreprises dérivées et des activités commerciales à Vancouver et à Victoria. La grappe s'est formée principalement autour de quatre projets de grande envergure, notamment les réseaux d'observation câblés VENUS et NEPTUNE (voir l'encadré 4.3), le Canadian Seabed Ressource Mapping Program et l'exploration pétrolière et gazière, pour appuyer le développement planifié de l'industrie en Colombie-Britannique (Doloreux et Shearmur, 2009). Alors que les projets eux-mêmes comptent sur le financement gouvernemental, ils ont réussi à attirer quelque 50 PME à Victoria et à Vancouver, produisant des systèmes de navigation, des véhicules télécommandés, des VSA, des technologies de communication maritime, du matériel d'aquaculture et des technologies de surveillance de l'environnement marin pour des créneaux de marché au Canada et à l'étranger.

5.1.2 Possibilités et défis

La demande de ressources et d'information continue de stimuler le développement de nouveaux capteurs, de plateformes et d'infrastructures pour les déployer. La convergence de technologies nouvelles et existantes ouvre également des débouchés pour de nouveaux moyens d'observation de l'océan, le partage des données et des connaissances, ainsi que l'accès aux ressources dans des conditions extrêmes. La technologie et l'innovation continueront de transformer la façon dont les humains et les sociétés interagissent avec les systèmes marins et d'ouvrir de nouvelles avenues à la recherche scientifique. La collaboration entre les spécialistes de l'océan, de l'informatique et des sciences sociales pourrait produire les outils nécessaires pour traduire les changements rapides de la technologie en une meilleure information pour les décideurs et des avantages socioéconomiques plus étendus.

Le Canada compte plusieurs entreprises de technologie océanique qui sont en mesure de soutenir la concurrence au niveau international. Cette source de dynamisme offre au Canada de nombreuses possibilités de mettre à contribution l'expertise canadienne dans le cadre d'initiatives d'observation internationales. Cependant, le marché intérieur n'est pas assez grand pour soutenir un grand nombre de petites et moyennes entreprises de technologie océanique. L'alignement des secteurs (public, privé et universitaire) améliore l'application de la science fondamentale au développement technologique et l'adoption de nouvelles technologies dans des approches scientifiques novatrices. Bien que les alignements au Canada aient soutenu plusieurs grappes actives de développement technologique, celles-ci ont compté jusqu'à maintenant sur le financement du secteur des ressources ou des gouvernements.

5.2 LA GOUVERNANCE DE L'OCÉAN

Les décisions de gestion sont souvent appropriées uniquement dans un contexte donné et elles peuvent rarement être généralisées, ce qui évoque la nécessité d'une approche axée sur la gouvernance pour traiter avec les gens et les océans. Alors que la *gestion* constitue un ensemble d'outils appliqués à des tâches concrètes débouchant sur des résultats mesurables, la *gouvernance* est un processus itératif d'adaptation comportant des interactions entre les parties prenantes et englobant les modes de sélection des objectifs et de prise de décisions en matière de gestion (Jentoft et Chuenpagdee, 2009). Les multiples usages entrant en conflit et les interactions complexes et changeantes entre l'océan et les sociétés à de nombreuses échelles spatiales, temporelles et organisationnelles, soulèvent des défis pour la gouvernance de l'océan (Perry et Ommer, 2003; Jentoft et Chuenpagdee, 2009; Sumaila, 2012; Miller *et al.*, 2013). En outre, des recherches récentes ont révélé que la manière dont les politiques sont élaborées et mises en œuvre peut être tout aussi importante pour ce qui est des résultats obtenus que les interventions elles-mêmes (Jentoft et Chuenpagdee, 2009; Ommer *et al.*, 2011; Charles, 2012). Devant ces problèmes, une capacité de recherche interdisciplinaire est essentielle pour éclairer non seulement certaines politiques particulières, mais aussi la compréhension des systèmes de gouvernance entiers qui structurent les interactions entre les sociétés humaines et l'océan.

Les questions de recherche regroupées sous ce thème mettent en évidence les défis associés à la réalisation d'une gouvernance durable de l'océan dans un contexte de diversité socioécologique (Q33, Q35–37), d'incertitude (Q34, Q37), de multiples effets interdépendants du changement planétaire (Q34, Q37), et de conflits potentiels entre les diverses utilisations des ressources océaniques et les services écosystémiques (Q38–40). Certaines de ces questions de recherche chevauchent celles qui figurent sous le thème des collectivités côtières. Cela reflète le rôle des collectivités côtières comme intervenants de premier plan dans la gouvernance de l'océan et des besoins de recherche connexes (section 4.5). De nombreuses questions de recherche sous ce thème portent sur les autres moyens d'appliquer et de traduire la science dans le processus décisionnel et les conséquences qui découlent des décisions de gestion. Pour répondre à ces questions de recherche, il faut s'appuyer sur le réseautage, la recherche comparative dans des contextes variés à de multiples échelles, ainsi que sur un réexamen continu des résultats et l'adaptation des politiques à l'évolution des conditions sociales et écologiques.

Principales questions de recherche liées à la gouvernance de l'océan

Les questions suivantes sont numérotées et classées dans l'ordre où elles se présentent dans *Les 40 questions prioritaires pour la recherche canadienne en sciences de la mer* (CAC, 2012a) :

Q33. Quelles sont les incidences économiques, écologiques, sociales et politiques ou juridiques de l'application de systèmes de gouvernance de rechange et quelles capacités et institutions sont requises pour gouverner de manière à préserver les milieux océaniques et côtiers?

Q34. Quelles recherches, quelles informations et quels outils sont requis pour régir l'utilisation des océans compte tenu des effets cumulatifs et interactifs subis par les systèmes socioécologiques?

Q35. Quelles mesures doivent être mises en œuvre pour assurer la participation adéquate et efficace des diverses collectivités côtières aux processus de gestion et de gouvernance des océans et des régions côtières?

Q36. Comment peut-on habiliter et engager les collectivités nordiques et côtières, ainsi que leurs systèmes de connaissance à participer à l'étude, à la surveillance et à la gestion des océans afin de développer leur capacité d'adaptation?

Q37. Comment, compte tenu des incertitudes et des changements planétaires, doit-on s'y prendre pour déterminer, surveiller et protéger les régions et/ou les espèces particulièrement vulnérables, telles que les foyers de diversité ou fonction relativement importante? Comment peut-on améliorer les capacités requises pour mener à bien ces activités?

Q38. Quels cadres décisionnels stratégiques sont requis pour établir un équilibre durable sur les plans social et écologique entre l'aquaculture et la pêche sauvage dans les écosystèmes marins?

Q39. Quelles technologies et stratégies sont requises pour développer et livrer des ressources énergétiques et minérales océaniques, renouvelables et non renouvelables, à la société en limitant au minimum le tort causé au milieu océanique?

Q40. Comment le développement et la gouvernance des systèmes de production durable d'aliments d'origine océanique peuvent-ils aider à maintenir la sécurité alimentaire locale et mondiale et contribuer à la santé et au bien-être des collectivités côtières?

5.2.1 Situation de la recherche

Une base de connaissances considérable s'est constituée autour de divers outils de gestion au Canada et de différentes formes de pêches et de gouvernance des côtes. Certaines de ces connaissances ont été partagées par le biais de mécanismes tels que le Réseau de recherche sur la gestion des océans et d'autres collaborations entre le MPO, les universités, les ONG et le secteur privé (voir les sections 2.2.6, 4.2 et 4.3).

La nature des systèmes socioécologiques marins soulève plusieurs défis sur le plan de la gouvernance, y compris un stock commun et transfrontalier de ressources marines (Sumaila, 2012); les effets des pressions multiples qui interagissent et du changement planétaire, y compris le changement climatique, l'acidification de l'océan (COI/UNESCO *et al.*, 2011; Perry *et al.*, 2011; Miller *et al.*, 2013), et la mondialisation des marchés; ainsi que les multiples échelles auxquelles se produisent ces changements et sont prises les décisions de gestion (Charles, 2012; Sumaila, 2012). Les décisions peuvent être prises à différents niveaux (allant du niveau local au niveau international) et avoir des conséquences à d'autres niveaux. Compte tenu des nombreuses façons dont le Canada dépend de l'océan, il y a un grand potentiel de conflits d'intérêts : la solution préconisée par une des parties prenantes peut engendrer un problème pour une autre (Jentoft et Chuenpagdee, 2009). En outre, des changements imprévisibles dans une ressource peuvent perturber les modalités de gouvernance (Perry *et al.*, 2011; Miller *et al.*, 2013).

Le Canada a acquis une solide base de recherche et d'expérience dans la gouvernance de l'océan à différentes échelles, mais peu de travail a été fait pour intégrer les connaissances issues des études sur les nombreux cas de réussite et d'échec dans la gestion des pêches au cours de l'histoire canadienne. Le projet Coasts Under Stress (voir l'encadré 4.4), l'un des plus vastes efforts entrepris pour effectuer de la recherche et intégrer les résultats provenant de plusieurs collectivités situées sur les deux côtes du Canada, a reconnu les nombreux défis que pose l'intégration de la recherche entre les différentes disciplines et « silos » de gestion (Ommer et Coasts Under Stress Research Project Team, 2007). Un cadre socioécologique offre une approche possible pour surmonter ces défis et faire face aux complexités et aux incertitudes inhérentes aux systèmes socioécologiques marins.

La recherche sur la gouvernance de l'océan au Canada et à l'étranger met de plus en plus l'accent sur les liens multi-échelles, la communication entre les différents niveaux décisionnels et la détermination du niveau approprié pour certains types de décisions (Ommer et Coasts Under Stress Research Project Team, 2007; Jentoft et Chuenpagdee, 2009; Charles, 2012; Sumaila, 2012). Les défis décrits ci-dessus ont incité certains à préconiser des approches participatives et mieux adaptées à la gestion de l'océan (Jentoft et Chuenpagdee 2009; RCRP, 2012c; Wilson *et al.*, 2013). Le Canada a acquis de l'expérience dans l'application de ces méthodes, notamment la gestion intégrée des zones côtières (Ricketts et Hildebrand, 2011) et les accords de cogestion inscrits dans les ententes de plus vaste portée sur les revendications territoriales conclues entre le gouvernement du Canada et les peuples autochtones (Dale et Armitage, 2011). Les accords de cogestion ont fait ressortir la nécessité d'intégrer différentes sources d'information aux processus de gouvernance participative, y compris les connaissances scientifiques occidentales et le savoir traditionnel ou local (Berkes *et al.*, 2001; Armitage *et al.*, 2011; Dale et Armitage, 2011).

L'accès en temps opportun aux renseignements au sujet des systèmes sous gouvernance ainsi que les aspects dynamiques de la gouvernance ont une importance critique pour assurer une gouvernance plus réceptive (Wilson *et al.*, 2013). Un projet du Réseau canadien de recherche sur la pêche vise à mieux préciser les renseignements nécessaires pour une gouvernance participative de l'océan, ainsi que la formation et la capacité requises (RCPR, 2012c). Des compétences et capacités spécialisées sont requises pour transposer l'information scientifique dans des formats accessibles aux décideurs politiques, aux acteurs de l'industrie et aux dirigeants des collectivités (voir l'encadré 5.3). Les technologies de l'information jouent également un rôle croissant dans la transmission sur demande et en temps réel de données aux utilisateurs (Taylor, 2009; Kintisch, 2013).

Le Canada a pris plusieurs engagements nationaux et internationaux en vue d'adopter des méthodes de gestion axées sur la préservation de la biodiversité marine, y compris la gestion fondée sur les écosystèmes, la gestion intégrée des zones côtières et une approche prudente en matière de gestion des pêches (VanderZwaag *et al.*, 2012). Cependant, les conséquences sur le plan de la gouvernance de certains de ces objectifs n'ont pas encore été entièrement articulées et les organismes canadiens ont parfois eu de la difficulté à respecter ou à appliquer pleinement ces engagements, laissant place à davantage de recherche (Juda, 2003; Jessen, 2011; Ricketts et Hildebrand, 2011; Hutchings *et al.*, 2012; VanderZwaag *et al.*, 2012).

Encadré 5.3
Mobilisation des connaissances

La mobilisation des connaissances au sens le plus large signifie le passage du savoir scientifique à l'action, c'est-à-dire mettre les résultats de la recherche à la disposition des décideurs et des autres utilisateurs des connaissances, comme l'industrie et les organisations de la société civile (voir Levin, 2008 pour une discussion des définitions actuellement employées de la *mobilisation des connaissances*). Dans la recherche interdisciplinaire, les connaissances doivent se déplacer entre les disciplines pour permettre l'élaboration de cadres communs et la synthèse des résultats entre différentes approches et méthodes. La recherche sur la gouvernance de l'océan exige en outre la mobilisation de différentes formes de connaissances, dont le savoir écologique traditionnel, pour permettre la coproduction de connaissances contextualisées pour des problèmes et des emplacements spécifiques.

La mobilisation des connaissances se fait par la création de voies multidirectionnelles de découverte et d'absorption des connaissances, qui peuvent comprendre des activités telles que l'application des connaissances (l'adaptation des résultats de recherche pour des auditoires particuliers) et le transfert des connaissances (la commercialisation des résultats auprès de ces auditoires) (Hawkins, 2011). La gestion des connaissances est un processus dynamique qui requiert des compétences et des ressources précises sur une base durable (Levin, 2008). Les organismes de financement exigent et soutiennent de plus en plus l'intégration de la mobilisation des connaissances dans les projets et les réseaux de recherche, comme en témoignent la mobilisation des connaissances dans le cadre de la stratégie du CRSH (CRSH, 2009) et les réseaux de recherche stratégique du CRSNG (CRSNG, 2010). Plusieurs universités canadiennes ont établi des bureaux de mobilisation des connaissances pour améliorer l'adoption des résultats de la recherche dans l'élaboration des politiques et soutenir la commercialisation des résultats de cette recherche (voir, par exemple, le réseau de centres de mobilisation des connaissances ResearchImpact; ResearchImpact, s.d.). Un défi particulier que pose la mobilisation des connaissances en sciences de la mer est de développer la capacité de traduire et de transmettre les connaissances entre diverses communautés d'utilisateurs.

5.2.2 Possibilités et défis

L'incertitude croissante observée dans les volets écologique et social des systèmes socioécologiques soulève de sérieux défis pour les méthodes de gouvernance établies, mais elle offre aussi l'occasion d'en essayer de nouvelles tout en tirant les leçons des expériences canadiennes et internationales en cours (Ommer et Coasts Under Stress Research Project Team, 2007; COI/UNESCO *et al.*, 2011). La gouvernance

durable de l'océan exige des approches dynamiques pour la prise de décision pouvant s'adapter au changement continu en s'appuyant sur une recherche multidisciplinaire rigoureuse, à des échelles spatiales, temporelles et organisationnelles appropriées, et en utilisant des renseignements provenant de sources multiples. Pour répondre aux questions de recherche regroupées sous ce thème, il faudra peut-être recourir à de nouvelles approches scientifiques et à des structures institutionnelles non encore articulées ou évaluées.

5.3 LA SANTÉ ET LE BIEN-ÊTRE HUMAINS

La santé est une notion multidimensionnelle qui englobe les aspects positifs du bien-être physique et mental et non seulement l'absence de maladie (Coulthard, 2012). La notion plus large du bien-être tient compte des facteurs sociaux, environnementaux et culturels qui contribuent à la qualité de vie d'une personne ou d'une collectivité. L'étude du bien-être englobe aujourd'hui des mesures objectives et subjectives, et elle envisage le bien-être comme un processus plutôt qu'un résultat, susceptible d'éclairer les interactions des gens et de l'environnement marin (Charles, 2012; Coulthard, 2012). Tout comme les activités humaines ont des répercussions sur l'océan (voir la section 4.3), les changements qui en résultent dans l'océan peuvent avoir des conséquences pour la santé et le bien-être humains, engendrant la possibilité de rétroactions complexes.

