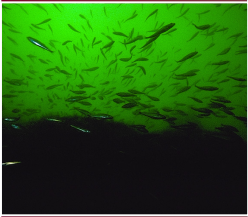
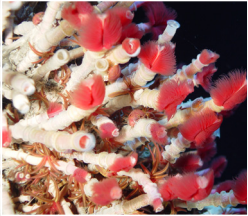




Council of Canadian Academies
Conseil des académies canadiennes



LES 40 QUESTIONS PRIORITAIRES POUR LA 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*

David Fissel (président du groupe cadre); Marcel Babin; Ralf Bachmayer;
Kenneth Denman, MSRC; Eric Dewailly; Kathryn M. Gillis; Louis Fortier,
O.C., O.Q.; Roy Hyndman, MSRC; Daniel Lane; Marlon Lewis; Robie
Macdonald, MSRC; Kate Moran; Barbara Neis; Mark Nuttall, MSRC; Émilien
Pelletier; Lori Ridgeway; Stéphane Roussel; Paul Snelgrove; William J.
Sutherland; Curtis Suttle, MSRC; Douglas Wallace; Melanie G. Wiber

LE CONSEIL DES ACADÉMIES CANADIENNES

180, rue Elgin, bureau 1401, Ottawa (Ontario) Canada K2P 2K3

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, qui alimentent 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 » prise au sens large, qui englobe 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 venant du Canada et de l'étranger. Ces évaluations visent à faire connaître les problèmes nouveaux, les lacunes relatives aux connaissances, les points forts du Canada, de même que les tendances et les pratiques internationales dans les domaines étudiés. Ces études fournissent aux décideurs gouvernementaux, aux universitaires et aux parties prenantes l'information de grande qualité dont ils ont besoin pour élaborer des politiques publiques éclairées et innovatrices.

Toutes les évaluations du CAC sont soumises à un examen formel par des pairs. Elles sont publiées en français et en anglais, et accessibles au public sans frais. Des fondations, des organismes non gouvernementaux, le secteur privé ou tout palier de gouvernement peuvent soumettre au CAC des questions susceptibles de faire l'objet d'évaluations.

Le CAC bénéficie du soutien de ses trois académies membres fondatrices : **la Société royale du Canada (SRC)**, **l'Académie canadienne du génie (ACG)** et **l'Académie canadienne des sciences de la santé (ACSS)**.

www.sciencepourlepublic.ca

Avis : Le projet qui fait l'objet du présent rapport a été entrepris avec l'approbation du conseil des gouverneurs du Conseil des académies canadiennes. Les membres du conseil des gouverneurs sont issus de la Société royale du Canada (SRC), de l'Académie canadienne du génie (ACG), de l'Académie canadienne des sciences de la santé (ACSS) et du grand public. Les membres du groupe cadre responsable de ce rapport ont été choisis par le CAC en raison de leurs compétences spécifiques et en vue d'établir un équilibre des points de vue.

Ce rapport a été préparé pour le compte du Consortium universitaire canadien en sciences de la mer. Les opinions, constatations et conclusions présentées dans cette publication sont celles de leurs auteurs, à savoir les membres du groupe cadre, et ne représentent pas nécessairement celles de leur employeur ou organisme d'affiliation.

Ce rapport doit être cité ainsi :

CAC (Conseil des académies canadiennes). (2012). Les 40 questions prioritaires pour la recherche canadienne en sciences de la mer. Ottawa (Ontario) : CAC, Le groupe cadre sur les sciences de la mer canadiennes.

Images de la couverture : Verena Tunnicliffe, Philippe Archambault, Mike Strong & Maria Ines Buzeta, Anna Metaxas, ROPOS.

Avis de non-responsabilité : Au meilleur de notre connaissance, 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 d'accès ou exiger des frais et l'emplacement des éléments d'information peut changer lorsque les menus et les pages Web font l'objet de modifications.

© 2012 Conseil des académies canadiennes
Publié à Ottawa, Canada



Council of Canadian Academies
Conseil des académies canadiennes

RÉSUMÉ

Les océans ont une importance capitale pour la culture, la santé environnementale et publique, l'économie et la société canadiennes. L'étude scientifique des océans sert de base à la compréhension et à la gestion durable des ressources océaniques, particulièrement dans le contexte d'une accélération des changements planétaires. La portée des sciences de la mer au Canada dépasse de beaucoup les frontières canadiennes en raison des liens inextricables qui existent entre les régions océaniques; entre l'océan, le fond océanique et l'atmosphère; et entre l'océan et diverses sociétés. Du fait de ces liens, les incidences des changements planétaires ne peuvent être comprises que par la réalisation de recherches selon une perspective planétaire.

Le bilan des sciences de la mer canadiennes est excellent et les contributions du Canada aux projets et évaluations scientifiques internationaux lui ont valu une réputation enviable. Néanmoins, la nature des sciences de la mer engendre un certain nombre de défis qui nécessitent de soigneusement planifier, coordonner et établir les activités de recherche et les investissements prioritaires dans les infrastructures associées. De plus, la population relativement peu importante du Canada en comparaison avec l'immensité de son littoral, de sa zone économique exclusive et de son plateau continental rend difficile la mobilisation de ressources suffisantes pour entreprendre des projets de recherche de grande envergure et de longue durée.

Ce rapport présente 40 questions de recherche prioritaires qui, si elles trouvaient réponse, permettraient le mieux d'aborder les possibilités et les défis liés aux sciences de la mer qui se présenteront au Canada. Les questions ont été définies dans le cadre d'un processus ouvert et démocratique par un groupe cadre d'experts des milieux scientifique et politique et du secteur privé, d'après une liste de questions candidates recueillies auprès de l'ensemble de la communauté canadienne des sciences de la mer. Le processus a été adapté à partir d'expériences d'établissement de priorités menées dans divers domaines.

Les 40 questions sont groupées par thèmes de recherche : améliorer la compréhension scientifique fondamentale; la surveillance, les données et la gestion de l'information; comprendre les incidences des activités humaines; et éclairer les processus de gestion et de gouvernance. Les questions reflètent le vif intérêt que suscite l'amélioration de la compréhension fondamentale des incidences sur l'océan des changements planétaires, y compris le changement climatique, l'acidification et l'augmentation de la charge en éléments nutritifs. Les importantes lacunes dans la connaissance des domaines tels que l'Arctique, les eaux profondes et la biodiversité marine deviennent particulièrement importantes dans le contexte des changements planétaires et sont relevées dans plusieurs questions. Les questions concernant la compréhension des processus planétaires et celles traitant des incidences qui touchent directement les collectivités côtières et l'économie canadienne reflètent la nature multidisciplinaire de la recherche océanique ainsi que la nécessité d'améliorer la collaboration internationale. Ces questions pourraient servir à éclairer la prise de décisions à plusieurs niveaux, y compris en ce qui a trait à la planification de la recherche universitaire et à l'établissement de priorités stratégiques mieux coordonnées et plus efficaces par les organismes de financement de la recherche et les décideurs politiques.

Les 40 questions prioritaires pour la 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*

INTRODUCTION

Ce rapport présente 40 questions de recherche prioritaires qui, si elles trouvaient réponse, permettraient le mieux d'aborder les possibilités et les défis canadiens reliés aux sciences de la mer qui se présenteront. Les questions présentées dans ce rapport ne constituent pas en elles-mêmes un plan de recherche. Elles définissent plutôt des priorités de recherche qui pourraient constituer les bases d'un plan de recherche en sciences de la mer au Canada. La « science » est comprise ici dans son sens large, qui englobe les sciences physiques, biologiques, chimiques, géologiques, sociales et humaines, les sciences de la santé, le génie, de même que les recherches pluridisciplinaires portant sur les rapports entre les humains et l'océan. Cette section résume certains des défis et des possibilités associés aux sciences de la mer canadiennes et fournit un bref aperçu de la méthodologie utilisée. La prochaine section présente les 40 questions et quelques informations qui permettent de les situer dans leur contexte. La dernière section met en relief les principaux enjeux soulevés par les questions proposées et aborde leurs implications.

Les océans¹ ont une importance capitale pour la culture, la santé environnementale et publique et l'économie canadiennes. Ils font partie intégrante de la culture de plusieurs peuples autochtones et collectivités côtières. Ils fournissent aux Canadiens nourriture, ressources minérales, voies de transport, loisirs et emplois. Les industries maritimes emploient approximativement 315 000 Canadiens et leur contribution annuelle au produit intérieur brut (PIB) dépasse les

26 milliards de dollars (MPO, 2009). Cette donnée n'inclut pas l'apport de 100 milliards de dollars de l'industrie du commerce, qui dépend, en partie, de l'industrie canadienne du transport maritime. La santé des océans contribue également à plusieurs cycles planétaires essentiels à la vie sur Terre. Et alors même que notre dépendance aux ressources océaniques augmente, les océans changent à un rythme croissant en réponse aux nombreux moteurs des changements planétaires, tels que le changement climatique, l'acidification, la surpêche, la pollution et l'extraction de ressources, ainsi qu'aux incidences cumulatives et indirectes d'une combinaison de ces moteurs.

Le littoral canadien est le plus long au monde. Il borde les océans Pacifique, Arctique et Atlantique, qui posent chacun des défis distincts pour la recherche. L'océan Pacifique contient certaines des plus anciennes eaux profondes du monde, lesquelles regorgent de substances nutritives, mais qui sont peu oxygénées (Schmitz Jr., 1995). En raison de son alimentation importante en eau douce, la salinité de l'océan Pacifique est plus faible que celle de l'océan Atlantique, ce qui engendre un déplacement à grande échelle des eaux du Pacifique vers l'océan Atlantique par la voie de l'océan Arctique (Wijffels *et al.*, 1992). Les glaces et les conditions associées de température et de lumière dominent l'environnement physique unique de l'océan Arctique (Johannessen *et al.*, 2004). Cet océan joue un rôle central dans l'environnement humain de l'Arctique, qui est caractérisé par une population clairsemée présentant des vulnérabilités, des besoins, des désirs et des cadres juridiques d'autodétermination particuliers (Brosnan *et al.*, 2011). Les eaux froides de l'Arctique se déversent dans l'Atlantique Nord, où les eaux de surface méridionales refroidissent et tombent vers le fond, favorisant le mélange vertical des eaux de l'Atlantique (renversement méridional) et contribuant à la circulation

¹Comme il est indiqué à la page 2, ce rapport reflète la perspective de "l'unique océan" en reconnaissance de l'interconnexion des océans du monde. La version anglaise de ce rapport utilise le singulier du mot *océan*, ce qui n'est pas le cas dans cette version française. *Les océans* et *l'unique océan* sont donc utilisés de façon interchangeable.

générale des eaux du globe (Schmitz Jr., 1995). Malgré l'existence de processus d'échange d'eau à grande échelle, les zones océaniques peuvent différer entre elles par leur régime de circulation, leur environnement physique et leur géographie, ce qui conduit à des différences quant à la biogéographie (Vermeij, 1978), aux cycles biochimiques (Schmitz Jr., 1995) et aux concentrations de contaminants (Wu et Boyle, 1997; Jaffe *et al.*, 1999).