La relation entre l'océan et la santé et le bien-être humains est un thème émergent qui retient une attention croissante dans le monde. Même si aucune des 40 questions de recherche ne porte directement sur la santé humaine, plusieurs reconnaissent la possibilité d'améliorer la compréhension des déterminants de la santé et du bien-être humains en lien avec l'océan. Malgré leur formulation générale, ces questions reflètent les relations complexes qui existent entre les activités humaines, les changements environnementaux et le bien-être humain (CAC, 2012a). Les usages multiples de l'océan engendrent des rétroactions dans lesquelles une activité peut avoir des effets négatifs sur la santé et le bien-être humains par le biais de répercussions sur d'autres activités, comme lorsque des contaminants provenant des activités humaines s'accumulent dans les espèces récoltées pour devenir des aliments.

Certaines questions de recherche mettent en relief d'autres conséquences socioéconomiques du changement planétaire, par exemple, la disparition de la glace de mer, le changement du niveau des mers et l'acidification de l'océan. Les changements dans la répartition des espèces ont des répercussions sur la sécurité alimentaire et la récolte commerciale, de même que sur l'apparition de nouveaux agents pathogènes et parasites. La dernière question (Q40) souligne l'importance de la production durable d'aliments provenant de l'océan dans l'optique de la sécurité alimentaire au niveau local et mondial et de la santé et du bien-être des collectivités côtières.

Principales questions de recherche liées à la santé et au bien-être humains

Les questions suivantes sont numérotées et classées dans l'ordre où elles se présentent dans *Les 40 questions prioritaires pour la recherche canadienne en sciences de la mer* (CAC, 2012a) :

Q17. Comment la migration et la survie des organismes marins, y compris des espèces envahissantes, sont-elles influencées par les changements environnementaux et quelles en sont les incidences socioécologiques?

Q26. Quelles seraient les incidences environnementales et sociales et quels seraient les avantages et les risques associés aux activités humaines exercées dans les océans en mutation sous l'effet des industries de l'extraction, de la pêche, du tourisme, de la navigation et des utilisations traditionnelles?

Q32. Comment les responsables des sciences et des politiques de la mer peuvent-ils aborder les changements selon une approche plus socioécologique qui reconnaît l'interdépendance et la capacité d'adaptation de la population et de l'environnement marin?

Q40. Comment le développement et la gouvernance des systèmes de production durable d'aliments d'origine océanique peuvent-ils aider à maintenir la sécurité alimentaire locale et mondiale et contribuer à la santé et au bien-être des collectivités côtières?

Pour aborder les aspects de ces questions de recherche qui touchent à la santé, il faut disposer d'approches qui vont au-delà de la santé individuelle et s'intéressent aux déterminants de la santé des populations. La perspective socioécologique met l'accent sur les déterminants sociaux et écologiques de la santé de l'ensemble de la population, plutôt que celle des particuliers. Des théories émergentes en épidémiologie conceptualisent ces déterminants de diverses façons, par exemple la théorie éco-sociale et l'éco-épidémiologie (Krieger, 2011). Ces approches reconnaissent que les déterminants peuvent avoir des effets positifs et négatifs et différencient les filières biologiques de celles qui ont trait aux déterminants culturels, sociaux, économiques et psychologiques. Le tableau 5.1 présente quelques-unes des filières par lesquelles l'océan affecte la santé et le bien-être humains.

Tableau 5.1

Filières ayant un impact sur la santé et le bien-être humains

Filières biologiques ayant un impact sur la santé et le bien-être des personnes et des populations :	Filières environnementales et sociales affectant la santé et le bien-être des populations :
• Exposition aux pathogènes marins, y compris par le biais de poissons et fruits de mer contaminés • L'océan en tant que vecteur d'infections et d'épidémies bactériennes et virales • Exposition aux biotoxines marines et aux polluants océaniques • Produits de la mer biologiques, thérapeutiques et pharmaceutiques • Évolution et émergence des filières biologiques en conséquence du changement environnemental	• Dangers marins et événements extrêmes, y compris les effets du changement à l'échelle planétaire • Impacts des industries du secteur maritime et des politiques connexes sur les possibilités économiques, l'inégalité sociale et la résilience des collectivités • Risques pour la santé liés aux emplois en mer et côtiers • Impacts du changement et de l'exploitation des ressources océaniques sur les cultures traditionnelles, notamment dans l'Arctique • Avantages et risques liés aux utilisations récréatives de la mer

Ce tableau présente des exemples illustratifs de filières associées à l'océan ayant un impact sur la santé et le bien-être humains, en faisant la distinction entre les filières *biologiques*, *environnementales* et *sociales*. Tandis que les filières biologiques peuvent avoir des effets directs évidents sur la santé des personnes et des populations, plusieurs peuvent aussi avoir des conséquences pour le bien-être humain, en touchant la sécurité alimentaire ou le bien-être économique, ou en modifiant l'approvisionnement en ressources (p. ex. les pêches, les bioproduits de la mer). Les filières environnementales et sociales interviennent à des échelles plus vastes et ont des interactions plus complexes avec la santé et le bien-être des populations humaines. À noter que les filières environnementales et sociales ne se limitent pas aux collectivités côtières, bien que celles-ci soient vraisemblablement les plus touchées.

La recherche sur les filières biologiques nécessite un système d'enregistrement et de traitement des données sur les maladies causées par des agents pathogènes, des biotoxines et des polluants; ce système doit s'inscrire dans le cadre d'une infrastructure élargie de surveillance de l'environnement qui englobe des données sur la santé humaine et animale (NSTC, 2007). Des laboratoires terrestres dotés de matériel spécialisé et de ressources informatiques sont requis pour appliquer de nouveaux outils comme la génomique, la protéomique et la bio-informatique, qui contribueront à augmenter la capacité de surveillance et de dépistage.

L'étude des filières environnementales et sociales nécessite des approches interdisciplinaires qui combinent différentes formes de données et de connaissances à l'appui d'analyses intégrées des systèmes socioécologiques qui façonnent les interactions humaines avec l'océan. Des établissements de recherche interdisciplinaire et des réseaux de collaboration durables qui possèdent des capacités particulières pour mobiliser, appliquer et intégrer différents types de connaissances sont essentiels à la réussite de la recherche socioécologique. Outre les données biomédicales, ces groupes de recherche doivent avoir accès

à un large éventail de données socioécologiques, à des formes de connaissances scientifiques et non scientifiques, ainsi qu'à des outils pour recueillir, enregistrer et traiter ces types de données et de connaissances.

5.3.1 Situation de la recherche

La capacité actuelle au Canada semble se concentrer sur des filières biologiques et des sous-domaines bien établis en se concentrant principalement sur les pathogènes marins et la santé humaine, la consommation de fruits de mer contaminés étant la principale filière étudiée. Les autres sous-domaines reçoivent beaucoup moins d'attention, en particulier les études consacrées aux filières environnementales et sociales liées à la santé et au bien-être. La recherche sur l'océan et le bien-être n'occupe pas une place de choix à l'heure actuelle dans les programmes et les projets appuyés par les Instituts de recherche en santé du Canada et l'Agence de la santé publique du Canada, ou dans les activités des grands établissements voués à la santé des populations et à la santé publique. Ainsi, les contributions des IRSC en sciences de la mer ont représenté environ 0,12 % du financement total de cet organisme et 3 % du financement total allant aux sciences de la mer au cours des 10 dernières années (voir le tableau 2.2). De façon similaire, les liens entre l'océan et la santé et le bien-être humains ne figurent pas présentement dans les priorités de financement des conseils subventionnaires fédéraux. Cependant, le Programme des RCE encourage les réseaux à mobiliser des experts de diverses disciplines et secteurs de la société, ce qui ouvre la possibilité, mais sans constituer une obligation, d'engager des chercheurs en santé et des océanologues comme c'est le cas au sein d'ArcticNet.

Cette situation contraste avec les initiatives ciblées en cours aux États-Unis et en Europe. Ainsi, l'amélioration de la santé humaine est l'une des six priorités de recherche énoncées dans un rapport récemment publié par le U.S. National Science and Technology Council (NSTC, 2013). Les États-Unis ont également créé quatre centres pour les océans et la santé humaine, et trois centres d'excellence financés par la Ocean's and Human Health Initiative de la NOAA. L'océan et la santé humaine figurent parmi les huit thèmes de recherche prioritaires énoncés dans un récent rapport de prospective européen (European Marine Board, 2013a). Le Centre européen pour l'environnement et la santé humaine, basé à l'Université d'Exeter au Royaume-Uni, mène plusieurs projets sur l'océan et la santé humaine dans le cadre d'un programme de recherche plus vaste sur les liens entre l'environnement et le bien-être humain.

Les ministères et organismes fédéraux au Canada maintiennent un réseau de laboratoires qui disposent d'équipements spécialisés pour surveiller et analyser les agents pathogènes, les biotoxines et les polluants (CNRC, 2012a, 2012b, 2012e, 2012d). Ces laboratoires fournissent l'infrastructure nécessaire à plusieurs

programmes assurant des services de surveillance et de recherche sur la santé animale et humaine, dont le Programme canadien de contrôle de la salubrité des mollusques, administré conjointement par l'ACIA, Environnement Canada et le MPO (ACIA, 2013).

Bien que l'ACIA soit principalement responsable de la surveillance des agents pathogènes et des biotoxines au palier fédéral, le MPO recueille également des données sur les espèces qui transportent, engendrent ou affectent ces risques pour la santé. La surveillance des contaminants marins est assurée par Environnement Canada, le MPO et d'autres ministères fédéraux. La surveillance des contaminants dans l'Arctique est coordonnée par le Programme de lutte contre les contaminants dans le Nord, lequel prévoit la participation d'Affaires autochtones et Développement du Nord Canada, d'Environnement Canada, de Santé Canada, du MPO, des gouvernements territoriaux, ainsi que des contributions de chercheurs universitaires (EC, 2001).

Bien qu'encore au stade embryonnaire, il existe un important potentiel au Canada pour développer la recherche sur les bioproduits marins liés à la mise au point de thérapies médicales et pharmaceutiques. Celui-ci s'appuie sur la force du Canada dans l'application de nouvelles technologies génomiques, en particulier dans le domaine de la médecine et de la santé humaine. Plusieurs chaires universitaires font déjà de la recherche en génomique et en biotechnologie marine et sur les agents pathogènes des espèces aquatiques (voir la section 4.2).

Certains programmes de recherche sur la santé et la sécurité se concentrent sur le milieu marin. Il s'agit notamment du Centre for Occupational Health and Safety Research de l'Université Memorial (SafetyNet), où des chercheurs ont étudié les risques sanitaires liés aux aspects physiques et psychosociaux du travail marin et côtier (SafetyNet, 2013). Le Offshore Safety and Survival Centre du Marine Institute de l'Université Memorial offre une formation en sécurité et en intervention d'urgence et il soutient également une unité de recherche appliquée (MUN, s.d.). D'autres recherches sur la santé et la sécurité au travail en milieu marin ont été effectuées par la Faculté de génie et de sciences appliquées de l'Université Memorial et la Faculté de génie de l'Université Dalhousie. Le Fonds des nouvelles initiatives de recherche et de sauvetage (FNI RS) est un programme du gouvernement canadien offrant jusqu'à 8 millions de dollars pour de nouveaux projets, dans n'importe quel secteur, visant à améliorer le Programme national de recherche et de sauvetage du Canada, y compris l'éducation du public, la consultation et la reconnaissance des bénévoles (SNRS, 2010). L'attention explicite accordée aux questions liées à la santé des populations par rapport à l'océan s'est donc limitée principalement aux volets santé humaine des grands projets et programmes touchant à l'océan.

Le projet Coasts Under Stress (voir l'encadré 4.4) a examiné les effets des activités d'extraction de ressources sur la santé et le bien-être des résidents des collectivités côtières du Canada, y compris les pêches et les ressources pétrolières et gazières (Ommer et Coasts Under Stress Research Project Team, 2007). ArcticNet étudie présentement les effets du changement environnemental sur la culture, les modes de vie, les moyens de subsistance et la santé des populations autochtones du Nord du Canada. Le nouveau réseau MEOPAR envisage d'intégrer des études sur les risques d'événements maritimes extrêmes (par exemple des tsunamis ou des ondes de tempêtes) pour les gens, les infrastructures et les collectivités, et leur pertinence pour la vulnérabilité des industries et des collectivités côtières (MEOPAR, 2013).

Des ensembles de données permettant de suivre les indicateurs des déterminants sociaux du bien-être personnel et communautaire amélioreraient la recherche sur les filières sociales. L'infrastructure actuelle d'information sur la santé cible principalement la prestation de services de santé; certaines bases de données provinciales sur la santé, telles que le Manitoba Population Health Research Data Repository, intègrent des données administratives, de registres, d'enquêtes et autres sur les résidents (MCHP, 2009). Il faudrait mettre en place des sources de données sur la santé des populations qui couvrent les déterminants sociaux de la santé dans les régions côtières et qui permettent de faire des liens afin de produire des analyses pancanadiennes. La taille restreinte des échantillons des sources de données existantes limite la possibilité d'étudier les collectivités côtières séparément des autres collectivités.

5.3.2 Possibilités et défis

La capacité actuelle de la recherche sur la santé et l'océan au Canada a été étroitement ciblée sur certains déterminants biologiques de la santé humaine, tels que les biotoxines marines et les contaminants présents dans les espèces comestibles. En outre, cette recherche est mal intégrée à la recherche et aux initiatives portant sur le bien-être en général. Très peu de projets de recherche soutenus par les principaux organismes de financement traitent de la relation entre l'océan et la santé et le bien-être humains. La recherche canadienne axée sur les applications médicales des bioproduits marins est un exemple de possibilité qui s'offre pour contribuer à des domaines émergents à l'échelle mondiale (voir la section 4.2). Jusqu'à maintenant, la recherche socioécologique utilisant le prisme de la santé a été essentiellement limitée à des projets individuels (comme Coasts Under Stress) ou à des volets particuliers de réseaux de recherche plus vastes (comme ArcticNet). Ces initiatives pourraient servir de fondement à une recherche plus intégrative sur l'océan et le bien-être, une problématique qui attire une attention croissante dans les instances politiques internationales.

6

Conclusion

- Répondre au mandat
- Réponses aux sous-questions
- Conclusion finale

6 Conclusion

Ce chapitre résume les principales observations qui ressortent des délibérations et analyses du comité d'experts présentées dans les chapitres précédents, ainsi que des réponses à la question principale et aux sous-questions énoncées dans le mandat du comité d'experts.

Pour guider son évaluation, le comité d'experts a utilisé les 40 questions de recherche énoncées par le groupe cadre sur les sciences de la mer canadiennes (voir CAC, 2012a) comme « principales questions de recherche ». Tel qu'indiqué au chapitre 1, le comité d'experts a choisi de ne pas procéder à une analyse détaillée des capacités en regard de chacune des 40 questions de recherche, mais d'évaluer plutôt la capacité et la production du Canada dans les sciences de la mer en général (chapitres 2 et 3), suivi d'une analyse des possibilités et des défis que laissent entrevoir les questions regroupées sous chacun des neuf thèmes de recherche, qui correspondent à des groupes de questions connexes (chapitres 4 et 5). Les résultats de ces analyses sont présentés pour chacune des sous-questions du mandat.

6.1 RÉPONDRE AU MANDAT

Question principale

Quel sont les besoins et capacités du Canada en matière de recherche en sciences de la mer s'il veut répondre aux principales questions et problématiques touchant ses océans et ses côtes et consolider son rôle de chef de file de la collaboration internationale en sciences de la mer?

Le Canada possède non seulement le plus long littoral du monde, mais il abrite aussi une diversité exceptionnelle de systèmes océaniques, de ressources, et de cultures et de communautés côtières. Cette richesse ouvre des possibilités presque illimitées en recherche fondamentale pour comprendre les processus océaniques, ainsi qu'en recherche appliquée au développement et à la gestion durable de l'océan et des côtes au bénéfice de la société canadienne. Du même coup, le Canada hérite de la responsabilité d'agir en gardien de l'océan planétaire. Les 40 questions de recherche reflètent cette diversité de possibilités et leur pertinence sociétale en mettant en relief un ensemble complexe de grandes préoccupations de recherche pour les décennies à venir. L'étendue de ces préoccupations par rapport à la population restreinte du Canada soulève un défi primordial pour

la société canadienne : comment s'assurer que les capacités en sciences de la mer sont complètes et adaptatives (en tirant parti des connaissances et des contributions de multiples disciplines, secteurs et groupes), et sont conçues de façon appropriées et déployées efficacement.