L'interconnexion des océans du monde a poussé certains chercheurs à adopter la perspective de « l'unique océan » (O'Dor *et al.*, 2009) : les espèces marines migrent d'un pays à l'autre; les courants océaniques transportent de l'énergie, des substances nutritives et des contaminants sur de très grandes distances; et l'océan est lié au climat planétaire par un réseau complexe d'interactions et de mécanismes de rétroaction atmosphère-océan. Par conséquent, la recherche en sciences de la mer doit dépasser les frontières nationales si l'on souhaite concevoir un modèle cohérent et global des processus océaniques.

Les océans constituent un élément majeur des systèmes terrestres, et sont touchés par les changements planétaires. Les changements planétaires désignent les changements qui se produisent à l'échelle du globe dans les systèmes terrestres, y compris les changements dans la circulation atmosphérique, la circulation océanique, le climat, l'eau, les cycles du carbone et de l'azote, la couverture de glace de mer, le niveau de la mer, les réseaux trophiques, la diversité biologique, la pollution, la santé, les ressources halieutiques. Les changements englobent notamment ceux qui touchent les aspects de la civilisation humaine, notamment la démographie, l'économie, l'utilisation des ressources, l'énergie, le développement, le transport, les communications, l'utilisation des terres et de la couverture des terres, l'urbanisation et la mondialisation². La compréhension des changements planétaires doit prendre en considération les multiples moteurs et conséquences des changements, ainsi que les

liens entre ces éléments. Par exemple, l'*acidification des océans* et le réchauffement des océans associés aux *changements climatiques* sont des conséquences distinctes, mais interdépendantes de l'augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère (NRC, 2011). Ces deux phénomènes diffèrent cependant à d'importants égards : d'autres gaz atmosphériques contribuent aux changements climatiques, mais non à l'acidification (Valdès *et al.*, 2010), et les effets directs sur les écosystèmes océaniques diffèrent, même si les deux facteurs peuvent agir simultanément. Du fait du rôle qu'occupent les océans dans les systèmes terrestres, les sciences de la mer contribuent de manière essentielle à la compréhension des nombreuses incidences des changements planétaires sur la Terre. Les changements dans la couverture de glace de mer, par exemple, influencent les systèmes météorologiques planétaires³ (Deser *et al.*, 2004; Serreze et Barry, 2011), y compris les événements extrêmes dans les Prairies canadiennes (NRCAN, 2008).

Bien que l'état de notre connaissance des océans enregistre des progrès constants, certains domaines et processus demeurent largement incompris. En particulier, il manque de données adéquates sur certaines étendues d'eau profonde, d'eau froide et de glace de mer, alors que le rôle de la vie microbienne et de la biodiversité en général demeure insuffisamment étudié. De nouvelles questions se posent également quant aux interactions entre divers éléments et processus qui ont souvent été étudiés de façon cloisonné jusqu'à ce jour. Les interactions entre les processus biologiques, physiques et chimiques ou celles qui se tissent entre l'océan, le fond océanique et l'atmosphère sont des exemples d'interactions connues, mais qui nécessitent des recherches plus approfondies. La recherche océanique suppose par conséquent la combinaison de connaissances et de méthodes de recherche de plusieurs disciplines. La recherche sur les océans et les zones côtières nécessite également des investissements d'envergure dans les infrastructures de recherche comme les

² Définition des changements planétaires donnée par l'International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP). Voir : <http://www.igbp.net/4.d8b4c3c12bf3be638a80001040.html>

³ Voir aussi : <http://nsidc.org/icelights/2012/02/02/the-arctic-oscillation-winter-storms-and-sea-ice/> pour une explication des incidences de l'Oscillation Arctique sur la météorologie de l'hémisphère Nord.

navires, les satellites, les plateformes et les appareils de réseautage requis pour l'observation et la prise de mesures. La recherche sous-marine, ou dans des milieux hostiles comme en eaux froides ou profondes, pose des défis supplémentaires. Ce type de recherche demande une planification stratégique et de la collaboration, non seulement entre diverses disciplines, mais aussi entre chercheurs de multiples organismes, régions et pays. Coordonner ces activités à l'échelle nationale peut poser certaines difficultés, surtout au Canada, compte tenu de sa superficie et du fait qu'il est bordé par les océans Atlantique, Pacifique et Arctique (MPO, 2005).

L'intérêt du Canada dans la compréhension de l'océan mondial en a fait un chef de file des sciences de la mer. La contribution du Canada à plusieurs domaines des sciences de la mer est remarquable (Coward *et al.*, 2000; Charles, 2001; pour d'autres exemples du leadership et de la contribution des chercheurs canadiens, voir : de Wit et Muir, 2010; AMAP, 2011; Greenan et Klymak, 2011; Picard-Aitken *et al.*, 2011). Le Canada possède également une longue tradition d'excellence en ce qui a trait aux installations et réseaux de recherche (MPO, 2005; Ricketts et Harrison, 2007; Taylor, 2008). Par exemple, l'Institut océanographique de Bedford¹ est l'installation la plus importante du réseau canadien de stations de recherche², lequel inclut notamment des instituts du ministère des Pêches et des Océans (MPO), tels que l'Institut des sciences de la mer et la Station biologique du Pacifique, et des stations dont le fonctionnement est assuré par des réseaux universitaires canadiens, tels que les centres des sciences de la mer Bamfield⁶ et Huntsman⁷. Les réseaux canadiens VENUS et NEPTUNE à l'Université de Victoria⁸, ainsi que le consortium ArcticNet et le brise-glace de recherche arctique, le NGCC Amundsen⁹, sont des exemples de réseaux d'infrastructures de recherche d'envergure

mondiale basés au Canada (Taylor, 2008). Le milieu canadien des sciences de la mer contribue aussi depuis longtemps à des projets internationaux de recherche, dont le Programme international géosphère biosphère (PIGB)¹⁰; des initiatives du Conseil international pour la science (ICSU)¹¹; le Conseil International pour l'Exploration de la Mer (CIEM)¹²; le Programme mondial de recherche sur le climat (PMRC)¹³; le Recensement de la vie marine (Snelgrove, 2010); le système d'observation mondial de l'océan Argo¹⁴; et le programme international de forage océanique (IODP)¹⁵.

Outre les efforts actifs et productifs de la communauté canadienne des spécialistes universitaires des sciences de la mer, le gouvernement canadien participe également à des projets de recherche en collaboration et à des initiatives internationales de gouvernance des océans. Le MPO joue un rôle de premier plan dans la gestion des réseaux de collaboration, à l'échelle nationale comme sur la scène internationale (Picard-Aitken *et al.*, 2011). Le gouvernement du Canada a participé et a investi dans des collaborations internationales sur l'océan Arctique, y compris le programme de l'Année polaire internationale (2007-2008) (AANDC, 2011) et la Stratégie pour le Nord du

¹ <http://www.bio.gc.ca/>

² Par exemple : <http://www.dfo-mpo.gc.ca/science/regions/index-fra.htm>

⁶ <http://www.bms.bc.ca/>

⁷ <http://www.huntsmanmarine.ca/>

⁸ <http://www.oceannetworks.ca/>

⁹ <http://www.amundsen.ulaval.ca/>

¹⁰ Notamment des contributions aux projets de base suivants du programme : Integrated Marine Biogeochemistry and Ecosystem Research (IMBER); Past Global Changes (PAGES); Global Ocean Ecosystem Dynamics programme (GLOBEC); et Surface Ocean Lower Atmosphere Study (SOLAS). Pour de plus amples informations, consulter les rapports de projet et les plans scientifiques à l'adresse : <http://www.igbp.net/4.59fd12ff12c94e1eeb380001800.html>

¹¹ L'ICSU a récemment élu un éminent chercheur canadien à titre de président. Voir : <http://www.icsu.org/news-centre/news/press-releases/press-releases-2011/canadian-climate-scientist-elected-as-next-president-of-the-international-council-for-science>

¹² Le Canada a été représenté à des postes de haute responsabilité au sein du CIEM et le président actuel est Mike Sinclair, ancien directeur de l'Institut océanographique de Bedford. Voir :

<http://www.ices.dk/aboutus/History/presidents.asp>

¹³ En particulier une contribution aux projets suivants : Variabilité et prévisibilité du climat (CLIVAR); Expérience mondiale sur les cycles de l'énergie et de l'eau (GEWEX); Processus stratosphériques et leur rôle dans le climat (SPARC). Pour plus de détails, voir : <http://www.wcrp-climate.org/>

¹⁴ <http://www.argo.ucsd.edu/>

¹⁵ <http://www.iodp.org/>

Canada (Gouvernement du Canada, 2009). Le Canada présidera également le Conseil de l'Arctique en 2013, en continuité avec sa politique étrangère ferme à l'égard de l'Arctique (Gouvernement du Canada, 2011).