L'aperçu présenté à la section 2.2 montre que les sciences de la mer au Canada sont structurées en un réseau de systèmes de grappes régionales sur la côte Est, la côte Ouest et dans le centre du pays, auxquelles s'ajoutent des stations de recherche dans l'Arctique. Cette structure reflète la tendance à l'intensification de la collaboration à la faveur de la proximité géographique, mais elle permet aussi d'éviter les risques inhérents à la centralisation, notamment une concentration des ressources et des capacités limitées en un lieu géographique donné autour d'une gamme étroite de thèmes. Cependant, même lorsqu'aucune organisation n'a la responsabilité unique de la coordination des activités de recherche ciblant l'océan, il reste difficile d'assurer une collaboration, une coordination et une intégration réelles au niveau national.

L'analyse bibliométrique présentée aux chapitres 3 et 4 souligne l'importance historique des organismes du gouvernement fédéral (en particulier le MPO, RNCan, Environnement Canada et le CNRC) sur le plan de la collaboration, notamment avec les universités, à des articles scientifiques évalués par les pairs. La structure décentralisée de ces organisations en fait d'importants pivots de collaboration au sein des grappes régionales, servant de points d'accès à leurs réseaux nationaux de scientifiques gouvernementaux. Dans de nombreux cas, les stations de recherche gouvernementales en région donnent accès à une expertise et des infrastructures essentielles, par exemple les navires et les autres plateformes, les laboratoires spécialisés, les bases de données et l'infrastructure informatique. Les universités sont aussi d'importants centres collaborant avec les ministères et, de plus en plus, les unes avec les autres par le biais des RCE ou de consortiums tels que le CCURO. Alors que le MPO est un important nœud de collaboration pour la plupart des thèmes de recherche, l'importance relative des autres ministères varie selon le thème. Un profil semblable peut être observé pour les universités. Le secteur privé possède une capacité de recherche substantielle dans des domaines tels que la mise en valeur du pétrole et du gaz au large des côtes, l'extraction minière en eaux profondes et le développement des technologies océaniques. La capacité en sciences de la mer est ainsi non seulement dispersée géographiquement, mais aussi répartie entre une variété d'organisations ayant des mandats et des priorités divers. Cela vient ajouter une autre dimension au défi de la coordination des activités et de la répartition des ressources en sciences de la mer à travers le pays.

Le comité d'experts a constaté que les données et les informations requises pour évaluer les différentes dimensions des capacités se trouvent entre les mains d'un grand nombre d'établissements et ont été colligées dans des formats non comparables et souvent incomplets ou non accessibles au public. La nature multidisciplinaire des sciences de la mer signifie aussi qu'il est difficile d'isoler ce domaine dans les ensembles de données existants. Ainsi, il s'est avéré particulièrement problématique de trouver de bonnes données sur les collaborations entre chercheurs en sciences sociales et en sciences naturelles, ou de l'information sur la mobilisation des connaissances scientifiques aux fins de la recherche appliquée et du changement institutionnel. La première conclusion tirée par le comité d'experts est donc qu'il y a plusieurs lacunes dans l'information disponible sur certains aspects clés de la capacité en sciences de la mer au Canada. Le tableau 6.1 énumère les principales lacunes observées et explique leur importance.

Tableau 6.1

Lacunes dans les données sur la capacité des sciences de la mer au Canada

Données non disponibles pour le comité d'experts	Importance
Nombre de chercheurs en sciences de la mer	En raison de la diversité des disciplines et des domaines qui participent aux sciences de la mer, une évaluation rigoureuse des capacités humaines nécessiterait une grande quantité d'information sur la scolarité des spécialistes des sciences de la mer œuvrant dans les universités, les ministères gouvernementaux et les entreprises privées qui font de la recherche océanographique. De telles données permettraient d'estimer les tendances des capacités humaines et de déterminer les écarts actuels et futurs dans des domaines spécialisés ou dans la formation interdisciplinaire.
Activités de recherche dans les universités	La plupart des universités recueillent de l'information sur les activités de recherche par discipline, ce qui ne permet pas une évaluation approfondie des capacités dans des domaines tels que les sciences de la mer. Les études futures profiteraient de renseignements plus détaillés sur les activités de recherche afin d'identifier les universités et les ministères qui font une contribution aux sciences de la mer, ainsi que leurs points forts au niveau des capacités.
Recherche menée dans le secteur privé	La recherche effectuée par le secteur privé n'est pas saisie par l'analyse bibliométrique parce que l'industrie ne fait habituellement pas rapport sur ses activités de recherche dans des revues évaluées par les pairs. Cela rend difficile l'évaluation des capacités dans des secteurs d'activité industrielle intense tels que l'exploitation du pétrole et du gaz, l'extraction minière ou le développement de sources d'énergie renouvelable. D'autres approches (p. ex. la technométrie or la webométrie) en sont encore aux premiers balbutiements.

suite à la page suivante

Données non disponibles pour le comité d'experts	Importance
Dépenses de recherche du gouvernement en sciences de la mer	Les rapports et les données accessibles au public ne font pas ressortir clairement les dépenses liées aux sciences de la mer. Des données désagrégées seraient nécessaires afin d'évaluer le financement total disponible en sciences de la mer et de dégager les tendances de la capacité de recherche gouvernementale.
Inventaire des infrastructures de recherche et de leur utilisation	Ces données permettraient d'identifier les contraintes liées à l'infrastructure matérielle et faciliteraient la priorisation des investissements en infrastructure.
Collaborations internationales en matière de recherche	Des renseignements plus détaillés sur le genre, les objectifs et la gouvernance des collaborations scientifiques internationales rendraient possible une analyse complète des contributions canadiennes à la science internationale et faciliteraient l'identification des zones de force et de faiblesse.
Production de la recherche en sciences sociales et de la recherche interdisciplinaire	L'analyse bibliométrique ne permet pas de saisir une grande partie de la production en sciences sociales ou en recherche interdisciplinaire. De telles données permettraient de mieux comprendre les besoins de formation interdisciplinaire et d'autres compétences complémentaires en recherche.

6.2 RÉPONSES AUX SOUS-QUESTIONS

Sous-question 1

Comment ces capacités et ces besoins se traduisent-ils par rapport aux divers aspects de la recherche en sciences de la mer, notamment sur le plan technologique, économique, environnemental, social, politique et de la gouvernance?

Les neuf thèmes retenus par le comité d'experts reflètent les domaines de recherche plus vastes décrits dans les 40 questions de recherche. Le comité d'experts a utilisé l'analyse bibliométrique et d'autres renseignements disponibles pour évaluer les capacités sous chacun des six thèmes axés sur des approches et des méthodes établies en sciences de la mer. À la lumière de cette évaluation, le comité d'experts a ensuite déterminé des possibilités et des défis propres aux sciences de la mer au Canada en vue de trouver réponse aux questions de recherche regroupées sous chaque thème.

- **Les interactions océan-climat** : La capacité du Canada au chapitre de la télédétection et de la modélisation climatique engendre des possibilités pour faire avancer la recherche sur les interactions océan-climat, et notamment pour aborder les questions qui nécessitent une meilleure intégration de l'océan et de la glace marine dans les modèles climatiques. Cependant, pour concrétiser

ces possibilités, il est essentiel de pouvoir compter sur l'observation continue et le suivi systématique des données océaniques liées au climat. Cela pose un défi pour le Canada, principalement en raison de l'étendue et de l'éloignement des côtes, dont une grande partie se trouve dans l'Arctique, où les activités d'observation et de surveillance sont plus coûteuses. Pour répondre aux questions de recherche placées sous ce thème, il faut disposer d'autres moyens d'expérimentation et d'échantillonnage qui dépendent de la disponibilité de divers types d'infrastructures, telles que des navires, des plateformes autonomes contrôlées à distance et des instruments spécialisés.

- **Les ressources biologiques, minérales et énergétiques** : La recherche fondamentale visant à acquérir une meilleure compréhension de ces ressources peut miser sur une longue tradition scientifique dans le secteur gouvernemental, notamment en sciences halieutiques et en géologie marine, ainsi que sur la recherche halieutique menée dans plusieurs instituts de recherche universitaires qui publient abondamment. Ces forces émergentes en analyse génomique et en évaluation de la biodiversité engendrent des possibilités nouvelles pour la recherche et la collaboration dans l'étude de la dynamique de la biodiversité et des écosystèmes marins. Les principaux défis dans ce domaine sont de prévenir une perte supplémentaire de capacité en taxonomie et de poursuivre la transition vers des approches plus holistiques telles que les cadres de recherche écosystémiques et socioécologiques. Le secteur privé, qui possède une capacité de recherche substantielle dans le domaine des ressources minérales et énergétiques, soutient la recherche appliquée qui procure des avantages sociétaux directs par la mise en valeur des ressources. Cette répartition de la capacité soulève des défis pour l'intégration de la recherche qui se déroule dans les établissements privés, gouvernementaux et universitaires. Un autre défi consiste à intégrer effectivement la recherche sur les impacts environnementaux et sociétaux du développement des ressources océaniques.
- **Les impacts humains sur les écosystèmes marins et côtiers** : À l'instar de la recherche sur les ressources biologiques, minérales et énergétiques, la recherche sur ce thème est aussi avantagée par les atouts historiques des ministères et des universités. Le défi est d'adapter la capacité existante à l'évolution du contexte et des priorités de ce secteur de recherche. Les ajustements faits jusqu'à maintenant ont engendré un retard dans la recherche sur les espèces envahissantes — lequel pourrait bientôt être comblé grâce à un nouveau projet de réseau — ainsi que dans la surveillance et la compréhension des comportements des contaminants, en particulier les contaminants nouveaux et les contaminants connus dans des conditions nouvelles et changeantes. Ces écarts émergents soulèvent de redoutables défis dans un contexte où les mandats des organismes fédéraux se chevauchent.

- **La tectonique des plaques et les risques naturels** : D'importantes possibilités surgissent sous ce thème en raison des réalisations passées au chapitre des levés géologiques et hydrographiques et des investissements récents dans des observatoires câblés à la fine pointe de la technologie. Ces investissements présentent aussi des défis pour ce qui est d'assurer la couverture à long terme des coûts de fonctionnement et des fonds requis pour la recherche sur ces plateformes. Afin de répondre à toutes les questions de recherche qui se posent sous ce thème, il faudrait disposer d'une cartographie géologique et bathymétrique complète des vastes régions côtières et maritimes du Canada, ce qui fait intervenir des défis similaires à ceux des autres thèmes de recherche tributaires d'une surveillance, de levés et d'observations détaillées.
- **Les collectivités côtières** : Un important groupe de chercheurs de plusieurs disciplines contribuent à la recherche sur ce thème, qui englobe les effets du changement climatique sur les collectivités côtières et leur adaptation, la gestion par les collectivités des pêches côtières et d'autres ressources et la cogestion. Le comité d'experts n'a trouvé que peu de données de recherche sur les villes côtières — une importante lacune au regard de l'expansion des populations urbaines côtières, de plus en plus exposées aux effets du changement à l'échelle planétaire. Les réseaux interdisciplinaires sont très importants pour la recherche sur les collectivités côtières, mais ont tendance à être de courte durée. Un défi primordial est donc de mettre en place des structures plus permanentes pour assurer une formation interdisciplinaire continue et l'intégration et la mobilisation des connaissances.
- **L'océan Arctique** : Les investissements récents et à venir dans des brise-glaces et des laboratoires de recherche dans l'Arctique laissent entrevoir des possibilités pour éclairer certaines des questions de recherche qui ont trait à l'océan Arctique. En partie, ces possibilités sont liées à l'importance stratégique et économique croissante de la région. Étant donné que plusieurs de ces questions sont liées aux effets du changement climatique, le besoin d'assurer la continuité des observations soulève des défis similaires. D'autres défis se posent également dans l'établissement des priorités de la recherche sur certains effets des activités humaines dans l'Arctique afin de s'assurer que la recherche suive la cadence de la dynamique du développement.

Les trois autres thèmes englobent des questions de recherche de nature plus prospective qui décrivent des besoins futurs en recherche ou anticipent des changements de paradigme que ne peut saisir l'analyse bibliométrique. Le comité d'experts s'est donc intéressé aux modèles de recherche émergents et aux conditions qui favorisent leur développement et leur adoption. Utilisant cette approche, le comité d'experts a recensé les possibilités et les défis suivants :

- **La technologie océanique** : Les questions de recherche sur ce thème visent à déterminer quels indicateurs seront nécessaires dans l'avenir, quels capteurs seront requis pour enregistrer ces mesures et comment ils pourront être intégrés aux réseaux d'observation à l'échelle nationale. Résoudre ces questions permettrait de faire de nouveaux types d'observations et d'expériences et d'abaisser les coûts de la surveillance sur une vaste échelle à long terme, ce qui contribuerait aussi à atténuer les défis inhérents aux autres thèmes de recherche. Le secteur diversifié et dynamique de la technologie océanique au Canada a assurément la capacité requise pour mettre au point des outils et des technologies susceptibles de faire progresser les sciences de la mer au Canada et à l'étranger. Un défi primordial dans ce domaine est de parvenir à mieux aligner le développement technologique fondé sur la recherche dans le secteur scientifique sur les possibilités de développement de technologies commerciales et d'améliorer l'accès des instruments scientifiques aux marchés internationaux afin de rendre ces innovations économiquement viables.
- **La gouvernance de l'océan** : Ce thème se distingue par une incertitude croissante dans les volets écologiques et sociaux des systèmes socioécologiques, et il exige de la recherche multidisciplinaire et l'intégration de connaissances provenant de multiples sources. La nécessité d'élaborer des approches axées sur l'adaptation et la participation dans la gouvernance de l'océan ouvre des possibilités pour concevoir des approches novatrices en recherche et de nouvelles formes d'alignement et de collaboration entre les chercheurs, les décideurs et les professionnels.
- **La santé et le bien-être humains** : La recherche sur le rapport entre l'océan et la santé et le bien-être humains subit un changement de paradigme, l'accent se déplaçant des contaminants et des maladies vers une interprétation plus holistique des déterminants sociaux et environnementaux de la santé. Même si plusieurs questions de recherche évoquent ce changement, la recherche actuelle au Canada s'intéresse principalement à certains déterminants biologiques tels que les pathogènes et les biotoxines. Les principaux défis ont trait à l'intégration de la capacité de recherche sur des déterminants liés à l'océan aux recherches inspirées par une perspective socioécologique plus large.

Sous-question 2

Sur quelles infrastructures le Canada peut-il compter et de quelles autres devra-t-il se doter pour répondre aux grandes questions de recherche en sciences de la mer dans toute la diversité de leurs aspects?

En faisant une interprétation large de cette sous-question, le comité d'experts a répertorié plusieurs domaines de capacités qui sont essentiels pour les sciences de la mer en général et qui influent donc sur la plupart des activités de recherche susceptibles d'aider à répondre aux 40 questions de recherche :

- **La capacité humaine** : Le comité d'experts a noté avec inquiétude qu'il pourrait être difficile de déterminer la capacité humaine globale en sciences de la mer à cause des limites des données. Comme l'indique la section 2.1, la principale contrainte est que les ensembles de données statistiques disponibles ne tiennent pas compte du caractère multidisciplinaire des sciences de la mer. Parmi les autres facteurs, il y a le manque de données cohérentes provenant des universités et des ministères. À l'examen des données disponibles, le comité d'experts a relevé une légère tendance à la hausse du nombre de diplômés (en sciences naturelles) ayant reçu une formation pertinente en sciences de la mer dans les universités canadiennes au cours de la dernière décennie. Le nombre de professeurs qui reçoivent du financement en sciences de la mer a augmenté entre 2002 et 2008, mais il a diminué depuis. Néanmoins, le comité d'experts n'a pu déterminer si cette tendance signifie que certains chercheurs quittent le Canada, ou s'intéressent à des domaines autres que les sciences de la mer ou encore reçoivent du financement d'autres sources.
- **La gestion du temps-navire et de la flotte** : Les données présentées à la section 2.3.1 incitent à penser que le maintien d'une capacité au niveau des navires de recherche, en tenant compte de l'âge de la flotte et de l'accès pour les chercheurs autres que ceux du MPO, est un défi clé pour l'infrastructure des sciences de la mer au Canada. Même si le renouvellement en cours de la flotte permettra de solutionner certains de ces problèmes, le manque d'information sur la disponibilité et l'utilisation du temps-navire est problématique pour la planification et l'établissement des besoins de recherche futurs. Les autres pays s'attaquent à ce problème en mettant en place des consortiums pour assurer la gestion conjointe de l'accès au temps-navire pour la recherche et les gros instruments scientifiques. Une information et une gestion améliorées faciliteraient aussi un partage international de la capacité, ce qui pourrait permettre l'accès à un éventail plus large d'équipements.