Malgré ces investissements, plusieurs rapports et évaluations récemment publiés ont souligné la nécessité d'améliorer la coordination et la planification nationales et internationales de la recherche en sciences de la mer au Canada (AADNC, 2011; MPO, 2007, 2008, 2009; Gouvernement du Canada, 2011; Hutchings *et al.*, 2012; OSTP, 2007). Des efforts ont aussi été consentis par le gouvernement fédéral pour assurer une plus grande intégration des politiques et des décisions relatives à la gestion des océans. Le Plan d'action du Canada pour les océans (MPO, 2005), qui articule un cadre de développement durable et de gestion des océans, en est un exemple. Néanmoins, pour que l'élaboration des politiques et la prise de décisions demeurent efficaces, elles doivent être soutenues par des informations scientifiques à jour et pertinentes. Par exemple, le comité d'experts de la Société royale du Canada sur la biodiversité marine (Hutchings *et al.*, 2012) a récemment recommandé que le Canada lance « des projets de recherche stratégique pour étayer les conseils scientifiques sur la préservation de la biodiversité marine. »

SOMMAIRE DES MÉTHODES ET CONTEXTE

À la lumière des défis et des possibilités qui se présentent à la communauté canadienne des sciences de la mer, ce rapport présente 40 questions de recherche qui visent à combler des lacunes importantes, y compris celles qui sont ultimement liées à des questions essentielles de politique et de gestion. Le groupe cadre réuni pour définir ces questions était composé de spécialistes de l'océan issus des milieux scientifique et politique ainsi que du secteur privé. Les questions proposées ont été recueillies auprès de l'ensemble de la communauté canadienne des sciences de la mer par le biais d'un sondage en ligne. Les membres du groupe cadre ont ensuite procédé par vote au classement et au tri préliminaires des questions proposées en fonction de leurs qualités à titre de questions de

recherche. Le groupe cadre s'est ensuite réuni pour un atelier d'une journée et demie au début de 2012 pour discuter des questions restantes et s'entendre sur la liste définitive de 40 questions dans le cadre d'un processus ouvert, inclusif et démocratique. Ces questions n'ont pas été hiérarchisées; elles ont plutôt été présentées comme l'ensemble des priorités globales qui se sont dégagées des discussions menées lors de l'atelier. La méthodologie utilisée pour encadrer ce processus a été adaptée à partir d'expériences nationales et internationales semblables menées dans divers domaines en vue d'établir des priorités (Sutherland *et al.*, 2011b). Une description plus détaillée de cette méthodologie est présentée à l'annexe A.

Cette initiative a pour but de promouvoir la collaboration entre les sources scientifiques et les utilisateurs de l'océanographie, et ses conclusions sont pertinentes pour les trois principaux publics visés : (i) les décideurs et les analystes politiques qui appliquent les résultats de la recherche dans un cadre politique; (ii) ceux qui financent la recherche, tels que les organismes subventionnaires et les fondations privées; et (iii) les scientifiques de la mer qui cherchent à éclairer les politiques par leurs recherches. Ce rapport devrait par conséquent aider à rendre plus cohérents et transparents les plans élaborés pour (i) financer la recherche et investir dans les infrastructures de recherche; (ii) traduire les résultats de recherche en informations utiles; et (iii) améliorer l'efficacité, l'efficience et la pertinence politique de la recherche en sciences de la mer au Canada.

Le Conseil des académies canadiennes (le CAC) a établi ces questions prioritaires en réponse à la demande du Consortium universitaire canadien en sciences de la mer (CCORU)¹⁶. En août 2011, le CCORU a demandé au CAC d'aider à définir un plan de recherche scientifique marine et à déterminer ce qui est requis pour soutenir les

¹⁶ Les universités suivantes sont membres du Consortium universitaire canadien en sciences de la mer (CCORU) : 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.

sciences de la mer au Canada. Le travail résumé dans ce rapport constituait une première étape dans l'établissement des thèmes prioritaires de recherche qui pourraient guider l'élaboration d'un tel plan. Les résultats pourraient également servir à éclairer une évaluation basée sur des données probantes de la capacité du Canada à traiter ces questions.

LES 40 QUESTIONS PRIORITAIRES POUR LA RECHERCHE CANADIENNE EN SCIENCES DE LA MER

Le groupe cadre a divisé les questions choisies en fonction des objectifs généraux visés par les activités de recherche plutôt qu'en fonction de problèmes globaux, tels que le changement climatique. Les questions sont groupées sous quatre thèmes auxquels correspondent les types et approches de recherche qui permettront le mieux de répondre aux questions posées. Cette structure permet d'éviter les distinctions entre des disciplines de recherche communes, puisque plusieurs questions doivent être abordées selon une conception pluridisciplinaire. Par conséquent, les thèmes ne doivent pas être interprétés comme des priorités de recherche proprement dites. *Les questions ne sont pas classées par ordre d'importance.* La catégorisation d'une question selon un thème ou son ordre de présentation au sein des questions d'un même thème ne servent pas à indiquer son importance relative.

Le premier thème, **Améliorer la compréhension scientifique fondamentale**, regroupe des questions qui traitent des connaissances fondamentales requises pour comprendre les interactions complexes qui existent entre les systèmes océaniques, le fond océanique, les zones côtières et l'atmosphère, ainsi que les incidences sur terre de ces interactions. Bien que plusieurs de ces questions concernent les réactions des océans aux changements planétaires, la conception de recherche prévue permettrait d'acquérir des connaissances fondamentales sur ces réactions, plutôt que de traiter directement de la mise au point d'interventions pour atténuer les incidences des changements planétaires. Les recherches qui améliorent notre compréhension des océans

concernent néanmoins souvent très directement les décideurs, même si leurs applications ne deviennent apparentes que lorsque des recherches subséquentes sont réalisées. Une meilleure compréhension de la façon dont les océans réagissent à divers moteurs de changements planétaires peut éclairer les décisions politiques qui touchent ces moteurs, telles que les décisions sur l'atténuation des changements climatiques.

Le second thème, **La surveillance, les données et la gestion de l'information**, regroupe des questions qui concernent la collecte de données et l'observation des océans qui sont utiles à la recherche fondamentale et appliquée. Ce thème reconnaît les défis particuliers liés à la réalisation de recherches sur des systèmes interdépendants très complexes à partir d'un grand nombre de données diverses qui doivent être recueillies dans des endroits qui sont difficiles d'accès et qui imposent des conditions de travail exigeantes.

La plupart des questions du troisième thème, **Comprendre les incidences des activités humaines**, concernent les effets des activités humaines sur les océans et les zones côtières, y compris les réactions et effets à long terme observés chez les systèmes socioécologiques (la combinaison des écosystèmes marins et des sociétés humaines). Alors que la majorité des questions s'appliquent principalement aux effets de l'activité humaine sur les océans, d'autres tiennent compte du fait que les changements dans les océans et les zones côtières ont aussi des conséquences pour les collectivités et les sociétés. Dans la plupart des cas, les recherches qui portent sur ces questions nécessitent une conception de recherche appliquée. Le but de ce type de recherche va au-delà de la compréhension des réactions systémiques aux changements à grande échelle pour inclure les conséquences des activités comme la pêche et l'exploitation pétrolière, dans le dessein de mettre au point des moyens permettant de surveiller et d'atténuer les incidences néfastes.

Le dernier thème, **Éclairer les processus de gestion et de gouvernance**, regroupe des questions qui vont au-delà de la compréhension des incidences et des approches d'atténuation

pour inclure les cadres de gouvernance et les approches de gestion nécessaires. La gouvernance dont il est question ici inclut l'élaboration de politiques et la gestion, de même que d'autres formes de prise de décision qui concernent un plus grand éventail de parties prenantes. Par définition, les sciences sociales jouent un rôle de premier plan dans les approches de recherche qui peuvent s'appliquer à ces questions. En outre, les questions adoptent toutes la notion selon laquelle la gestion des activités marines doit être viable.

Un texte explicatif est fourni pour chacun des thèmes afin de situer les questions associées dans leur contexte et d'expliquer certains termes et les raisons qui ont conduit à utiliser ces termes pour formuler les questions. Le texte présentant chaque thème tient compte des commentaires énoncés par les membres du groupe cadre pendant et après l'atelier. Les questions font également référence à plusieurs sujets qui s'appliquent à plusieurs thèmes, reflétant un contexte élargi au sein duquel ces questions ont été formulées et les raisons pour lesquelles elles se sont dégagées comme priorités de recherche.

QUESTIONS TRANSVERSALES

Plusieurs questions concernent les changements planétaires de manière à inclure l'ensemble des facteurs qui influent sur les systèmes océaniques, alors que d'autres concernent certains aspects particuliers des changements planétaires, tels que le changement climatique, l'acidification des océans ou l'augmentation de la charge en éléments nutritifs. Le changement climatique occupe actuellement une place prépondérante dans la recherche océanique parce que l'océan constitue un élément important du système climatique mondial, et le changement climatique aura une incidence importante sur ses écosystèmes. Néanmoins, le changement climatique ne représente qu'un parmi plusieurs moteurs de changement planétaire qui influent sur l'océan.

La compréhension des incidences des changements planétaires est particulièrement importante dans les domaines qui sont insuffisamment étudiés, tels que l'océan Arctique,

la mer du Labrador et les zones d'eaux profondes. La biodiversité marine de l'ensemble des océans est encore peu comprise (Snelgrove, 2010), mais elle fournit aux humains la nourriture, les emplois, les loisirs et autres avantages dont ils dépendent (de Groot *et al.*, 2002; MPO, 2005; Hutchings *et al.*, 2012). La biodiversité marine et la santé des écosystèmes subissent également les pressions de plusieurs moteurs de changement planétaire, ce qui entraîne des variations dans l'abondance et la distribution des espèces ainsi que dans l'interaction entre elles, ou encore d'autres effets qui n'ont toujours pas été décrits en raison de l'insuffisance de connaissances (Halpern *et al.*, 2008; Hellmann *et al.*, 2008; Snelgrove, 2010).

Les changements dans l'environnement océanique et les écosystèmes marins ont des conséquences pour la société humaine et vice versa. Bien que les chercheurs puissent définir les écosystèmes de manière à inclure les humains en tant qu'individus, cette définition ne traduit pas l'importance de l'organisation sociale pour les rapports entre les humains et l'océan. Plusieurs des questions, par conséquent, font référence aux « systèmes socioécologiques », lesquels sont pris dans le sens large de l'expression, c'est-à-dire pour refléter les effets qu'ont les sociétés humaines et les écosystèmes marins entre eux ainsi que l'incidence que les changements sociaux peuvent avoir sur l'activité humaine dans l'océan.

Les questions portent généralement sur ces problématiques et sur d'autres qui sont pertinentes pour le système océanique mondial, plutôt que sur des régions géographiques particulières (à l'exception des quatre premières questions, qui traitent de l'Arctique). Dans la plupart des cas, le groupe cadre a opté pour des questions de portée plus large qui englobent les priorités de recherche associées à de nombreuses régions océaniques. Cela ne signifie pas que les différences importantes entre certaines parties de l'océan doivent être ignorées. Au contraire, les utilisateurs de ces questions doivent être encouragés à définir des questions de recherche plus précises à partir des questions présentées dans ce rapport. Par exemple, les questions sur les courants océaniques et les flux biogéochimiques pourraient être modifiées de

façon à tirer parti des recherches réalisées sur les diverses conditions qui existent dans les océans Atlantique et Pacifique au regard de l'apport en eau douce ou à la circulation thermohaline (voir, par exemple, Wijffels *et al.*, 1992; Schmitz Jr, 1995). De même, les questions traitant de la pollution pourraient être adaptées pour refléter les connaissances actuelles sur la configuration des vents et leur incidence sur le transport à grande distance des contaminants dans différentes régions (voir, par exemple, Wu et Boyle, 1997; Jaffe *et al.*, 1999). Certaines des questions pourraient également être utiles pour orienter l'élaboration de projets de recherche pour des régions géographiques données, telles que les mers intérieures du Canada que sont le golfe du Saint-Laurent, la baie d'Hudson, le détroit semi-fermé de Georgie et la mer du Labrador.