- **L'observation de l'océan** : Le Canada possède une capacité de calibre mondial pour certaines activités d'observation, par exemple des réseaux câblés, l'observation à partir de l'espace et le repérage des espèces marines. Cependant, l'obtention d'une bonne couverture géographique, ainsi que l'intégration et la gestion des données présentent des difficultés. Tel que noté ci-dessus, le vaste littoral du Canada et son exposition aux changements rapides qui se produisent dans l'Arctique soulèvent d'imposants défis face au besoin d'assurer une observation et une surveillance continues pour apporter une réponse exhaustive à plusieurs des 40 questions de recherche. Le Canada a une population limitée et il est peu probable qu'il puisse seul trouver les ressources nécessaires. Dans ce contexte, l'établissement de priorités et la coordination ont un rôle important à jouer afin de s'assurer qui les investissements dans l'infrastructure d'observation répondent aux besoins prioritaires et que les ressources nécessaires à son fonctionnement et à son utilisation soient disponibles à long terme. La collaboration internationale et le partage des instruments constituent une autre façon de parvenir à une observation plus complète et de meilleure qualité avec des ressources limitées.

Sous-question 3

Quelles ententes et nouvelles associations innovatrices pourraient être conclues entre les parties prenantes de la recherche en sciences de la mer (c'est-à-dire les gouvernements, les universités, les industries et les collectivités) afin de permettre au Canada de continuer de répondre aux questions qui concernent ses océans et de consolider son rôle de chef de file de la collaboration internationale en sciences de la mer?

Le comité d'experts a recensé plusieurs types de réseaux et d'alignements novateurs qui transforment la façon dont les spécialistes des sciences de la mer collaborent en vue d'élucider les questions de recherche qui se posent au Canada. En particulier, de nouvelles possibilités de financement accessibles par le truchement de la FCI, du Programme des RCE et d'autres sources facilitent le développement de nouvelles formes de co-investissement et de cogestion pour les grandes infrastructures matérielles. Les exemples les plus manifestes sont les RCE, tels qu'ArcticNet, qui gère le brise-glace de recherche *NGCC Amundsen*, et l'ONCEE, qui appuie des partenariats entre l'industrie et les chercheurs en vue du développement et de l'utilisation des technologies d'observation océanique comme celles qui sont appliquées dans les observatoires câblés NEPTUNE et VENUS. Ces possibilités de financement permettent aussi la formation de nouveaux types de partenariats entre les disciplines et entre les chercheurs des organismes

gouvernementaux, des universités, du secteur privé et des organisations de la société civile. D'autres exemples, tels que l'Ocean Tracking Network, montrent comment ces investissements peuvent servir de catalyseurs à une collaboration internationale efficace. À une échelle plus restreinte, les partenariats stratégiques du CRSNG et d'autres programmes suscitent le développement de partenariats et de réseaux de scientifiques et de professionnels qui ciblent des problématiques précises. Enfin, les consortiums émergents d'acteurs tels que le CCURO donnent une impulsion supplémentaire au changement dans le secteur des sciences de la mer au Canada.

6.3 CONCLUSION FINALE

En gardant à l'esprit que le mandat qui lui a été confié porte sur la capacité nationale en sciences de la mer, le comité d'experts a recensé les lacunes suivantes dans la coordination et l'alignement des sciences de la mer au Canada, lesquelles ne sont pas abordées à l'heure actuelle.

- **Un manque de vision** : Contrairement à d'autres pays ou à d'autres disciplines au Canada, il n'y a pas de stratégie ou de vision nationale d'ensemble des sciences de la mer au pays. Le comité d'experts a noté que la stratégie scientifique de 2008 du MPO n'aborde pas certains enjeux importants soulevés dans les 40 questions de recherche, dont plusieurs sortent du mandat du MPO. L'absence d'une telle vision ou stratégie rend difficile une hiérarchisation des besoins et une planification minutieuse et prospective des investissements en sciences de la mer.
- **Un manque de coordination** : Pour trouver réponse aux 40 questions de recherche, il faut pouvoir s'appuyer sur une collaboration plus étroite aux paliers local, régional, national et international. Il existe de nombreux cas de collaboration fructueuse au Canada. Bien que la structure des grappes régionales permette de s'attaquer à plusieurs des enjeux complexes et multi-échelles articulés dans les 40 questions de recherche, de sérieux défis persistent au chapitre de la coordination, par exemple l'agrégation des résultats de la recherche à l'échelle locale et régionale dans un macrocontexte, ainsi que le partage et la communication des résultats de la recherche au niveau international. Un défi connexe est d'améliorer la capacité de mobilisation des connaissances, tant entre les disciplines, pour appuyer la recherche interdisciplinaire et la coproduction de connaissances, qu'entre la communauté des sciences de la mer et les utilisateurs des sciences de la mer dans la sphère des politiques, l'industrie et la société civile. Des problèmes de coordination se posent également pour ce qui est de soutenir l'observation à grande échelle, de répartir efficacement les ressources et de planifier, gérer et mettre en commun les infrastructures au niveau national.

- **Un manque d'information** : Tel que noté au tableau 6.1 ci-dessus, les contraintes liées à l'accès, à la disponibilité et à la comparabilité de l'information ont compliqué la tâche d'évaluer plusieurs catégories de capacité en sciences de la mer. Bien que de nombreux intervenants en sciences de la mer tiennent des inventaires pour leur usage interne, aucun mécanisme ou registre existant ne recueille systématiquement et ne fait régulièrement la mise à jour des renseignements sur les activités de recherche, les infrastructures et les autres capacités importantes en sciences de la mer pour l'ensemble du pays. Même si la cueillette de ces renseignements représente aussi une tâche complexe dans d'autres pays, certains, comme les États-Unis, l'Allemagne et le Royaume-Uni, ont créé des institutions et des processus pour collecter ces données et les mettre à la disposition des intervenants en sciences de la mer. Ces renseignements sont ensuite utilisés non seulement pour évaluer les capacités, mais aussi pour éclairer l'élaboration périodique de stratégies scientifiques nationales et de plans et pour établir des priorités aux fins de la prise de décision concernant les investissements dans l'infrastructure de recherche (voir la section 2.2.6). L'absence de tels inventaires au Canada complique la tâche de déterminer les capacités requises au niveau national. De même, il est plus difficile de reconnaître les possibilités qui s'offrent pour répondre aux 40 questions de recherche grâce à la collaboration nationale ou internationale.

Il est essentiel de combler ces lacunes pour que le Canada puisse répondre aux besoins croissants des sciences de la mer avec des ressources limitées et faire le meilleur usage possible des capacités actuelles pour exploiter les possibilités que présentent les sciences de la mer tout en favorisant la collaboration internationale. Aucun alignement, consortium ou réseau actuel ou émergent ne saurait, à lui seul, combler ces écarts. Cette tâche requiert un effort national mobilisant l'ensemble de la communauté canadienne des océanologues, ainsi que les utilisateurs des sciences de la mer, y compris les décideurs, les entrepreneurs, les collectivités et la société civile.

Références

Références

AADNC et CCAP, 2011 – Affaires autochtones et Développement du Nord Canada et Commission canadienne des affaires polaires. *Raport ministériel sur le rendement 2010-2011*, Ottawa, ON, AADNC.

ACIA, 2013 – Agence canadienne d'inspection des aliments. *Programme canadien de contrôle de la salubrité des mollusques*. Adresse URL : http://www.inspection.gc.ca/aliments/poisson-et-produits-de-la-mer/salubrite-des-mollusques/fra/1299826806807/1299826912745 (dernière consultation : mai 2013).

AMSA, 2013 – Australian Marine Sciences Association. *Page d'accueil*. Adresse URL : http://www.amsa.asn.au/ (dernière consultation : juin 2013).

ArcticNet, 2011 – ArcticNet. *Rapport annuel*, Québec, QC, Université Laval.

ArcticNet, 2012 – ArcticNet. *Impacts of Environmental Change in the Canadian Coastal Arctic: A Compendium of Research Conducted During ArcticNet Phase I (2004-2008)*, vol. 2, Québec, QC, ArcticNet Inc.

ArcticNet, 2013 – ArcticNet. *Foire aux questions*. Adresse URL : http://www.arcticnet.ulaval.ca/media/faq.php (dernière consultation : juin 2013).

Argo, s.d. – Argo. *About Argo*. Adresse URL : http://www.argo.ucsd.edu/About_Argo.html (dernière consultation : mars 2013).

Armitage *et al.*, 2011 – Armitage, D., F. Berkes, A. Dale, E. Kocho-Schellenberg et E. Patton. « Co-management and the co-production of knowledge: Learning to adapt in Canada's Arctic », *Global Environmental Change*, vol. 21, nº 3, p. 995-1004, doi: 10.1016/j.gloenvcha.2011.04.006.

Arritt et Rummukainen, 2011 – Arritt, R.W. et M. Rummukainen. « Challenges in regional-scale climate modeling », *American Meteorological Society*, vol. 92, nº 3, p. 365-368, doi: 10.1175/2010BAMS2971.1.

ASC, 2006 – Agence spatiale canadienne. *Construction et coût*. Adresse URL : http://www.asc-csa.gc.ca/fr/satellites/radarsat1/construction.asp (dernière consultation : mars 2013).

ASC, 2012a – Agence spatiale canadienne. *Satellites d'observation de la terre*. Adresse URL : http://www.asc-csa.gc.ca/fra/satellites/default-ot.asp (dernière consultation : mars 2013).

ASC, 2012b – Agence spatiale canadienne. *Mission de télécommunications et de météorologie polaire (PCW)*. Adresse URL : http://www.asc-csa.gc.ca/fra/satellites/pcw/default.asp dernière consultation : mars 2013).

AZCC, 2013 – Association zone côtière Canada. *Page d'accueil*. Adresse URL : http://www.czca-azcc.org/html/home.html (dernière consultation : mars 2013).

Baker et Chandler, 2008 – Baker, K.S., et C.L. Chandler. « Enabling long-term oceanographic research: Changing data practices, information management strategies and informatics », *Deep-Sea Research II*, vol 55, nº18-19, p. 2132-2142, doi: 10.1016/j.dsr2.2008.05.009.

Barange *et al.*, 2010 – Barange, M., J. Field, R. Harris, E. Hofmann, R.I. Perry et C. Werner (réd.). *Marine Ecosystems and Global Change*, Oxford, NY, Oxford University Press.

Barnes *et al.*, 2008 – Barnes, C.R., M.M.R. Best et A. Zielinski. « The NEPTUNE Canada regional cabled ocean observatory », *Sea Technology*, vol. 49, nº 7, p. 10-14.

Barnes *et al.*, 2011 – Barnes, C.R., M.M.R. Best, L. Pautet et B. Pirenne. « Understanding earth-ocean processes using real-time data from NEPTUNE, Canada's widely distributed sensor networks, Northeast Pacific », *Geoscience Canada*, vol. 38, nº 1, p. 21-30.

Bastian *et al.*, 2009 – Bastian, M., S. Heymann et M. Jacomy. *Gephi: An Open Source Software for Exploring and Manipulating Networks*. Exposé présenté lors de la Troisième conférence internationale de l'ICWSM, San Jose, CA.

Berkes, 1999 – Berkes, F. *Sacred Ecology: Traditional Ecological Knowledge and Resource Management*, Philadelphie, PA, et Londres, Royaume-Uni, Taylor & Francis.

Berkes *et al.*, 2001 – Berkes, F., J. Mathias, M. Kislalioglu et H. Fast. « The Canadian Arctic and the *Oceans Act*: The development of participatory environmental research and management », *Ocean and Coastal Management*, vol. 44, nº 19.

Berkes, 2011 – Berkes, F. « Restoring Unity: The Concept of Marine Social-Ecological Systems », dans Ommer, R.E., R.I. Perry, K.L. Cochrane et P. Cury (réd.), *World Fisheries: A Social-Ecological Analysis*, Sussex, Royaume-Uni, Wiley-Blackwell.

Brosnan *et al.*, 2011 – Brosnan, I.G.,T.M. Leschine et E.L. Miles. « Cooperation or conflict in a changing Arctic? », *Ocean Development & International Law*, vol. 42, p. 173-210, doi: 10.1080/00908320.2011.543032.

BVGC, 2007 – Bureau du vérificateur général du Canada. *Le point. Rapport de la vérificatrice générale du Canada à la Chambre des communes. Chapter 4 : La gestion de la flotte et des services à la navigation maritime de la Garde côtière – Pêches et Océans Canada*, Ottawa, ON, BVGC.

BVGC, 2012 – Bureau du vérificateur général du Canada – *Rapport du commissaire à l'environnement et au développement durable*, Ottawa, ON, BVGC.

CAC, 2008 – Conseil des académies canadiennes. *Vision pour l'Initiative canadienne de recherche dans l'Arctique – Évaluation des possibilités,* Ottawa, ON, Comité d'experts internationaux sur les priorités scientifiques de l'Initiative canadienne de recherche dans l'Arctique, CAC.

CAC, 2010 – Conseil des académies canadiennes. *La taxonomie canadienne : explorer la biodiversité, créer des possibilités,* Ottawa, ON, Le comité d'experts sur les sciences de la biodiversité, CAC.

CAC, 2012a – Conseil des académies canadiennes. *Les 40 questions prioritaires pour le recherche canadienne en sciences de la mer – Un exercice d'établissement de priorités mené par le groupe cadre sur les sciences de la mer canadiennes,* Ottawa, ON, CAC.

CAC, 2012b – Conseil des académies canadiennes. *L'état de la science et de la technologie au Canada,* Ottawa, ON, Le Comité pour le rapport sur l'État de la science et de la technologie au Canada, CAC.

CAC, 2012c – Conseil des académies canadiennes. *Éclairer les choix en matière de recherche : Indicateurs et décisions,* Ottawa, ON, Le comité d'experts sur le rendement scientifique et le financement de la recherche, CAC.

C-CORE, 2005 – Centre for Cold Ocean Resources Engineering. *About C-CORE.* Adresse URL : http://www.c-core.ca/index.php (dernière consultation : mars 2013).

Calado *et al.*, 2012 – Calado, H., J. Bentz, K. Ng, A. Zivian, N. Schaefer, C. Pringle, … M. Phillips. « NGO involvement in marine spatial planning: A way forward? », *Marine Policy*, vol. 36, nº 2, p. 382-388, doi: 10.1016/j.marpol.2011.07.009.

CANARIE, 2012 – Le réseau évolué de recherche et d'innovation au Canada. *Rapport annuel au ministre,* Industrie Canada.

CANDAC, 2013a – Canadian Network for the Detection of Atmospheric Change. *Arrêt des opérations de PEARL.* http://www.candac.ca/candac/docs/PEARL_Closure_Media_Release_fr.pdf (dernière consultation : mars 2013).

CANDAC, 2013b – Canadian Network for the Detection of Atmospheric Change. *Bulletin*, juin 2013. http://www.candac.ca/candac/Links/Newsletters/newsletter_2013-06-17-PAHA_fr.pdf (dernière consultation : septembre 2013).

CBM, 2013 – Centre pour la biodiversité marine. *Bienvenue.* Adresse URL : http://www.marinebiodiversity.ca/cmb (dernière consultation : juin 2013).

CCAP, 2012 – Commission canadienne des affaires polaires. *Carte des installations de recherche nordique.* Adresse URL : http://www.polarcom.gc.ca/index.php?page=northern-research-facilitiesamp;hl=fr_FR (dernière consultation : mai 2013).

CCE, 2012 – Commission de coopération environnementale. *Guide à l'intention des planificateurs et des gestionnaires pour la création de réseaux d'aires marines protégées résilientes dans le contexte des changements climatiques,* Montréal, QC,

CCEI, 2007 – Canadian Centre for Energy Information. *Canada's Evolving Offshore Oil and Gas Industry*, Calgary, AB, CCEI.

CERC, 2013a – Chaires d'excellence en recherche du Canada. *Titulaires de chaire d'excellence en recherche du Canada.* Adresse URL : http://www.cerc.gc.ca/cpch-pctc-fra.shtml (dernière consultation : mars 2013).

CERC, 2013b – Chaires d'excellence en recherche du Canada. *Détails sur le programme - Aperçu.* Adresse URL : http://www.cerc.gc.ca/cpov-pcap-fra.shtml (dernière consultation : mars 2013).

Charles, 2012 – Charles, A. « People, oceans and scale: governance, livelihoods and climate change adaptation in marine social-ecological systems », *Current Opinion in Environmental Sustainability, vol.* 4, nº 3, p. 351-357, doi: 10.1016/j.cosust.2012.05.011.

CHONe, 2009 – Réseau stratégique du CRSNG pour des océans canadiens en santé. *Accueil.* Adresse URL : http://chone.marinebiodiversity.ca/?set_language=fr/ (dernière consultation : mai 2013).

Cinmaps, 2013 – Canadian Ocean Technology Sector. *List of Organizations by Sub-Sector.* Adresse URL : http://ocean.cinmaps.ca/industry_view (dernière consultation : mars 2013).

Clague *et al.*, 2003 – Clague, J.J., A. Munro et T. Murty. « Tsunami hazard and risk in Canada », *Natural Hazards,* vol. 28, nº 2-3, p. 435-463, doi: 10.1023/a:1022994411319.

CNLOPB, 2013 – Office Canada-Terre-Neuve des hydrocarbures extracôtiers. *Locations - Core Storage and Research Centre.* Adresse URL : http://www.cnlopb.nl.ca/exp_csrc.shtml (dernière consultation : mars 2013).

CNRC, 2012a – Conseil national de recherches du Canada. *Service d'aide technique.* Adresse URL : https://www.nrc-cnrc.gc.ca/fra/contactez/index.html#technique (dernière consultation : décembre 2012).

CNRC, 2012b – Conseil national de recherches du Canada. *Laboratoire de biopuces.* Adresse URL : http://www.nrc-cnrc.gc.ca/fra/solutions/consultatifs/biopuces.html (dernière consultation : décembre 2012).

CNRC, 2012c – Conseil national de recherches du Canada. *Bassin d'essai des carènes dans des conditions de glace.* Adresse URL : https://www.nrc-cnrc.gc.ca/fra/solutions/installations/performance_maritimes/bassin_glace.html (dernière consultation : janvier 2013).

CNRC, 2012d – Conseil national de recherches du Canada. *Poisson zèbre – installation de criblage.* Adresse URL : https://www.nrc-cnrc.gc.ca/fra/solutions/installations/poissonzebre.html (dernière consultation : décembre 2012).

CNRC, 2012e – Conseil national de recherches du Canada. *Installation de partenariat de développement des cultures et des ressources aquatiques.* Adresse URL : https://www.nrc-cnrc.gc.ca/fra/solutions/installations/charlottetown_index.html (dernière consultation : décembre 2012).

CNSOPB, s.d. – Canada-Nova Scotia Offshore Petroleum Board. *Geoscience Research Centre*. Adresse URL : http://www.cnsopb.ns.ca/geoscience/geoscience-research-center (dernière consultation : mars 2013).

Coastal Cities at Risk, s.d. – Coastal Cities at Risk. *Coastal Cities at Risk Project Overview*. Adresse URL : http://coastalcitiesatrisk.org/wordpress/about-ccar/project-overview/ (dernière consultation : juin 2013).

Cohen, B.I., Commissaire, 2012a – Cohen, B.I. *Commission d'enquête Cohen sur le déclin des populations de saumon rouge du fleuve Fraser (Canada) – L'avenir incertain du saumon rouge du fleuve Fraser,* vol. 1

Cohen, B.I., Commissaire, 2012b – Cohen, B.I. *Commission d'enquête Cohen sur le déclin des populations de saumon rouge du fleuve Fraser (Canada) – L'avenir incertain du saumon rouge du fleuve Fraser,* vol. 3

COI/UNESCO, 2002 – Commission océanographique intergouvernmentale de l'UNESCO. *Une planète un océan. Développement durable des océans et des côtes : 129 États s'engagent,* Paris, France, UNESCO.

COI/UNESCO *et al.*, 2011 – Commission océanique intergouvernmentale de l'UNESCO, Organisation maritime internationale, Organisation des Nations Unies pour l'agriculture et l'alimentation et Programme des Nations Unies pour le développement. *Résumé destiné aux décideurs – Plan pour la durabilité des océans et des zones côtières*, Paris, France, COI/UNESCO.

Colbourne, 2006 – Colbourne, B. « St. John's ocean technology cluster: can government make it so? », *Canadian Public Administration*, vol. 49, nº 1, p. 46-59, doi: 10.1111/j.1754-7121.2006.tb02017.x.

Convention de Ramsar, 1987 – Convention de Ramsar. *Convention relative aux zones humides d'importance internationale particulièrement comme habitats des oiseaux d'eau. Telle qu'amendée par le protocole du 3.12.1982 et les amendements […] du 28.5.1987*, Paris, France, Office des normes internationales et des Affaires juridiques, Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO).

Conseil de l'Arctique, 2009 – Conseil de l'Arctique. *Évaluation de la navigation maritime dans l'Arctique* 2e édition, Conseil de l'Arctique.

Coulthard, 2012 – Coulthard, S. « What does the debate around social wellbeing have to offer sustainable fisheries? », *Current Opinion in Environmental Sustainability,* vol. 4, nº 3, p. 358-363, doi: 10.1016/j.cosust.2012.06.001.

CRC, 2013 – Chaires de recherche du Canada. *À notre sujet - Statistiques*. Adresse URL : http://www.chairs-chaires.gc.ca/about_us-a_notre_sujet/statistics-statistiques-fra.aspx (dernière consultation : mars 2013).

CRSH, 2009 – Conseil de recherches en sciences humaines du Canada. *Stratégie de mobilisation des connaissances, 2009-2011*, Ottawa, ON, CRSH.

CRSNG, 2010 – Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada. *Communiqué de presse - Le gouvernement du Canada investit dans de nouveaux réseaux de recherche stratégique*. Adresse URL : http://www.nserc-crsng.gc.ca/Media-Media/NewsRelease-CommuniqueDePresse_fra.asp?ID=173 (dernière consultation : juillet 2013).

CRSNG, 2012a – Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada. *Programme de temps-navire*. Adresse URL : http://www.nserc-crsng.gc.ca/Professors-Professeurs/grants-subs/ST-TN_fra.asp (dernière consultation : décembre 2012).

CRSNG, 2012b – Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada. *Programme d'appui aux ressources majeures*. Adresse URL : http://www.nserc-crsng.gc.ca/Professors-Professeurs/RTII-OIRI/MRS-ARM_fra.asp (dernière consultation : juin 2013).

CRSNG, 2013a – Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada. *Subventions de réseaux stratégiques*. Adresse URL : http://www.nserc-crsng.gc.ca/professors-professeurs/RPP-PP/SNG-SRS_fra.asp (dernière consultation : juin 2013).

CRSNG, 2013b – Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada. *Recherche sur les changements climatiques et l'atmosphère*. Adresse URL : http://www.nserc-crsng.gc.ca/Professors-Professeurs/Grants-Subs/CCAR-RCCA_fra.asp (dernière consultation : mai 2013).

CSSF, 2013 – Canadian Scientific Submersible Facility. *Operations Schedule*. Adresse URL : http://www.ropos.com/index.php?option=com_content&view=article&id=46&Itemid=28 (dernière consultation : avril 2013).

CUS, 2004 – Coasts Under Stress. *The Impact of Social and Environmental Restructuring on Environmental and Human Health in Canada*. Adresse URL : www.coastsunderstress.ca (dernière consultation : décembre 2012).

CUS, 2006 – Coasts Under Stress. *Dissemination Report*, Victoria, BC, CUS.

Dale et Armitage, 2011 – Dale, A., et D. Armitage. « Marine mammal co-management in Canada's Arctic: Knowledge co-production for learning and adaptive capacity », *Marine Policy,* vol. 35, nº 4, p. 440-449, doi: 10.1016/j.marpol.2010.10.019.

DEFRA, 2010 – Department of Environment Food and Rural Affairs. *UK Marine Science Strategy*, Londres, Royaume-Uni, DEFRA.

Delaney et Barga, 2009 – Delaney, J.J., et R.S. Barga. « A 2020 Vision for Ocean Science », dans T. Hey, S. Tansley et K. Tolle (réd.), *The Fourth Paradigm: Data-Intensive Scientific Discovery*, Redmond, WA, Microsoft Research.

Deser *et al.*, 2004 – Deser, C., G. Magnusdottir, R. Saravanan et A. Phillips. « The effects of North Atlantic SST and sea ice anomalies on the winter circulation in CCM3. Part II: Direct and indirect components of the response », *Journal of Climate*, vol. 17, nº 5, p. 877-889, doi: 10.1175/1520-0442(2004)017<0877:TEONAS>2.0.CO;2.

Devine Tarbell & Associates, 2008 – Devine Tarbell & Associates Inc. *Review of Marine Energy Technologies and Canada's R&D Capacity*, Toronto, ON, Ressources naturelles Canada.

DFG, 2012 – Deutsche Forschungsgemeinschaft. *Permanent Senate Commission on Oceanography*. Adresse URL : http://www.dfg.de/en/dfg_profile/statutory_bodies/senate/oceanography/index.html (dernière consultation : juin 2013).

Digital Fishers, s.d. – Digital Fishers. *Page d'acceuil*. Adresse URL : http://digitalfishers.net/ (dernière consultation : juin 2013).

Doel *et al.*, 2006 – Doel, R.E., T.J. Levin et M.K. Marker. « Extending modern cartography to the ocean depths: military patronage, Cold War priorities, and the Heezen–Tharp mapping project, 1952–1959 », *Journal of Historical Geography*, vol. 32, nº 3, p. 605-626, doi: 10.1016/j.jhg.2005.10.011.

Doloreux et Melançon, 2008 – Doloreux, D., et Y Melançon. « On the dynamics of innovation in Quebec's coastal maritime industry », *Technovation*, vol. 28, nº 4, 231-243, doi: 10.1016/j.technovation.2007.10.006.

Doloreux et Melançon, 2009 – Doloreux, D., et Y Melançon. « Innovation-support organizations in the marine science and technology industry: The case of Quebec's coastal region in Canada », *Marine Policy*, vol. 33 nº 1, p. 90-100.

Doloreux et Shearmur, 2009. Doloreux, D., et R. Shearmur. « Maritime clusters in diverse regional contexts: The case of Canada », *Marine Policy*, vol. 33 nº 3, p. 520-527, doi: 10.1016/j.marpol.2008.12.001.

Dufour, 2012 – Dufour, P. « Becoming a northern minerva: Injecting science into Canada's foreign policies », *Science & Diplomacy*, vol. 1 nº 2.

EC, 2001 – Environnement Canada. *Programme de lutte contre les contaminants dans le Nord*. Adresse URL : http://www.ec.gc.ca/media_archive/press/2001/010509-2_b_f.htm (dernière consultation : mars 2013).

EC, 2011 – Environnement Canada. *Évaluation des services de la sous-activité du transport maritime*. Adresse URL : http://www.ec.gc.ca/doc/ae-ve/2011-2012/1418/index_f.htm (dernière consultation : mars 2013).

EC, 2012 – Environnement Canada. *Revue de l'nformation financière - Services au transport maritime*. Adresse URL : http://www.ec.gc.ca/ae-ve/default.asp?lang=Fr&n=3230412B-1 (dernière consultation : octobre 2012).

EC, 2013 – Environnement Canada. *Sciences et technologie - Installations, bâtiments, laboratoires et réseaux*. Adresse URL : http://www.ec.gc.ca/scitech/default.asp?lang=Fr&n=AEA51064-1 (dernière consultation : juin 2013).

EMBC, s.d. – Emergency Management British Columbia. *Prepare for Tsunamis in Coastal British Columbia*. Adresse URL : http://embc.gov.bc.ca/em/hazard_preparedness/Tsunami_Brochure/Prepare_for_Tsunami.html (dernière consultation : mars 2013).

Eurofleets, s.d.– Eurofleets. *Common and Sustainable Use of RV [Research Vessels]*. Adresse URL : http://www.eurofleets.eu/np4/sustainable_use (dernière consultation : mai 2013.

European Marine Board, 2013a – European Marine Board. *Navigating the Future IV, Position Paper 20*, Ostende, Belgique, European Marine Board.

European Marine Board, 2013b – European Marine Board. *About the European Marine Board*. Adresse URL : http://www.marineboard.eu/about (dernière consultation : juillet 2013).

FAO, 2010 – Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. *La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2010. Première partie : Situation mondiale des pêches et de l'aquaculture*, Rome, Italie, Département des pêches et de l'aquacuture de la FAO.

FCI, 2013a – Fondation canadienne pour l'innovation. *Fonds d'exploitation des infrastructure*. Adresse URL : http://www.innovation.ca/fr/Fonds/FondsdelaFCI/Fondsdexploitationdesinfrastructures (dernière consultation : juin 2013).

FCI, 2013b – Fondation canadienne pour l'innovation. *Fonds des initiatives scientifiques majeures*. Adresse URL : http://www.innovation.ca/fr/Fonds/FondsdelaFCI/Fondsdesinitiativesscientifiquesmajeures (dernière consultation : juin 2013).

FCSCA, 2012 – Fondation canadienne pour les sciences du climat et de l'atmosphère. *L'adaptation au changement – Rapport annuel 2011-2012*, Fondation canadienne pour les sciences du climat et de l'atmosphère.

FEE, 2013 – Fonds pour l'étude de l'environnement. *À propos du FEE*. Adresse URL : http://www.esrfunds.org/abopro_f.php (dernière consultation : mars 2013).

FISH-BOL, 2012 – Fish Barcode of Life. *Fish Barcode of Life (FISH-BOL) Initiative*. Adresse URL : http://www.fishbol.org/ (dernière consultation : juin 2013).

Ford *et al.*, 2006 – Ford, J.D., B. Smit, J. Wandel et J. MacDonald. « Vulnerability to climate change in Igloolik, Nunavut: What we can learn from the past and present », *Polar Record*, vol. 42, nº 02, p. 127-138, doi: 10.1017/S0032247406005122.

Foreman et Yamanaka, 2011 – Foreman, M.G., et Y. Yamanaka (réd.). *Report of Working Group 20 on Evaluations of Climate Change Projections*, Sidney, BC, PICES.

Fowler *et al.*, 2004 – Fowler, G.A., G.R. Siddall et S.J. Prinsenberg.« An energy-conserving oceanographic profiler for use under mobile ice cover: ICYCLER », *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, vol. 14 nº 3, p. 176.

Fu *et al.*, 2001 – Fu, C., R. Mohn et L.P. Fanning. « Why the Atlantic cod (*Gadus morhua*) stock off eastern Nova Scotia has not recovered », *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 58, nº 8, p. 1613-1623, doi: 10.1139/f01-095.

GC, 2007 – Gouvernement du Canada. *Canada's New Government Activates the Atlantic Tsunami Warning System. Media Release.* Adresse URL : http://www.marketwire.com/press-release/canadas-new-government-activates-the-atlantic-tsunami-warning-system-632005.htm (dernière consultation : mai 2013).