AMÉLIORER LA COMPRÉHENSION SCIENTIFIQUE FONDAMENTALE

Le groupe cadre a relevé de nombreuses lacunes importantes par rapport aux connaissances océaniques, en particulier dans le contexte de l'importance accrue que prend l'océan pour la nourriture, le transport, l'énergie, les ressources et les loisirs. Le besoin se fait de plus en plus pressant de comprendre les interactions à grande échelle qui existent entre les régions océaniques et entre l'océan, le fond océanique, les régions côtières et l'atmosphère, de même que les incidences sur terre de ces interactions. Le groupe cadre considère que ces besoins sont d'autant plus criants compte tenu de l'accélération des changements planétaires, lesquels diminuent la fiabilité et la prévisibilité des avantages qui peuvent être tirés d'un système océanique sain. Les questions groupées sous ce thème reflètent une conception de l'océan en tant que système dynamique complexe dont les interactions entre ses divers éléments comme la biodiversité et les écosystèmes, les cycles biogéochimiques, les eaux de surface et profondes et les interactions entre les océans Arctique, Atlantique, Pacifique et autres doivent être mieux comprises.

Les quatre premières questions concernent divers aspects des changements climatiques dans

l'Arctique. L'océan Arctique est particulièrement intéressant pour les sciences de la mer au Canada pour plusieurs raisons. La compréhension scientifique de l'Arctique reste limitée, et combler le manque de connaissances sur cette région devient de plus en plus important compte tenu des changements environnements et sociaux exceptionnellement rapides qui y surviennent (Weller *et al.*, 2005; GIEC, 2007). L'Arctique n'est pas seulement un composant clé des systèmes climatiques régionaux et mondiaux; il est également plus vulnérable aux changements, lesquels s'y manifestent plus rapidement et plus profondément que dans d'autres régions du monde. Les changements dans la couverture de glace saisonnière influent profondément sur les écosystèmes, les cycles biogéochimiques et les interactions entre l'océan et l'atmosphère dans l'Arctique (Johannessen *et al.*, 2004; Lenton *et al.*, 2008). L'absence saisonnière de glace dans l'Arctique est considérée comme un point de non-retour qui amplifierait le processus de réchauffement (Lenton *et al.*, 2008; Serreze et Barry, 2011) et qui se répercuterait dans le climat de l'hémisphère Nord, entraînant de lourdes conséquences écologiques et socioéconomiques au Canada et ailleurs dans le monde. La diminution de l'englacement faciliterait par ailleurs l'accès aux ressources minérales, ouvrirait des voies navigables à travers le passage du Nord-Ouest et augmenterait l'activité d'autres pays dans la région. La probabilité que de tels changements surviennent s'accroît rapidement, ce qui accentue l'importance stratégique de l'océan Arctique pour la sécurité nationale canadienne (Gouvernement du Canada, 2011).

1. *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?*

2. *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?*
3. *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?*
4. *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?*

Les six questions suivantes concernent principalement les rétroactions entre l'océan, le fond océanique et l'atmosphère, ainsi que les effets du changement climatique au-delà de l'océan Arctique. La connaissance du mouvement des gaz à effet de serre entre l'atmosphère, l'océan et le fond océanique est essentielle à la compréhension des rétroactions entre l'océan et le climat. Ces rétroactions à long terme ont été capturées dans les archives paléo-océanographiques, lesquelles témoignent des processus et conditions océaniques passés et, aujourd'hui, fournissent des données qui peuvent nous aider à améliorer les prévisions modélisées. La connaissance du passé améliore notre compréhension des processus fondamentaux, mais il est important de reconnaître que les activités et facteurs humains relativement récents ajoutent un degré de complexité aux projections sur les conditions futures des océans. D'autres questions portent sur les mécanismes qui pourraient être utilisés pour éliminer les gaz à effet de serre de l'atmosphère. Bien que

l'utilisation de ces mécanismes pour atténuer les changements climatiques suscite un intérêt croissant, plusieurs éléments du cycle de rétroaction ainsi que les risques potentiels associés demeurent inconnus. Les mouvements du fond océanique constituent un aspect clé des cycles des éléments nutritifs mondiaux, y compris ceux du carbone et de l'azote, mais demeurent très peu compris. Le cycle de l'azote, en particulier, s'est transformé, surtout dans les zones côtières, sous l'effet de diverses activités humaines, telles que l'utilisation d'engrais sur les terres agricoles et la combustion d'hydrocarbures fossiles (Gruber et Galloway, 2008). Il peut, par conséquent, constituer un concept organisationnel utile pour comprendre et étudier les flux biogéochimiques.

5. *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?*
6. *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?*
7. *Comment les océans fonctionnaient-ils dans les climats passés et comment les archives paléo-océanographiques peuvent-ils être utilisés pour prédire l'état futur du système océan-atmosphère?*
8. *Comment le changement climatique influence-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?*

9. *Quels mécanismes naturels de l'océan et du fond océanique (par exemple, la séquestration du CO₂) 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?*
10. *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?*

Les autres questions de ce thème portent sur la biodiversité et les écosystèmes marins, qui demeurent généralement insuffisamment étudiés en raison de la difficulté que pose leur observation aux échelles voulues et dans les environnements éloignés et hostiles des océans. Le manque de données sur la biodiversité et les processus écosystémiques marins fait qu'il est difficile d'établir des paramètres de base pour la gestion ou la surveillance des changements. Cette difficulté est particulièrement pertinente dans le contexte des multiples facteurs de stress et de changement en interaction que subissent actuellement les écosystèmes. Par exemple, le changement climatique et l'acidification des océans, qui résultent de l'augmentation de la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, ont des effets distincts sur les organismes et les écosystèmes marins. Plus généralement, la compréhension des facteurs et des processus qui contribuent à l'établissement de la configuration et de la dynamique de la biodiversité représente encore un défi de taille. On prévoit que les changements environnementaux auront des incidences sur la distribution de beaucoup d'espèces, entraînant la disparition d'espèces dans certaines régions et l'arrivée de nouvelles espèces dans d'autres (Kerr et Packer, 1998; Hellmann *et al.*, 2008). Il est particulièrement difficile de prévoir les effets

qu'auront ces changements sur la composition des espèces parce que les changements dans l'interaction entre les espèces peuvent avoir des effets en cascade sur l'ensemble des écosystèmes, des réseaux trophiques microbiens aux poissons et mammifères importants pour la pêche commerciale. Les changements dans la biodiversité, à l'échelle des espèces, ainsi qu'en ce qui a trait à la diversité génétique au sein des espèces, a également des incidences sur le fonctionnement des écosystèmes, y compris sur le cycle biogéochimique du carbone, de l'azote, du soufre et du phosphore ainsi que sur d'autres paramètres environnementaux (Rockström *et al.*, 2009; Snelgrove, 2010).

11. *Comment les changements dans les interactions entre les espèces influent-ils sur la structure des réseaux trophiques au sein des écosystèmes et entre eux?*
12. *Quelles incidences les changements dans la biodiversité auront-ils sur le fonctionnement des écosystèmes océaniques?*
13. *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 échantillonnées?*
14. *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?*
15. *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?*

16. *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?*
17. *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?*

LA SURVEILLANCE, LES DONNÉES ET LA GESTION DE L'INFORMATION

Les progrès continus dans la technologie, la capacité et la gestion des données d'observation seront essentiels à la recherche océanique (Hall *et al.*, 2010). Les gains dans la qualité et la quantité des données peuvent aider à améliorer la surveillance et la caractérisation de base, qui peuvent contribuer à l'élaboration d'approches de gestion des océans et à l'atténuation des incidences néfastes. L'observation de beaucoup de régions océaniques, telles que le fond océanique, les eaux profondes ou les zones emprisonnées sous les glaces de mer, demeure difficile ou coûteuse. L'observation de ces régions peut être facilitée par l'utilisation de capteurs *in situ*, qui sont nécessaires pour compléter les mesures de surface prises depuis les plateformes de télédétection par satellite. Une autre contrainte de taille imposée à la recherche par les technologies actuelles est la disponibilité des navires et des plateformes. Le manque de données qui en découle limite considérablement notre compréhension de ces régions éloignées. La compréhension des processus océaniques requiert des ensembles de données dont la résolution spatiale et l'échelle temporelle ne peuvent être offertes que par des programmes de surveillance à long terme, ainsi que la capacité d'intégrer les données issues de diverses sources afin d'en faire des produits de données normalisés et comparables. Ces ensembles de données peuvent contribuer à améliorer les prévisions et les prédictions de phénomènes tels que les conditions météorologiques extrêmes, les

dangers maritimes et le climat (Hall *et al.*, 2010; Moore *et al.*, 2008; Stammer *et al.*, 2007). La gestion durable des ressources, la sécurité maritime, les prévisions et autres services océaniques sont également tributaires d'un accès rapide et ouvert à ces données (Hall *et al.*, 2010). Sur la base de ces objectifs, des normes et des stratégies ont été établies par la communauté internationale, mais celles-ci dépendent ultimement de la qualité des capteurs et de la gestion des données (Hall *et al.*, 2010).