GC, 2009 – Gouvernement du Canada. *Stratégie pour le Nord du Canada : Notre Nord, notre patrimoine, notre avenir*, Ottawa, ON, Ministre des Affaires indiennes et du Nord canadien et interlocuteur fédéral auprès des Métis et des Indiens non inscrits.

GC, 2010 – Gouvernement du Canada. *Federal S&T Map: Oceans Science Case Study*, SMA, Conseil d'intégration pour les S et T.

GC, 2011 – Gouvernement du Canada. *Cadre national pour le réseau d'aires marines protégées du Canada*, Ottawa, ON, Pêches et Océans Canada.

GCC, 2010 – Garde côtière canadienne. *Rapport annuel de la flotte 2009-2010.* Ottawa, ON, Garde côtière canadienne, Pêches et Océans Canada.

CCG, 2011 – Garde côtière canadienne. *2010-2011 Rapport annuel de la flotte,* Ottawa, ON, Garde côtière canadienne, Pêches et Océans Canada.

GCC, 2012a – Garde côtière canadienne. *Brise-glace polaire.* Adresse URL : http://www.ccg-gcc.gc.ca/approvisionnement-des-navires/Brise-glace-polaire (dernière consultation : mars 2013).

GCC, 2012b – Garde côtière canadienne. *Flotte de la GCC* : *Rapports.* Adresse URL : http://www.ccg-gcc.gc.ca/Flotte/Recherche (dernière consultation : janvier 2013).

GCC, 2012c – Garde côtière canadienne. *Plan intégré d'activités et des ressources humaines de la Garde côtière canadienne (PIARH) 2012-2015*, Ottawa, ON, Garde côtière canadienne, Pêches et Océans Canada.

GCC, 2012d – Garde côtière canadienne. *Au sujet du Brise-glace polaire.* Adresse URL : http:// http://www.ccg-gcc.gc.ca/approvisionnement-des-navires/brise-glace-polaire/FAQs (dernière consultation : mars 2013).

GCC, 2012e – Garde côtière canadienne. *Nos navires et hélicoptères…opérationnels et sécuritaires.* Adresse URL : http://www.ccg-gcc.gc.ca/f0015223 (dernière consultation : mars 2013).

Gemmill et Bamidele-Izu, 2002 – Gemmill, B., et A. Bamidele-Izu. « The role of NGOs and civil society in global environmental governance », dans Esty, D.C., et M.H. Ivanova (réd.), *Global Environmental Governance: Options & Opportunities*, New Haven, CT, Yale School of Forestry & Environmental Studies.

Genome BC, 2013 – Genome British Columbia. *News Releases. Salmon Health: Past, Present and Future.* Adresse URL : http://www.genomebc.ca/media/news-releases/2013/salmon-health-past-present-and-future/ (dernière consultation : mars 2013).

Génome Canada, 2013 – Génome Canada. *GE3LS à Génome Canada.* Adresse URL : http://www.genomecanada.ca/fr/ge3ls/propos/ (dernière consultation : juillet 2013).

Genome Prairie *et al.*, 2008 – Genome Prairie, Genome Atlantic et Genome Alberta. *Aquatic and Terrestrial Animal Genomics: Leading and Enhancing Canadian Animal Health and Productivity to 2025*, exposé de principes présenté à Génome Canada. Adresse URL : http://www.genomecanada.ca/medias/PDF/en/Animal-Genomics.pdf (dernière consultation : mars 2013).

GIEC, 2007 – Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. *Changements climatiques 2007 : Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge, Royaume-Uni, Cambridge University Press.

Glasby, 2000 – Glasby, G.P. « Lessons learned from deep-sea mining », *Science,* vol. 289, nº 5479, p. 551-553, doi: 10.1126/science.289.5479.551.

Greater Halifax Partnership, s.d. – Greater Halifax Partnership. *Ocean Industries.* Adresse URL : http://www.greaterhalifax.com/en/home/halifax-nova-scotia/business-sectors/ocean_industries/default.aspx (dernière consultation : mars 2013).

Green et Milligan, 2010 – Green, D.A., et K. Milligan. « The importance of the long form census to Canada », *Canadian Public Policy,* vol. 36, nº 3, p. 383-388, doi: 10.3138/cpp.36.3.383.

Gregg et Casey, 2007 – Gregg, W.W., et N.W. Casey. « Sampling biases in MODIS and SeaWiFS ocean chlorophyll data », *Remote Sensing of Environment*, vol. 111, nº 1, p. 25-35.

Halfar et Fujita, 2007 – Halfar, J., et R.M. Fujita. « Danger of deep-sea mining », *Science*, vol. 316, nº 5827, p. 987, doi: 10.1126/science.1138289.

Hall *et al.*, 2009 – Hall, J., D.E. Harrison et D. Stammer (réd.). *Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society*, Venise, Italie, ESA Publication WPP-306.

Hammer *et al.,* 2010 – Hammer, C., O.S. Kjesbu, G.H. Kruse et P.A. Shelton. « Rebuilding depleted fish stocks: Biology, ecology, social science, and management strategies », *ICES Journal of Marine Science*, vol. 67, c9, p. 1825-1829, doi: 10.1093/icesjms/fsq039.

Hand, 2010 – Hand, E. « Citizen science: People power », *Nature*, vol. 466, p. 685-687, doi: doi:10.1038/466685a.

Hannington *et al.*, 2010 – Hannington, M., J. Jamieson, T. Monecke et S. Petersen. « Modern sea-floor massive sulfides and base metal resources: Toward an estimate of global sea-floor massive sulfide potential », dans Goldfarb, R.J., E.E. Marsh et T. Monecke (réd.), *The Challenge of Finding New Mineral Resources: Global Metallogeny, Innovative Exploration, and New Discoveries, vol. 2: Zinc-Lead, Nickel-Copper-PGE, and Uranium*, publications spéciales de la Society of Economic Geologists, nº 15, Littleton, CO, Society of Economic Geologists.

Hannington *et al.,* 2011 – Hannington, M., J. Jamieson, T. Monecke, S. Petersen et S. Beaulieu (réd.). « The abundance of seafloor massive sulfide deposits », *Geological Society of America*, vol. 39, nº 12, p. 1155-1158, doi: 10.1130/G32468.1.

Hastings, 2011 – Hastings, J.G. « International environmental NGOs and conservation science and policy: A case from Brazil », *Coastal Management*, vol. 39. nº 3, p. 317-335, doi: 10.1080/08920753.2011.566125.

Hawkins, 2011 – Hawkins, L. *Defining our Terms: Community Engagement and Knowledge Mobilization*. Adresse URL : http://www.theresearchshop.ca/sites/default/files/Hawkins%20CSAHS%20CE%20and%20KM%20definitions_2011.pdf (dernière consultation : juillet 2013).

HMSC, s.d.– Hunstman Marine Science Centre. *ARC (Atlantic Reference Centre)*. Adresse URL : http://huntsmanmarine.com/subcontents.php?id=18&sid=27 (dernière consultation : juin 2013).

Ho-Lem *et al.,* 2011 – Ho-Lem, C., H. Zerriffi et M. Kandlikar. « Who participates in the Intergovernmental Panel on Climate Change and why: A quantitative assessment of the national representation of authors in the Intergovernmental Panel on Climate Change », *Global Environmental Change*, vol. 21, nº 4, p. 1308-1317.

Hoagland *et al.,* 2010 – Hoagland, P., S. Beaulieu, M.A. Tivey, R.G. Eggert, C. German, L. GLowka et J. Lin. « Deep-sea mining of seafloor massive sulfides », *Marine Policy*, vol. 34, p. 728-732.

Hunter, 2012 – Hunter, C. *Vers un réseau sous-marin de surveillance sismique amélioré*. Adresse URL : http://www.rncan.gc.ca/science/article/3420 (dernière consultation : juin 2013).

Huntington *et al.,* 2005 – Huntington, H., G. Weller, E. Bush, T.V. Callaghan, V.M. Kattsov et M. Nuttall. « An Introduction to the Arctic Climate Impact Assessment », dans Symon,C., L. Arris et B. Heal (réd.), *Arctic Climate Impact Assessment*, New York, NY, Cambridge University Press.

Hutchings, 1999 – Hutchings, J.A. « The Biological Collapse of Newfoundland's Northern Cod », dans Newell, D., et R. Ommer (réd.), *Fishing People, Fishing Places: Traditions and Issues in Canadian Small-Scale Fisheries*, Toronto, ON, Université de Toronto.

Hutchings et Rangeley, 2011 – Hutchings, J. A., et R.W. Rangeley. « Correlates of recovery for Canadian Atlantic cod (*Gadus morhua*) », *Canadian Journal of Zoology*, vol. 89, nº 5, p. 386-400, doi: 10.1139/z11-022.

Hutchings *et al.,* 2012 – Hutchings, J.A., I.M. Côté, J.J. Dodson, I.A. Fleming, S. Jennings, N.J. Mantua, … D.L. VanderZwaag (réd.). *Le maintien de la biodiversité marine au Canada : relever les défis posés par les changements climatiques, les pêches et l'aquaculture*, Ottawa, ON, rapport produit par le comité d'experts pour la Société royale du Canada.

ICC Canada, 2008 – Inuit Circumpolar Council - Canada. *The Sea Ice is Our Highway - An Inuit Perspective on Transportation in the Actic. A Contribution to the Arctic Marine Shipping Assessment,* Ottawa, ON, ICC Canada.

IMR, 2011 – Institute of Marine Research. *Cruises.* Adresse URL : http://www.imr.no/tokt/en (dernière consultation : mai 2013).

Industrie Canada, 2012 – Industrie Canada. *Profil industriel des technologies océaniques.* Adresse URL : http://www.ic.gc.ca/eic/site/icot-icto.nsf/fra/to00028.html (dernière consultation : mai 2013).

Inuit Qaujisarvingat, 2013 – Inuit Qaujisarvingat. *Inuit Knowledge Centre Home.* Adresse URL : http://www.inuitknowledge.ca/ (dernière consultation : mai 2013).

IOB, 2013 – Institut océanographique de Bedford. *Au sujet de l'IOB.* Adresse URL : http://www.bio.gc.ca/general-generales/about-sujet-fra.php (dernière consultation : mars 2013).

ISA, s.d. – Autorité internationale des fonds marins. *Endowment Fund - Collaborative Marine Scientific Research*, Kingston, Jamaique, Autorité internationale des fonds marins.

ISE, 2011 – International Submarine Engineering Ltd. *AUVs. Building AUVs Since 1984.* Adresse URL : http://www.ise.bc.ca/auv.html (dernière consultation : mars 2013).

Jahn *et al.,* 2011 – Jahn, A., K. Sterling, M.M. Holland, J.E. Kay, J.A. Maslanik, C.M. Bitz, … D.A. Pollak. « Late-twentieth-century simulation of arctic sea ice and ocean properties in the CCSM4 », *Journal of Climate*, vol. 25, nº 5, p. 1431-1452, doi: 10.1175/jcli-d-11-00201.1.

JCOMMOPS, 2008 – Joint WMO-IOC Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology In-Situ Observing Platform Support Centre. *SOOP (Ship-of-Opportunity Programme). Overview.* Adresse URL : http://www.jcommops.org/soopip/soopip_overview.html (dernière consultation : juin 2013).

Jenkins *et al.*, 2013 – Jenkins, T., R. Castelli, C. Cianfarani, D. Fraser et P. Nicholson. *Le Canada d'abord : Exploiter l'approvisionnement militaire en s'appuyant sur les capacités industrielles clés*, Ottawa, ON, Rapport du conseiller spécial à la ministre des Travaux publics et des Services gouvernementaux.

Jentoft et Chuenpagdee, 2009 – Jentoft, S., et R. Chuenpagdee. « Fisheries and coastal governance as a wicked problem », *Marine Policy*, vol. 33, nº 4, p. 553-560, doi: 10.1016/j.marpol.2008.12.002.

Jessen, 2011 – Jessen, S. « A Review of Canada's Implementation of the Oceans Act since 1997–From Leader to Follower? », *Coastal Management*, vol. 39, no 1, p. 20-56, doi: 10.1080/08920753.2011.544537.

Johannessen *et al.,* 2004 – Johannessen, O.M., L. Bengtsson, M.W. Miles, S.I. Kuzmina, V.A. Semenov, G.V. Alekseev, … H.P. Cattle. « Arctic climate change: Observed and modelled temperature and sea-ice variability », *Tellus,* vol. 56A, p. 328-341.

Johnstone *et al.,* 2007 – Johnstone, K.A., H.D.Marshall et S.M. Carr. « Biodiversity genomics for species at risk: Patterns of DNA sequence variation within and among complete mitochondrial genomes of three species of wolffish (*Anarhichas* spp.) », *Canadian Journal of* Zoology, vol. 85, nº 2, p. 151-158, doi: 10.1139/z06-191.

Juda, 2003 – Juda, L. « Changing National Approaches to Ocean Governance: The United States, Canada, and Australia », *Ocean Development & International Law,* vol. 34, nº 2, p. 161-187, doi: 10.1080/00908320390209627.

Kaminski *et al.,* 2010 – Kaminski, C., T. Crees, J. Ferguson, A. Forrest, J. Williams, D. Hopkin et G. Heard. *12 Days Under Ice: An Historic AUV Deployment in the Canadian High Arctic,* communication présentée dans le cadre de la conférence de 2010 de l'IEEE/OES, Autonomous Underwater Vehicles (AUV), Monterrey, CA.

Kintisch, 2013 – Kintisch, E. « A sea change for U.S. oceanography », *Science,* vol. 339, no 6124, p. 1138-1143, doi: 10.1126/science.339.6124.1138.

Krieger, 2011 – Krieger, N. *Epidemiology and the People's Health: Theory and Context*, New York, NY, Oxford University Press.

Leonard *et al.,* 2012 – Leonard, L.J., G.C. Rogers et S. Mazzotti. *A Preliminary Tsunami Hazard Assessment of the Canadian Coastline*, Ottawa, ON, Commission géologique du Canada, dossier public 7201.

Lepawsky, 2009 – Lepawsky, J. *The Organization and Dynamics of Clustering and Innovation in the Ocean Technology Sector in Newfoundland and Labrador and the St. John's City-Region*, St. John's, NF, Université Memorial.

Levin, 2008 – Levin, B. *Réflexions sur la mobilisation du savoir : Un document de discussion préparé pour le Conseil canadien sur l'apprentissage et le Conseil de recherches en sciences humaines du Canada,* Institut d'études pédagogiques de l'Ontario.

Lockwood *et al.,* 2012 – Lockwood, M., J. Davidson, M. Hockings, M. Haward et L. Kriwoken. « Marine biodiversity conservation governance and management: Regime requirements for global environmental change », *Ocean and Coastal Management*, vol. 69, p. 160-172, doi: 10.1016/j.ocecoaman.2012.07.015.

Lutgen, 2010 – Lutgen, G. *The Role of International Fishery Organizations and Other Bodies in the Conservation and Management of Living Aquatic Resources*, vol. 1054, Rome, Italie, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).

MAECI, 2011 – Ministère des Affaires étrangères et du Commerce international Canada. *Programme du plateau continental étendu du Canada (Deuxième évaluation formative),* Gouvernement du Canada.

Manson, 2005 – Manson, G.K. *On the Coastal Populations of Canada and the World,* communication présentée dans le cadre de la Canadian Coastal Conference 2005, Canadian Coastal Science and Engineering Association, Ottawa, ON.

MarBOL, 2013 – Marine Barcode of Life. *Page d'accueil.* Adresse URL : http://www.marinebarcoding.org/ dernière consultation : juin 2013).

Martell *et al.,* 2011 – Martell, D.J., I. Burgetz, J. Duhaime et G.J. Parsons. *R&D en aquaculture au Canada 2011*, Ottawa, ON, Association aquacole du Canada.

MCHP, 2009 – Manitoba Centre for Health Policy. *Term: Population Health Research Data Repository (Repository).* Adresse URL : http://mchp-appserv.cpe.umanitoba.ca/viewDefinition.php?definitionID=103357 (dernière consultation : mars 2013).