18. *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?*
19. *Quelle est la bathymétrie et quelles sont les caractéristiques détaillées du fond océanique des marges des trois océans limitrophes du Canada? Quelles nouvelles technologies sont requises pour cartographier et caractériser le fond océanique et ses habitats?*
20. *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?*
21. *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?*

22. *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?*
23. *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?*
24. *Comment peut-on établir, exploiter et entretenir un réseau canadien d'observations océanographiques capable de relever les changements environnementaux et leurs incidences?*

COMPRENDRE LES INCIDENCES DES ACTIVITÉS HUMAINES

L'activité humaine dans les océans s'intensifie et change, et l'importance des ressources et des milieux océaniques pour la société s'accroît. Parmi ceux-ci, on peut noter l'expansion rapide de l'extraction de ressources et de la pêche extracôtières, les mutations dans la distribution spatiale des populations côtières et l'augmentation des diverses formes de loisir. Les déversements de pétrole revêtent une préoccupation particulière dans le contexte de l'extraction des ressources dans les eaux nordiques canadiennes, puisque les hydrocarbures se comportent autrement dans les conditions qui prévalent dans les eaux froides et sous la glace de mer qu'en eau plus chaude, ce qui accroît la difficulté d'en prédire ou atténuer les conséquences (Robertson, 1998; Fingas, 2003). L'expansion de l'activité humaine sur le fond océanique soulève des préoccupations en raison du manque de données sur le fond océanique ainsi que sur les écosystèmes benthiques, tels que les coraux des grands fonds, et leur fonctionnement en eau profonde. L'activité humaine génère aussi du bruit sous l'eau qui affecte de plus en plus les mammifères marins de par le monde, qu'il s'agisse du bruit

produit par les navires et les canons à air utilisés pour l'exploration pétrolière ou de celui plus persistant généré par l'activité industrielle. Les variations, souvent à la hausse, des niveaux de bruits acoustiques dans les eaux sous couverture de glace de mer sont particulièrement préoccupantes puisque l'ouverture de voies de navigation commerciale entraîne une augmentation de l'utilisation des brise-glaces. Les questions traitent également de la pollution océanique. Elles abordent par exemple la nécessité d'étudier les sources, le sort et les incidences des contaminants synthétiques existants et émergents, entre autres les nanomatériaux et les nouveaux produits pharmaceutiques.

Souvent, diverses activités humaines sont exercées simultanément et en combinaison avec d'autres moteurs de changements planétaires, avec des effets cumulatifs inconnus. De plus, les changements conséquents dans l'océan ont aussi des conséquences pour les humains qui interagissent avec le milieu marin. Les incidences possibles sur les sociétés humaines incluent les implications économiques liées à l'accès aux ressources, les effets culturels des changements environnementaux, les conséquences physiques des courants, des marées ou des conditions météorologiques sur les infrastructures ainsi que les incidences sanitaires propres à l'émergence de maladies ou aux changements dans les espèces récoltées pour l'alimentation. La dernière question, celle-ci concernant les approches socioécologiques relatives aux changements, souligne l'importance des interdépendances entre l'activité humaine, l'environnement océanique et les écosystèmes marins. Bien que le terme « écosystème » puisse être interprété de manière à inclure les humains en tant qu'individus, cette définition ne traduit pas le rôle important que joue l'organisation sociale dans le comportement humain et les activités de grande envergure. Une approche socioécologique favorise l'élaboration de mesures visant à réduire la vulnérabilité de la société aux changements abrupts et à la variabilité accrue, particulièrement dans le contexte des changements planétaires.

25. *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?*
26. *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?*
27. *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?*
28. *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?*
29. *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?*
30. *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)?*
31. *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.*

32. *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?*

ÉCLAIRER LES PROCESSUS DE GESTION ET DE GOUVERNANCE

« Le développement durable de l'océan » suppose la gestion des activités humaines en mettant en œuvre des stratégies qui permettent d'éviter de causer du tort aux milieux et écosystèmes marins et d'assurer le bien-être à long terme des humains (Christie *et al.*, 2005; Ricketts et Harrison, 2007). Une telle gestion requiert l'atteinte d'un équilibre entre des priorités sociales contradictoires, comme entre l'aquaculture et la pêche traditionnelle de stocks sauvages, l'extraction de ressources énergétiques et autres et la protection des espèces et régions vulnérables. On entend par la gestion des activités océaniques la conception d'interventions écologiques, physiques ou sociales destinées à maintenir ou rétablir l'état souhaité des systèmes océaniques. La notion plus vaste de la gouvernance inclut les structures et les interactions sociales qui englobent les processus de décision et de gestion employés par les décideurs politiques et autres groupes intéressés. Un changement dans le système de gouvernance et dans la répartition du pouvoir décisionnel a une incidence sur la désignation de ceux qui peuvent participer aux processus décisionnels et ceux qui doivent assumer les coûts et qui tirent avantage de la gestion des océans. Une bonne gouvernance doit inclure et obtenir la participation de toutes les parties prenantes pertinentes, assurer l'échange des données et des connaissances entre elles et reconnaître que les sociétés et les systèmes écologiques s'influencent mutuellement.

Les quatre premières questions de cette section concernent la gouvernance des océans selon une perspective large, qui englobe les types d'information et les capacités institutionnelles nécessaires pour assurer une gouvernance durable, ainsi que le rôle des collectivités et de

leurs systèmes de connaissance dans la prise de décisions. Les quatre questions suivantes traitent des défis propres à la gouvernance. Pour déterminer quelles régions cibler et quelles interventions mener pour assurer la protection du milieu marin, par exemple, il faut utiliser un large éventail d'approches, telles que le principe de précaution, les outils écosystémiques et la planification spatiale, y compris la désignation de zones marines protégées, lorsque nécessaire. Les décisions de gestion sont difficiles compte tenu des multiples sources d'incertitude : les changements environnementaux planétaires, les changements sociaux et leurs incidences cumulatives, par exemple. En général, les questions regroupées sous ce thème mettent en lumière les besoins de recherche qui existent à l'intersection des sciences naturelles et des sciences sociales, là où sont requises des approches de recherche pluridisciplinaires qui reflètent adéquatement les interactions et les interdépendances entre les systèmes sociaux et les systèmes écologiques.

33. *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?*
34. *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?*
35. *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?*
36. *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?*
37. *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?*
38. *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?*
39. *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?*
40. *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?*

DISCUSSION

Les 40 questions prioritaires pour la recherche canadienne en sciences de la mer suggérées par le groupe cadre sont destinées à orienter la recherche canadienne en sciences de la mer pour les prochaines décennies. Ces questions pourraient servir à éclairer la prise de décisions à l'échelle nationale à plusieurs niveaux. Dans le cas des universités, des instituts de recherche et des réseaux scientifiques, elles pourraient alimenter la discussion sur des sujets précis qui se reflèteront dans la planification à court terme et à long terme de la recherche. Pour les décideurs politiques ainsi que les personnes ou les organismes qui financent la recherche scientifique, les questions abordent un certain nombre de thèmes qui pourraient servir à éclairer la définition de priorités stratégiques pour le

financement de la recherche et l'investissement dans les capacités, l'infrastructure et les réseaux de recherche. Bien que les questions couvrent un large éventail de disciplines, de sujets et d'échelles, elles mettent néanmoins en relief des domaines qui revêtent une importance particulière pour les sciences de la mer au Canada et qui pourraient servir de fondement à l'établissement de priorités stratégiques plus vastes.

Comme on pouvait s'y attendre, plusieurs questions ont trait aux changements planétaires et à leur incidence sur les processus océaniques et les écosystèmes marins. La majorité de ces questions sont formulées avec l'intention de susciter l'amélioration des connaissances fondamentales, plutôt que comme des questions de l'ordre de l'application dont l'objectif est la mise au point d'interventions d'adaptation ou d'atténuation. Cette orientation souligne le besoin urgent de mieux comprendre comment le système océanique mondial répond aux changements planétaires pour être en mesure d'éclairer la conception et la mise en œuvre d'interventions efficaces. Une distinction claire est également établie entre le changement climatique et les autres types de changements planétaires, comme l'acidification ou l'augmentation de la charge en azote, qui ont des incidences distinctes, mais potentiellement cumulatives sur les systèmes océaniques.

En second lieu, les questions portant sur la recherche fondamentale sur les changements planétaires, ainsi que les questions concernant les domaines d'application qui touchent directement les Canadiens, sont toutes formulées selon une perspective d'ouverture à la collaboration transfrontalière et internationale. Les déversements pétroliers en eaux froides, l'effondrement des pêches et l'érosion côtière due à la hausse du niveau de la mer auront des incidences directes sur l'économie canadienne et sur le bien-être des collectivités côtières canadiennes. L'interrelation entre les diverses problématiques océaniques dans le monde et le fait que plusieurs pays subiront des conséquences semblables justifient pleinement l'appel à la collaboration régionale et internationale en recherche. Par ailleurs, les questions soulignent

également que la recherche canadienne en sciences de la mer dépasse largement les frontières du Canada de par sa pertinence et qu'elle peut contribuer de manière considérable aux efforts internationaux de recherche.

Un troisième aspect ressort des questions portant sur les incidences des activités humaines et sur l'amélioration de la gouvernance et de la gestion des océans et des régions côtières. Ces questions mettent en lumière les responsabilités d'ordre planétaire qui incombent à la gouvernance océanique canadienne, ainsi que les problématiques particulières au contexte canadien, comme la santé des collectivités côtières et la gouvernance durable de l'aquaculture. Globalement, elles reflètent une certaine préoccupation vis-à-vis de la gestion durable des activités océaniques. Plus encore, sur le plan de la recherche, plusieurs questions soulignent la nécessité de mobiliser l'expertise de multiples disciplines pour résoudre des problèmes intrinsèquement interdisciplinaires. L'étude des systèmes couplés socioécologiques et la gestion intégrée des écosystèmes sont des exemples notables d'approches interdisciplinaires qui émergent en tant que piliers de la recherche en matière de gestion durable qui auront aussi une influence sur les sciences de la mer.

Un dernier sujet, qui n'est pas traité dans la liste de questions, mais qui a fait l'objet de discussions à la fin de l'atelier du groupe cadre, est la relation entre le besoin de connaissances scientifiques et son incidence sur le comportement humain. Certains membres du groupe ont noté que pour changer les comportements, il faut investir dans la recherche et l'éducation afin d'habiliter les citoyens à prendre des décisions éclairées qui tiennent compte de la nécessité de protéger et d'utiliser de façon durable les ressources de l'océan. D'autres ont soutenu que la priorité devrait être de trouver des façons d'établir des mesures incitatives qui encouragent les gens à modifier leur comportement sans égard à leur compréhension de la problématique complexe des océans. Même si ces approches ne sont pas nécessairement incompatibles, elles font néanmoins écho à un débat plus large qui anime la communauté scientifique sur la question de savoir si la création de sociétés possédant des

connaissances scientifiques, ou, dans le cas qui nous occupe, des « connaissances océaniques », tend à favoriser une gestion plus durable des ressources naturelles. Le groupe cadre a finalement convenu que le manque de données et de connaissances sur les changements et sur leur incidence sur les océans ne constitue pas le seul facteur limitant l'efficacité des efforts destinés à prévenir ou à atténuer les incidences défavorables. Nous ne savons que trop peu comment amener des changements dans les sociétés humaines qui ont pour effet de réduire les incidences défavorables sur l'océan. Néanmoins, la méconnaissance de l'un ou de l'autre de ces domaines ne doit pas servir à justifier l'inaction.