McLean, 2013 – McLean, T.I. « "Eco-omics": A review of the application of genomics, transcriptomics, and proteomics for the study of the ecology of harmful algae », *Microbial Ecology*, vol. 65, nº 4, 901-915, doi: 10.1007/s00248-013-0220-5.

MEOPAR, 2013 – Marine Environmental Observation Prediction and Response Network of Centres of Excellence. *MEOPAR Research Plan*, MEOPAR.

Miller *et al.,* 2013 – Miller, K.A., G.R. Munro, U.R. Sumaila et W.W.L. Cheung. « Governing marine fisheries in a changing climate: A game-theoretic perspective », *Canadian Journal of Agricultural Economics*, vol. 61, nº 2, p. 309-334.

Moed *et al.,* 1985 – Moed, H.F., W.J.M. Burger, J.G. Frankfort et A.F.J. Van Raan. « The application of bibliometric indicators: Important field- and time-dependent factors to be considered », *Scientometrics*, vol. 8, nº 3-4, p. 177-203.

MPO, 2002 – Pêches et Océans Canada. *La stratégie sur les océans du Canada – Nos océans, notre avenir. Cadre stratégique et opérationnel pour la gestion intégrée des environnements estuariens, côtiers et marins au Canada*, Ottawa, ON, MPO.

MPO, 2005 – Pêches et Océans Canada. *Plan d'action du Canada pour les océans,* Ottawa, ON, MPO.

MPO, 2006 – Pêches et Océans Canada. *Secteur des sciences. Rapport annuel 2005-2006. Section 5 – Sur la scène international : Leadership scientifique sur la scène internationale,* Ottawa, ON, MPO.

MPO, 2007 – Pêches et Océans Canada. *Pêches et Océans Canada : Programme de recherche quinquennal (2007-2012)*, Ottawa, ON, MPO.

MPO, 2008a – Pêches et Océans Canada. *Pêches et Océans Canada : Programme de recherche quinquennal (2008-2013)*, Ottawa, ON, MPO.

MPO, 2008b – Pêches et Océans Canada. *Les science à Pêches et Océans Canada : Un cadre scientifique pour l'avenir*, Ottawa, ON, MPO.

MPO, 2009a – Pêches et Océans Canada. *Nos océans, notre avenir : Programmes et activités du gouvernement fédéral,* Ottawa, ON, MPO.

MPO, 2009b – Pêches et Océans Canada. *Le rôle des gouvernements provinciaux et territoriaux dans le secteur des océans,* Ottawa, ON, MPO.

MPO, 2010a – Pêches et Océans Canada. *Cogestion des ressources halieutiques.* Adresse URL : http://www.dfo-mpo.gc.ca/regions/central/pub/fresh-douces/05-fra.htm (dernière consultation : mai 2013).

MPO, 2010b – Pêches et Océans Canada. *Science.* Adresse URL : http://www.dfo-mpo.gc.ca/regions/central/science/index-fra.htm (dernière consultation : mai 2013).

MPO, 2012a – Pêches et Océans Canada. *Centres d'expertise.* Adresse URL : http://www.dfo-mpo.gc.ca/science/coe-cde/index-fra.htm (dernière consultation : octobre 2012).

MPO, 2012b – Pêches et Océans Canada. *Rapport du Canada sur l'état des océans.* Ottawa, ON, MPO.

MPO, 2012c – Pêches et Océans Canada. *Vérification de la capacité opérationnelle de la flotte.* Adresse URL : http://www.dfo-mpo.gc.ca/ae-ve/audits-verifications/11-12/6B230-fra.htm (dernière consultation : octobre 2012).

MPO, 2012d – Pêches et Océans Canada. *État de l'océan Pacifique en 2011*, Nanaimo, BC, MPO.

MPO, 2012e – Pêches et Océans Canada. *SCCS - Publications.* Adresse URL : http://www.isdm-gdsi.gc.ca/csas-sccs/applications/Publications/index-fra.asp (dernière consultation : mars 2013).

MPO, 2013a – Pêches et Océans Canada. *Se préparer au prochain tsunami*. Adresse URL : http://www.dfo-mpo.gc.ca/science/publications/article/2005/24-04-2005-fra.htm (dernière consultation : mars 2013).

MPO, 2013b – Pêches et Océans Canada. *Synthèse nationale des initiatives de recherche écosystémique*. Adresse URL : http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/Schedule-Horraire/2012/11_14-15-fra.html (dernière consultation : juillet 2013).

MPO, 2013c – Pêches et Océans Canada. *Hydrographie – Acquisition des données - Marégraphes*. Adresse URL : http://www.dfo-mpo.gc.ca/science/hydrography-hydrographie/water-levels-eng.html (dernière consultation : mars 2013).

MPO, 2013d – Pêches et Océans Canada. *Nouveaux navires pour la Garde côtière canadienne*. Adresse URL : http://www.dfo-mpo.gc.ca/media/back-fiche/2013/hq-ac25a-fra.htm (dernière consultation : juillet 2013).

MPO, 2013e – Pêches et Océans Canada. *Océanographie - Consultation*. Adresse URL : http://www.dfo-mpo.gc.ca/science/oceanography-oceanographie/advice-avis-fra.html (dernière consultation : mars 2013).

MPO, 2013f – Pêches et Océans Canada. *Rapports ministériels sur le rendement (RMR) 2002-2003 à 2010-2011*. Adresse URL : http://www.dfo-mpo.gc.ca/reports-rapports-fra.htm (dernière consultation : avril 2013).

MPO, 2013g – Pêches et Océans Canada. *Gestion des données scientifiques intégrées (GDSI)*. Adresse URL : http://www.meds-sdmm.dfo-mpo.gc.ca/isdm-gdsi/index-fra.html (dernière consultation : mai 2013).

MPO, 2013h – Pêches et Océans Canada. *Centre de recherche sur le pétrole, le gaz et autres sources d'énergie extracôtières (CRPGEE)*. Adresse URL : http://www.dfo-mpo.gc.ca/science/coe-cde/cooger-crpgee/index-fra.htm (dernière consultation : juillet 2013).

MRN, 2012 – Marine Renewables Canada. *About Us*. Adresse URL : http://www.marinerenewables.ca/about-us/overview/ (dernière consultation : mars 2013).

MUN, 1997 – Memorial University of Newfoundland. *The Eco-Research Program*. Adresse URL : http://www.mun.ca/ecoresearch/ (dernière consultation : juin 2013).

MUN, s.d. – Memorial University of Newfoundland. *Offshore Safety and Survival Centre*. Adresse URL : http://www.mi.mun.ca/ossc/about.htm (dernière consultation : juin 2013).

NAS, 2013 – National Academy of Sciences. *About US – About OSB*. Adresse URL : http://dels.nas.edu/global/osb/About-Us (dernière consultation : juin 2013).

National Research Council, 2009 – National Research Council. *Science at Sea: Meeting Future Oceanographic Goals with a Robust Academic Research Fleet*, Washington, DC, National Research Council of the National Academies; Ocean Studies Board.

National Research Council, 2011 – National Research Council. *Critical Infrastructure for Ocean Research and Societal Needs in 2030*, Washington, DC, National Research Council of the National Academies, Ocean Studies Board.

National Research Council, 2013 – National Research Council. *Review of the Federal Ocean Acidification Research and Monitoring Plan*, Washington, DC, National Research Council of the National Academies.

NGCCAS, 2013a – NGCC Amundsen Science. *NGCC Amundsen : À propos - Direction*. Adresse URL : http://www.amundsen.ulaval.ca/index.php?url=21111 (dernière consultation : mars 2013).

NGCCAS, 2013b – NGCC Amundsen Science. *NGCC Amundsen* : *Média - Foire aux questions*. Adresse URL : http://www.amundsen.ulaval.ca/index.php?url=21910 (dernière consultation : mars 2013).

NGCCAS, 2013c – NGCC Amundsen Science. *NGCC Amundsen* : *Média - Nouvelles*. Adresse URL : http://www.amundsen.ulaval.ca/index.php?url=21912 (dernière consultation : mars 2013).

Nichols, 2005 – Nichols, T. *The Canadian National Report on Systematic Observations for Climate: The Canadian Global Climate Observing System Program*. Adresse URL : http://unfccc.int/resource/docs/gcos/cangcose.pdf (dernière consultation : avril 2013).

NOAA, 2013 – National Oceanic and Atmospheric Administration. *NOAA Marine Operations*. Adresse URL : http://www.moc.noaa.gov/ (dernière consultation : mai 2013).

NSTC, 2007 – National Science and Technology Council. Joint Subcommittee on Ocean Science and Technology. *Charting the Course for Ocean Science in the United States for the Next Decade: An Ocean Research Priorities Plan and Implementation Strategy*, Washington, DC, NSTC Joint Subcommittee on Ocean Science and Technology.

NSTC, 2013 – National Science and Technology Council. Joint Subcommittee on Ocean Science and Technology. *Science for an Ocean Nation: Update of the Ocean Research Priorities Plan*, Washington, DC, Executive Office of the President of the United States, President's Council of Advisors on Science and Technology.

O'Brien *et al.* 1998 – O'Brien, J.P., M.D. Bishop, K.S. Regular, F.A. Bowdring et T.C. Anderson. *Community-Based Coastal Resource Inventories in Newfoundland and Labrador: Procedures Manual*, Pêches et Océans Canada, Région de Terre-Neuve et Labrador.

OceansAdvance, s.d. – OceansAdvance. *Page d'accueil*. Adresse URL : http://www.oceansadvance.net/ (dernière consultation : mars 2013).

OLN, 2011 – Ocean Literacy Network. *Ocean Literacy Principle #1*. Adresse URL : http://oceanliteracy.wp2.coexploration.org/ocean-literacy-framework/essential-principle-1-the-earth-has-one-big-ocean-with-many-features/ dernière consultation : mars 2013).

Ommer et The Coasts Under Stress Research Project Team, 2007 – Ommer, R.E., et The Coasts Under Stress Research Project Team. *Coasts Under Stress: Restructuring and Social-Ecological Health*, Montréal, QC et Kingston, ON, McGill-Queen's University Press.

Ommer *et al.*, 2011 – Ommer, R.E., R.I. Perry, K.L. Cochrane et P. Cury (réd.). *World Fisheries: A Social-Ecological Analysis*, Oxford, Royaume-Uni, Wiley-Blackwell Publishing Ltd.

OMRN, 2012 – Ocean Management Research Network. *About OMRN*. Adresse URL : http://www.omrn-rrgo.ca/index.php?action=about.index (dernière consultation : novembre 2012).

ONC, 2012 – Ocean Networks Canada. *Ocean Networks Canada Cambridge Bay Arctic Undersea Mini-Observatory*. Adresse URL : http://www.oceannetworks.ca/sites/default/files/documents/bg_onc_cambridge_bay_obs_dec12.pdf (dernière consultation : mai 2013).

ONC, 2013 – Ocean Networks Canada. *About Us*. Adresse URL : http://www.oceannetworks.ca/about-us (dernière consultation : mai 2013).

OTN, s.d. – Ocean Tracking Network. *Page d'accueil*. Adresse URL : http://oceantrackingnetwork.org/ (dernière consultation : mars 2013).

Pepin *et al.*, 2005 – Pepin, P., B. Petrie, J. Therriault, S. Narayanan, W. Harrisson, K. Frank, … D. Gregory. *The Atlantic Zone Monitoring Program (AZMP): Review of 1998-2003*, St. John's, NL, Pêches et Océans Canada.

Perry et Ommer, 2003 – Perry, R.I., et R.E. Ommer. « Scale issues in marine ecosystems and human interactions », *Fisheries Oceanography*, vol. 12, nº 4-5, p. 513-522, doi: 10.1046/j.1365-2419.2003.00254.x.

Perry *et al.*, 2010 – Perry, R.I., R. Ommer, E.H. Allison, M.-C. Badjek, M. Barange, L. Hamilton, … U.R. Sumaila. « Interactions Between Changes in Marine ecosystems and Human Communities », dans Barange, M., J. Field, R. Harris, E. Hofmann, R.I. Perry et C. Werner (réd.), *Marine Ecosystems and Global Change*, Oxford, Royaume-Uni, Oxford University Press.

Perry *et al.*, 2011 – Perry, R.I., R.E. Ommer, M. Barange, S. Jentoft, B. Neis et U.R. Sumaila. « Marine social-ecological responses to environmental change and the impacts of globalization », *Fish and Fisheries*, vol. 12, nº 4, p. 427-450.

Picard-Aitken *et al.*, 2009 – Picard-Aitken, M., D. Campbell et G. Côté. *Bibliometric Study in Support of Fisheries and Oceans Canada's International Science Strategy*, Montréal, QC, Science-Metrix.

Portal deutsche Forschungsschiffe, s.d. – Portal deutsche Forschungsschiffe *Einsatzgebiete der Schiffe*. Adresse URL : https://www.portal-forschungsschiffe.de/index.php?index=19 (dernière consultation : mai 2013).

Porter, 2003 – Porter, M. « The economic performance of regions », *Regional Studies,* vol. 37, nº 6-7, p. 545-546, doi: 10.1080/0034340032000108688.

PSTO, 2011a – Partenariat pour les sciences et les technologies des océans. *Leçons retenues des systèmes d'observation des océans (SOO) au Canada. Évaluation préliminaire de la valeur des SOO, pour Pêches et Océans Canada et l'Agence spatiale canadienne.*

PSTO, 2011b – Partenariat pour les sciences et les technologies des océans. *Enquête canadienne sur les systèmes d'observation de l'Atlantique, du Pacifique, de l'Arctique et des Grands Lacs*, Pêches et Océans Canada et Agence spatiale canadienne.

Québec-Océan, 2013 – Québec-Océan, *Institutions*. Adresse URL : http://www.quebec-ocean.ulaval.ca/propos-institutions.php (dernière consultation : juillet 2013).

RCE, 2011 – Réseaux de centres d'excellence. *Réseaux de centres d'excellence : Guide du programme 2012,* Ottawa, ON, Secrétariat des RCE.

RCE, 2012 – Réseaux de centres d'excellence. *Ocean Networks Canada Centre for Enterprise and Engagement - ONCCEE*. Adresse URL : http://www.nce-rce.gc.ca/NetworksCentres-CentresReseaux/CECR-CECR/ONCCEE_fra.asp (dernière consultation : novembre 2012).

RCRP, 2012a – Réseau canadien de recherche sur la pêche. *Accueil*. Adresse URL : http://www.cfrn-rcrp.ca/Public-Home-FR (dernière consultation : mars 2013).

RCRP, 2012b – Réseau canadien de recherche sur la pêche. *Aperçu du Réseau*. Adresse URL : http://www.cfrn-rcrp.ca/Public-Overview-FR (dernière consultation : juin 2013).

RCRP, 2012c – Réseau canadien de recherche sur la pêche. *Projet 1.1 – Enrichissement des connaissances halieutiques pour soutenir un régime de gestion en pleine mutation*. Adresse URL : http://www.cfrn-rcrp.ca/Public-Project1.1-FR (dernière consultation : juillet 2013).

RDDC, 2012 – Recherche et Développement pour la défense Canada. *Installations de RDDC Atlantique*. Adresse URL : http://www.drdc-rddc.gc.ca/drdc/fr/centres/drdc-atlantic-rddc-atlantique/facilities-installations/ (dernière consultation : mars 2013).

REPP, 2005 – Research Evaluation and Policy Project. *Quantitative Indicators for Research Assessment – A Literature Review*, Canberra, Australie, Australian National University.

ResearchImpact. (n.d.). – ResearchImpact. *Local RI Units*. Adresse URL : http://www.researchimpact.ca/localRI/index.html (dernière consultation : juillet 2013).

Ribes et Lee, 2010 – Ribes, D., et C.P. Lee. « Sociotechnical studies of cyberinfrastructure and e-research: Current themes and future trajectories », *Computer Supported Cooperative Work*, vol. 19, no 3-4, p. 231-244, doi: 10.1007/s10606-010-9120-0.

Ricard *et al.*, 2011 – Ricard, D., C. Minto, O.P. Jensen et J.K. Baum. « Examining the knowledge base and status of commercially exploited marine species with the RAM Legacy Stock Assessment Database », *Fish and Fisheries*, vol. 13, nº 4, 380-398, doi: 10.1111/j.1467-2979.2011.00435.x.