Pour traiter les 40 questions présentées dans ce rapport, il faudra investir dans des technologies, des infrastructures et des ressources humaines spécifiques. La technologie est un outil utilisé tous les jours pour répondre à des questions de recherche et aux besoins en connaissance des utilisateurs de la science. Néanmoins, nous ne disposons pas de tous les moyens technologiques qui nous permet de mener les observations requises et de recueillir les données hautement prioritaires nécessaires, et les coûts liés à la recherche dans des conditions extrêmes pourraient être prohibitifs, particulièrement dans le Nord et en eau profonde. La recherche et le développement d'instruments océaniques et d'autres technologies constituent une première étape nécessaire au traitement des questions de recherche fondamentales et autres des sciences de la mer. Même lorsque les capteurs requis existent, ils doivent être déployés et reliés à des réseaux et des plateformes d'observation afin de recueillir des données en quantité et en qualité suffisantes pour les besoins de la recherche, surtout en ce qui concerne la surveillance à long terme. La tâche qui attend le Canada à cet égard sera particulièrement ardue, compte tenu de l'étendue des océans qui le bordent, de l'éloignement et des difficultés associés à l'océan Arctique, et de la population faible du pays par rapport à l'étendue de son littoral et de ses régions côtières. Plusieurs des questions prioritaires présentées ci-dessus définissent les plateformes requises. Inversement, les ressources et les capacités limitées pourraient réduire la

portée des questions qui peuvent être traitées par les sciences de la mer canadiennes, indépendamment de leur importance pour les sources et les utilisateurs de la science. Les responsables des institutions de recherche, des organismes subventionnaires et les décideurs politiques pourraient devoir s'imposer des compromis difficiles entre l'observation intensive à l'échelle régionale et l'observation à faible résolution de régions plus vastes, ou accepter de ne recueillir des données que sur une partie des variables souhaitées.

CONCLUSION

Ce rapport présente 40 questions de recherche prioritaires établies par un groupe cadre d'experts d'après une liste de questions candidates recueillies par le biais d'un sondage mené auprès de l'ensemble de la communauté canadienne des sciences de la mer. Si elles trouvaient réponse, ces questions sont celles qui permettraient le mieux d'aborder les possibilités et les défis qui se présentent aux sciences de la mer canadiennes. Les questions chevauchent plusieurs disciplines et leur portée s'étend des incidences locales des activités humaines à la recherche océanique à l'échelle planétaire. Elles reflètent un intérêt marqué pour la recherche fondamentale visant à combler les lacunes relatives à la connaissance de la biodiversité et des changements planétaires, ainsi qu'à améliorer notre compréhension des régions sous-étudiées, comme l'Arctique et les profondeurs océaniques. Les questions mettent en relief la nature socioécologique et planétaire de l'océan, de même que la nécessité pour les sciences de la mer canadiennes de participer à des initiatives de collaboration internationale. Elles reflètent également une volonté marquée de trouver un équilibre entre les activités humaines et de conserver les ressources vivantes et non vivantes de l'océan, surtout dans le contexte des changements planétaires.

Les questions établissent des sujets prioritaires qui pourraient former la base d'un plan de recherche pour les sciences de la mer au Canada. Les technologies, l'infrastructure et les capacités en ressources et en expertise humaines requises pour établir un tel plan de recherche n'ont pas encore été définies. Pour faire suite à cet établissement de priorités, il serait important d'évaluer l'appui disponible au Canada pour établir un tel plan de recherche pour les sciences de la mer, y compris en ce qui concerne les outils, les ressources et la participation du grand public nécessaires. Déterminer et comprendre les lacunes qui existent entre les capacités actuelles et les priorités de recherche définies par ces questions aideront les décideurs au Canada à soutenir les sciences de la mer de façon à créer de nouvelles occasions de recherche pertinente et d'envergure mondiale.

ANNEXE A : MÉTHODOLOGIE UTILISÉE POUR DÉFINIR EN COLLABORATION DES PRIORITÉS DE RECHERCHE

Le processus utilisé pour faire ce travail s'appuie sur une méthodologie bien établie qui consiste en un ensemble de méthodes et d'approches collaboratives, conçues pour définir les priorités de recherche et relever les questions émergentes en science et en politique (selon Sutherland *et al.*, 2011b). Sa caractéristique distinctive est qu'il engage les sources d'information et les utilisateurs de la recherche scientifique d'un domaine particulier dans un cycle itératif d'enquête et d'établissement de priorités dans le cadre d'un processus ouvert, inclusif et démocratique. L'objectif est de convenir d'un ensemble de questions de recherche scientifique dont les réponses satisferont aux besoins en information d'un public cible, tel que les décideurs politiques, d'autres scientifiques, les agences de financement de la recherche, l'industrie ou le grand public. Ces méthodes ont récemment été appliquées pour déterminer les priorités de recherche des domaines suivants : l'agriculture mondiale (Pretty *et al.*, 2010); les questions de conservation à l'échelle mondiale (Sutherland *et al.*, 2010; Sutherland *et al.*, 2011a); les priorités nationales en matière d'écologie et de préservation de la biodiversité au Royaume-Uni (Sutherland *et al.*, 2008); et la recherche en matière de conservation au Canada (Rudd *et al.*, 2011) et aux États-Unis (Fleishman *et al.*, 2011). La méthodologie est constituée de plusieurs étapes itératives qui permettent d'arriver au nombre convenu de questions. Le CAC a adapté cette méthodologie en harmonisant les approches utilisées à chaque étape aux objectifs et aux publics visés. Le résultat est un processus en trois étapes :

1. Réalisation d'un sondage en ligne pour recueillir des questions candidates auprès de la vaste communauté de sources d'information et d'utilisateurs de l'océanographie au Canada;
2. Tenue d'un vote par le groupe cadre pour évaluer les questions appropriées parmi la liste recueillie et traitée;
3. Sélection finale des questions par les membres du groupe cadre lors d'un atelier d'une journée et demie.

Le CAC a réuni un groupe cadre de 22 experts canadiens en sciences de la mer pour mener ce travail, dont des représentants de disciplines scientifiques pertinentes — telles que l'océanographie physique, chimique et géologique, la biologie marine, les sciences sociales, les sciences humaines et le génie océanique — ainsi que des responsables des politiques et des spécialistes du secteur privé. Les membres du groupe cadre ont été choisis en fonction de leur expertise et en vue d'obtenir un équilibre relatif à la provenance géographique et au sexe des membres. La diversité de la composition du groupe cadre a favorisé les discussions et l'apprentissage interdisciplinaires, permettant ainsi l'intégration de plusieurs perspectives à la formulation définitive des questions. Pour assurer la transparence et l'appropriation du processus, le groupe cadre, ou un sous-ensemble de ce groupe, a participé à chaque étape du processus, depuis la mise au point du sondage initial pour recueillir les questions candidates jusqu'à l'examen final de ce rapport.

Pour obtenir l'ensemble initial de questions, un sondage a été préparé avec l'aide du groupe cadre et diffusé parmi l'ensemble de la communauté canadienne des sciences de la mer. La société Environics Research Group a été mandatée pour mettre au point l'outil de sondage, solliciter la participation des membres de la communauté scientifique et recueillir les réponses. Une invitation à participer a été envoyée à une liste de 42 « portiers », qui avaient pour tâche de la transmettre aux membres de leurs réseaux professionnels. Les portiers ont été choisis parmi un large éventail d'organisations canadiennes utilisatrices ou productrices de recherche océanique, y compris les secteurs public, privé, universitaire et sans but lucratif. De plus, 71 personnes ont été directement appelées pour assurer une couverture adéquate de tous les secteurs. Le sondage demandait aux participants de présenter jusqu'à trois questions sur lesquelles devrait porter la recherche canadienne en sciences de la mer dans le contexte des possibilités et des défis environnementaux, économiques et sociétaux qui se posent au Canada. Les participants ont été invités à proposer des questions qui répondaient à un ensemble de critères concernant leur applicabilité à la recherche scientifique (d'après Sutherland *et al.*, 2011b). Les questions devaient :

1. Pouvoir trouver réponse selon une conception de recherche réaliste;
2. Pouvoir trouver réponse par des faits qui ne dépendent pas de jugements de valeur;
3. Traiter de lacunes importantes en matière de connaissances, y compris les connaissances qui sont ultimement liées à des questions essentielles de politique et de gestion;
4. Avoir une portée spatiale et temporelle qui peut en toute probabilité être abordée par une équipe de recherche;
5. Ne pas être formulées comme un domaine général de recherche;
6. Ne pas avoir comme réponses possibles « oui », « non » ou « cela dépend de beaucoup de choses »;
7. Si elles concernaient les effets et les interventions associées, elles devaient inclure un sujet, une intervention et un résultat mesurable.

Les participants devaient classer chacune de leurs questions selon une des six catégories suivantes : (1) le changement climatique et autres changements environnementaux; (2) la biodiversité; (3) les pêches et l'aquaculture; (4) le fond océanique et les ressources non vivantes; (5) la sécurité et la gouvernance des océans; et (6) la technologie et l'innovation marines. Les participants pouvaient aussi au besoin proposer d'autres catégories. Le sondage a été utilisé pour recueillir un ensemble initial de questions candidates, et non pour évaluer les priorités entre les disciplines, ce qui aurait nécessité un processus supplémentaire de collecte et d'analyse de données qui dépassait la portée de cet exercice.

Le sondage a généré 230 réponses, qui contenaient 606 questions utilisables. Le personnel du CAC a réalisé une première évaluation afin de trier les questions. Les questions identiques ou similaires ont été groupées pour constituer une question représentative unique. Les questions composées, ou les séquences de questions connexes proposées ensemble ont été divisées en questions distinctes. Les questions qui ne répondaient pas aux critères établis ont été reformulées, dans la mesure du possible, ou classées « questions rejetées ».

Le groupe cadre a reçu une liste réduite de 386 questions, plus 141 questions rejetées. Le groupe cadre avait accès à tous les documents originaux, ce qui lui permettait de réintroduire des questions rejetées ou la formulation originale des questions, ou de proposer de nouvelles formulations selon leur convenance. Le groupe cadre a été invité à indiquer, selon une échelle de 1 à 9, quelles questions seraient les plus appropriées comme questions prioritaires de recherche, y incluant la possibilité de proposer l'élimination d'une question ou de répondre par « aucune réponse » en cas d'expertise insuffisante.