Ricketts *et al.*, 2004 – Ricketts, P., B. Jones, L. Hildebrand et B. Nichols. *The Coastal Zone Canada Association: The First Ten Years, 1994-2004*, Halifax, NS, Coastal Zone Canada Association.

Ricketts et Harrison, 2007 – Ricketts, P., et P. Harrison. « Coastal and ocean management in Canada: Moving into the 21st century », *Coastal Management*, vol. 35, p. 5-22.

Ricketts et Hildebrand, 2011 – Ricketts, P.J., et L. Hildebrand. « Coastal and ocean management in Canada: Progress or paralysis? », *Coastal Management*, vol. 39, nº 1, p. 4-19, doi: 10.1080/08920753.2011.544552.

RNC, 2008 – Ressources naturelles Canada. *À notre sujet : CGC Atlantique*. Adresse URL : http://www.rncan.gc.ca/sciences-terre/a-propos/organisme/structure-organisationnelle/commission-geologique-canada/6732 (dernière consultation : mars 2013).

RNC, 2010 – Ressources naturelles Canada. *CGC Pacifique (Sidney)*. Adresse URL : http://www.rncan.gc.ca/sciences-terre/a-propos/organisme/structure-organisationnelle/commission-geologique-canada/8589 (dernière consultation : mars 2013).

RNC, 2011a – Ressources naturelles Canada. *Canada's Ten Largest Earthquakes*, Ottawa, ON, RNC.

RNC, 2011b – Ressources naturelles Canada. *Vue d'ensemble du réseau national sysmologique canadien*. Adresse URL : http://www.seismescanada.rncan.gc.ca/stnsdata/cnsn/index-fra.php (dernière consultation : mars 2013).

Rockstrom *et al.*, 2009 – Rockstrom, J., W. Steffen, K. Noone, A. Persson, F.S.I. Chapin, E. Lambin, … J. Foley. « Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity », *Ecology and Society*, vol. 14, nº 2,p. 32.

Roemmich *et al.*, 2009 – Roemmich, D., G.C.Johnson, S. Riser, R. Davis, J. Gilson, W.B. Owens, … M. Ignaszewski. « The Argo Program: Observing the global ocean with profiling floats », *Oceanography*, vol. 22, édition spéciale, nº 2, p. 34-43.

Ross *et al.,* 2013 – Ross, P., M. Noel, D. Lambourn, N. Dangerfield, J. Calambokidis et S. Jeffries. « Declining concentrations of persistent PCBs, PBDEs, PCDEs, and PCNs in harbour seals from the Salish Sea », *Progress in Oceanography*, doi: 10.1016/j.pocean.2013.05.027.

Safer, 2012 – Safer, A. « Newfoundland's ocean technology cluster », *Marine Technology Reporter* (mars 2012).

SafetyNet, 2013 – SafetyNet. *SafetyNet Centre for Occupational Health and Safety Research*. Adresse URL : http://www.safetynet.mun.ca/ (dernière consultation : mars 2013).

Scott, 2012 – Scott, S. « Mining the oceans », *Mining Magazine (*décembre 2012), p. 28-36.

Send *et al.,* 2012 – Send, U., G. Fowler, G. Siddall, B. Beanlands, M. Pittman, C. Waldmann, … R. Lampitt. « SeaCycler: A moored open-ocean profiling system for the upper ocean in extended self-contained deployments », *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol. 30, nº 7, p. 1555–1565, doi: 10.1175/jtech-d-11-00168.1.

SERF, s.d. – Sea-ice Environmental Research Facility. *SERF Home*. Adresse URL : http://home.cc.umanitoba.ca/~wangf/serf/ (dernière consultation : mai 2013).

Serreze et Barry, 2011 – Serreze, M.C., et R.G. Barry. « Processes and impacts of Arctic amplification: A research synthesis », *Global and Planetary Change*, vol. 77, nº 1-2, p. 85-96.

SMOO et SMOC, 2005 – Secrétariat du Système mondial d'observation des océans de la Commission océanographique intergouvernementale de l'UNESCO, en collaboration avec le Système mondial d'observation du climat. *Progress With the Initial Ocean Climate Observing System: Submission From the Global Climate Observing System Secretariat*, Bonn, Allemagne, Organe subsidiaire de conseil scientifique et technologique, Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques.

Snelgrove, 2010 – Snelgrove, P.V.R. *Discoveries of the Census of Marine Life: Making Ocean Life Count*, Cambridge, Royaume-Uni, Cambridge University Press.

SNRS, 2010 – Secrétariat national de recherche et de sauvetage, *2010 – Fonds de nouvelles initiatives SAR*. Adresse URL : http://www.nss-snrs.gc.ca/fr/index.page (dernière consultation : mars 2013).

Sommerkorn et Hassol, 2009 – Sommerkorn, M., et S.J. Hassol. *Arctic Climate Feedbacks: Global Implications*, Oslo, Norvège, World Wildlife Fund International Arctic Programme.

Statistique Canada, 2008 – Statistique Canada. *Profil du personnel hautement qualifié du Canada*. Adresse URL : http://www.statcan.gc.ca/pub/88-003-x/2007002/10331-fra.htm (dernière consultation : mai 2013).

Statistique Canada, 2009 – Statistique Canada. *Recettes et dépenses des universités et collèges*. Adresse URL : http://www.statcan.gc.ca/tables-tableaux/sum-som/l02/cst01/govt31a-fra.htm (dernière consultation : juin 2013).

Statistique Canada, 2013 – Statistique Canada. *Le Quotidien – Dépenses au chapitre de la recherche et du développement dans le secteur de l'enseignement supérieur, 2011-2012*. Adresse URL : http://www.statcan.gc.ca/daily-quotidien/130708/dq130708b-fra.htm (dernière consultation : juin 2013).

Sumaila, 2012 – Sumaila, U.R. « Seas, oceans and fisheries: A challenge for good governance », *The Round Table: The Commonwealth Journal of International Affairs*, vol. 101, nº 2, p. 157-166, doi: 10.1080/00358533.2012.661532.

Sutherland et Levings, 2013 – Sutherland, T., et C.D. Levings. « Quantifying non-indigenous species in accumulated ballast slurry residuals (swish) arriving at Vancouver, British Columbia », *Progress in Oceanography*, doi: 10.1016/j.pocean.2013.05.015.

Taylor, 2009 – Taylor, S.M. « Transformative ocean science through the VENUS and NEPTUNE Canada ocean observing systems », *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, vol. 602, nº 1, 63-67, doi: 10.1016/j.nima.2008.12.019.

TPSGC, 2013 – Travaux publics et Services gouvernementaux Canada. *Stratégie nationale d'approvisionnement en matière de construction navale (SNACN)*. Adresse URL : http://www.tpsgc-pwgsc.gc.ca/app-acq/sam-mps/snacn-nsps-fra.html (dernière consultation : mars 2013).

UNOLS, 2004 – University-National Oceanographic Laboratory System. *UNOLS Research Vessels*. Adresse URL : http://www.unols.org/info/vessels.htm (dernière consultation : mai 2013).

Valdès *et al.*, 2010 – Valdès, L., L. Fonseca et K. Tedesco. « Looking into the future of ocean sciences: An IOC perspective », *Oceanography*, vol. 23, nº 3, p. 160-175.

Vancouver Aquarium, 2013 – Vancouver Aquarium. *Wild Whales: B.C. Cetacean Sightings Network*. Adresse URL : http://wildwhales.org/ (dernière consultation : juin 2013).

VanderZwaag *et al.,* 2012 – VanderZwaag, D.L., J.A. Hutchings, S. Jennings et R.M. Peterman. « Canada's international and national commitments to sustain marine biodiversity », *Environmental Reviews*, vol. 20, nº 4, 312-352.

Veldhoen *et al.,* 2012 – Veldhoen, N., M.G. Ikonomou et C.C. Helbing. « Molecular profiling of marine fauna: Integration of omics with environmental assessment of the world's oceans », *Ecotoxicology and environmental safety*, vol. 76, nº 1, p. 23-38, doi: 10.1016/j.ecoenv.2011.10.005.

VIU, 2013 – Vancouver Island University. *Aquatic Food Initiative (AFI).* Adresse URL : http://www.viu.ca/icr/research-2/aquatic-foods-initiative/ (dernière consultation : juillet 2013).

Weller *et al.*, 2005 – Weller, G., E. Bush, T.V. Callaghan, R.W.Corell, S. Fox, C. Furgal, … F.J. Wrona. « Summary and Synthesis of the ACIA », dans Symon,C., L. Arris et B. Heal (réd.), *Arctic Climate Impact Assessment*, New York, NY, Cambridge University Press.

Westermeyer, 2010 – Westermeyer, W. « Observing the climate for development », *Climate and Development*, vol. 2, nº 3, p. 276-290.

Westnes *et al.,* 2009 – Westnes, P., S. Hatakenaka, M. Gjelsvik et R.K. Lester. « The role of universities in strengthening local capabilities for innovation – A comparative case study », *Higher Education Policy*, vol. 22, nº 4, p. 483-503.

Wilson *et al.,* 2013 – Wilson, J., A. Hayden et M. Kersula. « The governance of diverse, multi-scale fisheries in which there is a lot to learn », *Fisheries Research*, vol. 141, p. 24-30, doi: 10.1016/j.fishres.2012.06.008.

Évaluations du Conseil des academies canadiennes

Les rapports d'évaluation ci-dessous peuvent être téléchargés depuis le site Web du CAC (www.sciencepourlepublic.ca) :

- Les sciences de la mer au Canada : Relever le défi, saisir l'opportunité (2013)
- Effets sur la santé de l'utilisation des armes à impulsions (2013)
- L'état de la R-D industrielle au Canada (2013)
- Incidences de l'innovation : mesure et évaluation (2013)
- L'eau et l'agriculture au Canada : vers une gestion durable des ressources en eau (2013)
- Renforcer la capacité de recherche du Canada : La dimension de genre (2012)
- L'état de la science et de la technologie au Canada, 2012 (2012)
- Éclairer les choix en matière de recherche : Indicateurs et décisions (2012)
- Nouvelles technologies et évaluation de la sécurité chimique (2012)
- Des animaux en santé, un Canada en santé (2011)
- La taxonomie canadienne : explorer la biodiversité, créer des possibilités (2010)
- Honnêteté, responsabilité et confiance : Promouvoir l'intégrité en recherche au Canada (2010)
- Meilleure recherche = Meilleur management (2009)
- La gestion durable des eaux souterraines au Canada (2009)
- Innovation et stratégies d'entreprise : pourquoi le Canada n'est pas à la hauteur (2009)
- Vision pour l'initiative canadienne de recherche dans l'Arctique – Évaluation des possibilités (2009)
- La production d'énergie à partir des hydrates de gaz – potentiel et défis pour le Canada (2008)
- Petit et différent : perspective scientifique sur les défis réglementaires du monde nanométrique (2008)
- La transmission du virus de la grippe et la contribution de l'équipement de protection respiratoire individuelle – Évaluation des données disponibles (2007)
- L'État de la science et de la technologie au Canada (2006)

Les évaluations suivantes font présentement l'objet de délibérations de comités d'experts :

- Écologiser le Canada : le potentiel que recèlent les applications nouvelles et novatrices des technologies de l'information et des communications (TIC)
- Harnacher la science et la technologie pour comprendre les incidences environnementales liées à l'extraction du gaz de schiste
- L'accès en temps opportun aux données sur la santé et sur les conditions sociales pour la recherche sur la santé et l'innovation du système de santé
- La compétitivité de l'industrie canadienne au regard de l'utilisation de l'énergie
- L'avenir des modèles canadiens de maintien de l'ordre
- Les besoins futurs en compétences en STGM
- Les éoliennes, le bruit et la santé humaine
- Les institutions de la mémoire collective et la révolution numérique
- Les produits thérapeutiques pour les enfants
- LES RISQUES : Le message passe-t-il?
- L'état des connaissances sur la sécurité alimentaire dans le Nord du Canada
- L'état de la culture scientifique au Canada

Conseil des gouverneurs du Conseil des académies canadiennes*

Margaret Bloodworth, C.M., présidente, ancienne sous-ministre au fédéral et conseillère nationale pour la sécurité (Ottawa, Ont.)

John Cairns, MACSS, président, Académie canadienne des sciences de la santé; professeur de médecine, Université de la Colombie-Britannique (Vancouver, C.-B.)

Marie D'Iorio, MSRC, directrice générale, Institut national de nanotechnologie, Conseil national de recherches (Edmonton, Alb.)

Henry Friesen, C.C., MSRC, MACSS, vice-président, professeur émérite distingué et membre principal du Centre pour le progrès de la médecine, Faculté de médecine, Université du Manitoba (Winnipeg, Man.)

Claude Jean, premier vice-président et directeur général, Teledyne DALSA, Semiconducteur (Bromont, Qc)

Jeremy McNeil, MSRC, professeur invité Helen Battle, Département de biologie, Université Western (London, Ont.)

Peter MacKinnon, O.C., ancien président et vice-recteur, Université de la Saskatchewan (Saskatoon, Sask.)

Axel Meisen, C.M., MACG, ancien président, Prévision, Alberta Innovates – Technology Futures (AITF) (Edmonton, Alb.)

Lydia Miljan, professeure agrégée en sciences politiques et directrice du programme des arts et des sciences, Université de Windsor (Windsor, Ont.)

Ted Morton, Chercheur principal, École de politiques publiques, professeur de sciences politiques, Université de Calgary (Calgary, Alb.)

P. Kim Sturgess, MACG, présidente-directrice générale et fondatrice, Alberta WaterSMART (Calgary, Alb.)

*Renseignements à jour en septembre 2013

Comité consultatif scientifique du Conseil des académies canadiennes*

Tom Brzustowski, O.C., MSRC, MACG, président, président du conseil d'administration, Institut d'informatique quantique, Université de Waterloo (Waterloo, Ont.)

Lorne Babiuk, O.C., MSRC, MACSS, vice-président à la recherche, Université de l'Alberta (Edmonton, Alb.)

Murray S. Campbell, premier responsable, Programme de recherche en analytique des affaires, Centre de recherche T.J. Watson d'IBM (Yorktown Heights, NY)

Marcel Côté, associé fondateur, SECOR inc. (Montréal, Qc)

Clarissa Desjardins, ancienne présidente-directrice générale, Centre d'excellence en médecine personnalisée (Montréal, Qc)

Jean Gray, C.M., MACSS, professeure émérite de médecine, Université Dalhousie (Halifax, N.-É.)

John Hepburn, MSRC, vice-président à la recherche et aux affaires internationales, Université de la Colombie-Britannique (Vancouver, C.-B.)

Gregory S. Kealey, MSRC, professeur, Département d'histoire, Université du Nouveau-Brunswick (Fredericton, N.-B.)

Daniel Krewski, professeur d'épidémiologie et de médecine communautaire, directeur scientifique du Centre R. Samuel McLaughlin d'évaluation du risque sur la santé des populations, Université d'Ottawa (Ottawa, Ont.)

Avrim Lazar, ancien président et chef de la direction, Association des produits forestiers du Canada (Ottawa, Ont.)

Susan A. McDaniel, MSRC, vice-présidente, directrice de l'Institut Prentice; titulaire de la Chaire de recherche du canada de premier niveau sur la population mondiale et le cours de la vie; titulaire de la chaire de recherche Prentice en démographie et économie mondiales; professeure de sociologie, Université de Lethbridge (Lethbridge, Alb.)

Norbert Morgenstern, C.M. MSRC, MACG, professeur émérite d'université en génie civil, Université de l'Alberta (Edmonton, Alb.)

Sarah P. Otto, MSRC, professeure et directrice du Centre de recherche sur la biodiversité, Université de la Colombie-Britannique (Vancouver, C.-B.)

*Renseignements à jour en septembre 2013

Council of Canadian Academies
Conseil des académies canadiennes

Conseil des académies canadiennes
180, rue Elgin, bureau 1401
Ottawa (Ontario) K2P 2K3
Tél. : 613-567-5000
www.sciencepourlepublic.ca