Le groupe cadre s'est réuni en personne, lors d'un atelier d'une journée et demie, qui a eu lieu les 1^{er} et 2 mars 2012, pour convenir de la liste définitive des questions prioritaires pour la recherche. Les résultats du vote ont été synthétisés par la présentation de la cote médiane de chaque question ainsi que du nombre de votes pour les questions rejetées. Ce processus a permis de classer les questions de manière préliminaire. Toutefois, le choix et l'ordre de priorité définitifs ont été basés sur les discussions tenues entre les membres du groupe cadre à la lumière de l'objectif global, qui était de déterminer les questions « qui, si elles trouvaient réponse, permettraient le mieux d'aborder les possibilités et les défis océanographiques qui se présenteront au Canada ».

Au cours d'une première ronde de séances thématiques en sous-groupes, les participants ont examiné ou clarifié la formulation des questions et, dans certains cas, combiné deux ou plusieurs questions originales pour n'en faire qu'une seule. Une approche par consensus a mené au choix de quatre ou cinq questions et de jusqu'à six questions supplémentaires possibles dans chaque catégorie. Les questions classées dans le cadre de ces séances ont fait l'objet de discussions supplémentaires au cours de deux séances semi-plénières destinées à combiner les questions, réduire les chevauchements et relever et corriger les lacunes observées. Les participants à chaque séance semi-plénière devaient établir une liste de 18 questions prioritaires et de six questions supplémentaires. Les 48 questions obtenues ont fait l'objet de discussions dans le cadre d'une dernière séance plénière au cours de laquelle le groupe cadre s'est encore employé à combiner les

questions qui se recoupaient et à écarter les questions moins convaincantes. Il a convenu d'une liste définitive de 40 questions. Lors de cette dernière séance plénière, les membres du groupe cadre ont également annoté les questions et ont discuté de manière préliminaire des catégories ou thèmes qui pourraient être utilisés pour les classer. Les thèmes employés pour structurer ce rapport sont basés sur ces discussions et les questions ont été groupées en fonction de ces thèmes après l'atelier.

L'ébauche du rapport a été examinée de manière approfondie par le groupe cadre, puis a fait l'objet d'un examen par des pairs choisis internationalement. Les commentaires des examinateurs ont été intégrés dans le rapport et soumis à l'approbation du groupe cadre. Au cours du processus, aucun changement aux questions n'a été fait sans avoir au préalable été examiné et accepté par le groupe cadre.

APPENDICE A : CONTRIBUTIONS

Le groupe cadre d'experts canadiens en sciences de la mer

Un groupe cadre de 22 experts canadiens en sciences de la mer issus des milieux scientifique et politique et du secteur privé a été constitué pour déterminer les questions prioritaires pour la recherche canadienne en sciences de la mer. Les membres du groupe cadre ont été choisis en fonction de leur expertise de même que de leur appartenance à des réseaux et institutions afin d'assurer la représentation la plus large possible.

Le groupe cadre d'experts canadiens en sciences de la mer est composé des membres suivants :

David Fissel (président du groupe cadre), Président et scientifique principal, ASL Environmental Sciences Inc. (Victoria, C.-B.)

Marcel Babin, Titulaire de la Chaire d'excellence en recherche du Canada sur la télédétection de la nouvelle frontière arctique du Canada, directeur du Laboratoire international Takuvik mixte ULaval-CNRS, Département de biologie, Université Laval (Québec, Qc)

Ralf Bachmayer, Professeur agrégé, Faculté de génie et de science appliquée, et Chaire de recherche du Canada en technologie des océans, Université Memorial (St. John's, T.-N.-L)

Kenneth Denman, MSRC, Professeur, École des sciences terrestres et océaniques et Scientifique principale du réseau expérimental sous-marin VENUS de l'Université de Victoria (Victoria, C.-B.)

Eric Dewailly, Professeur, Centre de recherche du centre hospitalier universitaire de Québec, Université Laval (Québec, Qc)

Kathryn M. Gillis, Professeure, École des sciences terrestres et océaniques de l'Université de Victoria, et doyenne associée de la Faculté des sciences à l'Université de Victoria (Victoria, C.-B.)

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

Roy Hyndman, MSRC, Chercheur scientifique principal au Centre géoscientifique du Pacifique, Commission géologique du Canada, et professeur à l'École des sciences terrestres et océaniques de l'Université de Victoria (Victoria, C.-B.)

Daniel Lane, Professeur à l'École de gestion Telfer, Université d'Ottawa (Ottawa, Ont.)

Marlon Lewis, Professeur, Département d'océanographie, Université Dalhousie (Halifax, N.-É.)

Robie Macdonald, MSRC, Chercheur scientifique principal, Institut des sciences de la mer, Pêches et Océans Canada (Sidney, C.-B.)

Kate Moran, Présidente-directrice générale, Ocean Networks Canada; Professeure émérite en océanographie, Université de Victoria (Victoria, C.-B.)

Barbara Neis, Professeure, Département de sociologie, Université Memorial; Codirectrice, SafetyNet (St. John's, T.-N.-L)

Mark Nuttall, MSRC, Professeur et titulaire de la chaire Henry Marshall Tory, Département d'anthropologie, Université de l'Alberta (Edmonton, Alb.)

Émilien Pelletier, Professeur en océanographie chimique, Chaire de recherche du Canada en écotoxicologie marine, Institut des sciences de la mer de Rimouski (Rimouski, Qc)

Lori Ridgeway, Conseillère principale du sous-ministre délégué, Pêches et Océans Canada (Ottawa, Ont.)

Stéphane Roussel, Professeur, Département de science politique, École nationale d'administration publique (Montréal, Qc)

Paul Snelgrove, Professeur et titulaire de la Chaire de recherche du Canada en systèmes océaniques froids et boréaux, Université Memorial de Terre-Neuve (St. John's, T.-N.-L)

William J. Sutherland, Professeur et titulaire de la chaire de recherche Miriam Rothschild en biologie de conservation, Université de Cambridge (Cambridge, Royaume-Uni)

Curtis Suttle, MSRC, Professeur de sciences terrestres et océaniques, microbiologie, immunologie et botanique; et doyen associé des sciences à l'Université de la Colombie-Britannique (Vancouver, C. B.)

Douglas Wallace, Titulaire de la Chaire d'excellence en recherche du Canada sur la science et la technologie des océans (Halifax, N.-É.)

Melanie G. Wiber, Professeure, Département d'anthropologie, Université du Nouveau-Brunswick (Fredericton, N.-B.)

Remerciements

Le groupe cadre tient à remercier ceux qui ont répondu au sondage et ceux qui ont sensibilisé les océanographes et autres personnes concernées à son existence. La préparation de ce rapport n'aurait pas été possible sans l'aide de nos experts en méthodologie – William Sutherland et Erica Fleishman – qui nous ont fourni de précieux conseils tout au long du processus. Merci à Susan K. Avery, R. Ian Perry et Myriam Sibuet pour leur examen attentif et constructif du rapport, ainsi qu'à Clare Walker, pour son appui rédactionnel. Le groupe cadre remercie le commanditaire – le Consortium universitaire canadien en sciences de la mer, y compris les représentants des universités membres et les vice-présidents à la recherche – pour l'aide et le temps qu'ils ont fournis au cours de la phase préparatoire de ce rapport. Le groupe cadre est aussi très reconnaissant envers le personnel du Conseil des académies canadiennes pour tout le soutien qu'il a reçu.



David Fissel

Président du groupe cadre d'experts canadiens en sciences de la mer

Examen du rapport

À l'état d'ébauche, ce rapport a été examiné par les trois personnes mentionnées ci-dessous, qui 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 leur expérience océanographique.

Ces examinateurs ont évalué l'objectivité et la qualité du rapport. Leurs avis — qui demeureront confidentiels — ont été pleinement pris en considération par le groupe cadre, et bon 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 groupe cadre et le CAC assument l'entière responsabilité du contenu définitif de ce rapport.

Susan K. Avery, Présidente-directrice, Woods Hole Oceanographic Institution (Woods Hole, MA)

R. Ian Perry, Professeur associé, Université de la Colombie-Britannique; Chercheur scientifique principal, Pêches et Océans Canada (Nanaimo, C.-B.)

Myriam Sibuet, Scientifique émérite en résidence à l'Institut Océanographique de Paris (Paris, France)

Personnel responsable du projet au Conseil des académies canadiennes

Équipe chargée du projet :

- Christina Stachulak, directrice principale des programmes
- Stefan Jungcurt, associé de recherche
- Emmanuel Mongin, associé de recherche
- Weronika Zych, coordonnatrice de programmes
- Olena Loskutova, stagiaire
- Jonathan Whiteley, stagiaire

Avec l'aide de :

(par ordre alphabétique)

- Erica Fleishman, conseillère en méthodologie
- Clare Walker, conseillère en rédaction

APPENDICE B : LES ACADÉMIES FONDATRICES DU CONSEIL DES ACADÉMIES CANADIENNES

La Société royale du Canada (SRC) est le principal organisme national regroupant d'éminents scientifiques, chercheurs et gens de lettres au Canada. La SRC a pour objectif premier de promouvoir l'acquisition du savoir et la recherche en arts et en sciences. Elle est composée de près de 2000 membres, hommes et 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, ainsi qu'à promouvoir la culture canadienne.

L'Académie canadienne du génie (ACG) est l'organisme national par l'entremise duquel les ingénieurs les plus chevronnés et expérimentés du Canada offrent au pays des conseils stratégiques sur des enjeux d'importance primordiale. Fondée en 1987, l'ACG est un organisme indépendant, autonome et à but non lucratif. Les membres de l'ACG sont nommés et élus par leurs pairs à titre de membres honoraires, en fonction de leurs réalisations exceptionnelles et de leurs longs états de service au sein de la profession d'ingénieur. Les membres de l'ACG s'engagent à faire en sorte que l'expertise en génie du Canada soit mise au service du plus grand bien de tous les Canadiens et Canadiennes.

L'Académie canadienne des sciences de la santé (ACSS) reconnaît les personnes qui ont à leur actif de grandes réalisations savantes dans le domaine des sciences de la santé au Canada. Fondée en 2004, l'ACSS compte environ 400 membres et nomme chaque année de nouveaux membres. L'organisation est administrée par un conseil de direction et un conseil d'administration. L'ACSS a pour principale fonction de fournir en temps voulu des évaluations éclairées et indépendantes sur des questions urgentes qui touchent la santé de la population canadienne. L'Académie surveille également les événements reliés à la santé mondiale afin d'améliorer l'état de préparation du Canada, et se fait le porte-parole du Canada sur la scène internationale, au sujet des sciences de la santé. L'ACSS offre une voix collective, multidisciplinaire et qui fait autorité, pour les communautés des sciences de la santé.

www.sciencepourlepublic.ca

[@scienceadvice.ca](https://twitter.com/scienceadvice.ca)

RÉFÉRENCES

- AADNC (Affaires autochtones et Développement du Nord Canada) (2011). *Programme du gouvernement du Canada pour l'Année polaire internationale : Faits saillants et réalisations*. Ottawa (Ont.) : AADNC.
- AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme) (2011). *AMAP Assessment 2011 : Mercury in the Arctic*. Oslo, Norvège : AMAP.
- Brosnan, I. G., Leschine, T. M., et Miles, E. L. (2011). Cooperation or conflict in a changing Arctic? *Ocean Development & International Law*, 42, 173-210. doi:10.1080/00908320.2011.543032
- Charles, A. T. (2001). *Sustainable Fishery Systems*. Oxford, Royaume-Uni : Blackwell Science.
- Christie, P., Lowry, K., White, A. T., Oracion, E. G., Sievanen, L., Pomeroy, R. S., Pollnack, R. B., Patlis, J. M. et Eisma, R. L. V. (2005). Key findings from a multidisciplinary examination of integrated coastal management process sustainability. *Ocean and Coastal Management*, 48(3-6), 468-483. doi:10.1016/j.ocecoaman.2005.04.006
- Coward, H. G., Ommer, R., et Pitcher, T. (Dir.) (2000). *Just Fish: Ethics and Canadian Marine Fisheries*. St. John's (T.-N.-L.) : ISER Books.
- de Groot, R. S., Wilson, M. A., et Boumans, R. M. J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393-408.
- de Wit, C. A., et Muir, D. (2010). Levels and trends of new contaminants, temporal trends of legacy contaminants and effects of contaminants in the Arctic: Preface. *Science of the Total Environment*, 408(15), 2852-2853. doi:10.1016/j.scitotenv.2009.06.011
- Deser, C., Magnusdottir, G., Saravanan, R., et Phillips, A. (2004). 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. *American Meteorological Society*, 17, 877-889.
- Fingas, M. F., et Hollebone, B.P. (2003). Review of behaviour of oil in freezing environments. *Marine Pollution Bulletin*, 47, 333-340. doi:10.1016/S0025-326X(03)00210-8
- Fleishman, E., Blockstein, D. E., Hall, J. A., Mascia, M. B., Rudd, M. A., Scott, J. M., . . . Vedder, A. (2011). Top 40 priorities for science to inform US conservation and management policy. *BioScience*, 61(4), 290-300. doi:10.1525/bio.2011.61.4.9
- Gouvernement du Canada (2009). *Stratégie pour le Nord du Canada : Notre Nord, notre patrimoine, notre avenir*. Ottawa (Ont.) : ministre des Affaires indiennes et du Nord canadien et interlocuteur fédéral auprès des Métis et des Indiens non inscrits.
- Gouvernement du Canada (2011). *Énoncé de la politique étrangère du Canada pour l'Arctique*. Ottawa (Ont.) : Gouvernement du Canada.
- Greenan, B., et Klymak, J. (2011). Rapport 2007-2010 de l'IAPSO : Quatre années d'océanographie physique au Canada. Téléchargé en mai 2012, depuis www.cmos.ca/scor/IAPSOreport2007_2010.pdf
- Gruber, N., et Galloway, J. N. (2008). An Earth-system perspective of the global nitrogen cycle. *Nature*, 451(17), 293-296. doi:10.1038/nature06592
- Hall, J., Harrison, D. E., et Stammer, D. (2009, sept. 21-25). Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society. Article présenté à l'OceanObs'09, Venise, Italie. doi:10.5270/OceanObs09
- Halpern, B. S., Walbridge, S., Selkoe, K. A., Kappel, C. V., Micheli, F., D'Agrosa, C., . . . Watson, R. (2008). A global map of human impact on marine ecosystems. *Science*, 319, 948-952. doi:10.1126/science.1149345
- Hellmann, J. J., Byers, J. E., Bierwagen, B. G., et Dukes, J. S. (2008). Five potential consequences of climate change for invasive species. *Conservation Biology*, 22(3), 534-543. doi:10.1111/j.1523-1739.2008.00951.x
- Hutchings, J. A., Côté, I. M., Dodson, J. J., Fleming, I. A., Jennings, S., Mantua, N. J., . . . VanderZwaag, D. L. (dir.). (2012). *Sustaining Canada's marine biodiversity: responding to the challenges posed by*

- climate change, fisheries, and aquaculture*. Ottawa (Ont.) : Rapport d'un comité d'experts préparé pour la Société royale du Canada.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) (2007). Summary for Policymakers. Dans S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor et H. L. Miller (dir.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge, Royaume-Uni : Cambridge University Press.
- Jaffe, D., Anderson, T., Covert, D., Kotchenruther, R., Trost, B., Danielson, J., . . . Itsushi, U. (1999). Transport of Asian air pollution to North America. *Geophysical Research Letters*, 26(6), 711-714.
- Johannessen, O. M., Bengtsson, L., Miles, M. W., Kuzmina, S. I., Semenov, V. A., Alekseev, G. V., . . . Cattle, H. P. (2004). Arctic climate change: Observed and modelled temperature and sea-ice variability. *Tellus*, 56(A), 328-341.
- Kerr, J., et Packer, L. (1998). The impact of climate change on mammal diversity in Canada. *Environmental Monitoring and Assessment*, 49, 263-270.
- Lenton, T. M., Held, H., Kriegler, E., Hall, J. W., Lucht, W., Rahmstorf, S., et Schellnhuber, H. J. (2008). Tipping elements in the Earth's climate system. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(6), 1786-1793. doi:10.1073/pnas.0705414105
- Moore, C., Barnard, A., Fietzek, P., Lewis, M. R., Sosik, H. M., White, S., et Zielinski, O. (2008). Optical tools for ocean monitoring and research. *Ocean Science Discussions*, 5, 659-717.
- MPO (Pêches et Océans Canada) (2005). *Plan d'action du Canada pour les océans*. Ottawa (Ont.) : MPO.
- MPO (Pêches et Océans Canada) (2007). *Des activités scientifiques qui comptent pour les Canadiens*. Ottawa (Ont.) : MPO.
- MPO (Pêches et Océans Canada) (2008). *Plan de recherche quinquennal (2008-2013)*. Ottawa (Ont.) : MPO.
- MPO (Pêches et Océans Canada) (2009). *Nos océans, notre avenir : Programmes et activités du gouvernement fédéral*. Ottawa (Ont.) : MPO.
- NRC (National Research Council) (2011). Ocean Acidification: A National Strategy to Meet the Challenges of a Changing Ocean. *Committee on the Development of an Integrated Science Strategy for Ocean Acidification Monitoring, Research, and Impacts Assessment*. Washington (DC) : NRC.
- O'Dor, R. K., Fennel, K., et Berghe, E. V. (2009). A one ocean model of biodiversity. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 56(19-20), 1816-1823. doi:10.1016/j.dsr2.2009.05.023
- Picard-Aitken, M., Campbell, D., et Côté, G. (2011). Research on Fish Populations at DFO and in Canada: A Bibliometric Analysis [1998-2009]. Montréal (Qc) : Science-Metrix.
- Pretty, J., Sutherland, W. J., Ashby, J., Auburn, J., Baulcombe, D., Bell, M., . . . Pilgrim, S. (2010). The top 100 questions of importance to the future of global agriculture. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 8(4), 219-236. doi:10.3763/ijas.2010.0534
- PSTO (Partenariat pour les sciences et les technologies des océans) (2007). Prosperity through SMART Ocean Management: Enabling Canada's Ocean Economic Future Through a New Ocean Science and Technology Strategy for Canada. Téléchargé en mai 2012, depuis www.ostp-psto.ca/Files/SmartOceanManFEBRUARY2007.pdf
- Ricketts, P., et Harrison, P. (2007). Coastal and ocean management in Canada: Moving into the 21st century. *Coastal Management*, 35, 5-22. doi:10.1080/10.1080/08920750600970545
- RNCAN (Ressources naturelles Canada) (2008). *Vivre avec les changements climatiques au Canada : édition 2007*. Dans D. S. Lemmen, F. J. Warren, J. Lacroix et E. Bush (dir.). Ottawa (Ont.) : RNCAN.
- Robertson, A. (dir.) (1998). Petroleum Hydrocarbons. *AMAP Assessment Report: Arctic Pollution Issues*. Oslo, Norvège : AMAP.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., III, Lambin, E., . . . Foley, J. (2009). Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society* 14(2), 32. From <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>

- Rudd, M. A., Beazley, K. F., Cooke, S. J., Fleishman, E., Lane, D. E., Mascia, M. B., . . . Veilleux, J. P. (2011). Generation of priority research questions to inform conservation policy and management at a national level. *Conservation Biology*, *25*(3), 476-484. doi:10.1111/j.1523-1739.2010.01625.x
- Schmitz Jr., W. J. (1995). On the interbasin-scale thermohaline circulation. *Reviews of Geophysics*, *33*(2), 151-173.
- Serreze, M. C., et Barry, R. G. (2011). Processes and impacts of Arctic amplification: A research synthesis. *Global and Planetary Change*, *77*(1-2), 85-96. doi:10.1016/j.gloplacha.2011.03.004
- Snelgrove, P. V. R. (2010). *Discoveries of the Census of Marine Life: Making Ocean Life Count*. Cambridge, Royaume-Uni : Cambridge University Press.
- Stammer, D., Johanessen, J., LeTraon, P.-Y., Minnett, P., Roquet, H., et Srokosz, M. (2007). Position Paper: Requirements for Ocean Observations Relevant to Post-EPS: AEG Ocean Topography and Ocean Imaging. Téléchargé en mai 2012, depuis www.eumetsat.int/groups/pps/documents/document/pdf_peps_pp_ocean.pdf
- Sutherland, W. J., Bailey, M. J., Bainbridge, I. P., Brereton, T., Dick, J. T. A., Drewitt, J., . . . Woodroof, H. J. (2008). Future novel threats and opportunities facing UK biodiversity identified by horizon scanning. *Journal of Applied Ecology*, *45*(3), 821-833. doi:10.1111/j.1365-2664.2008.01474.x
- Sutherland, W. J., Clout, M., Côté, I. M., Daszak, P., Depledge, M. H., Fellman, L., . . . Watkinson, A. R. (2010). A horizon scan of global conservation issues for 2010. *Trends in Ecology & Evolution*, *25*(1), 1-7. doi:10.1016/j.tree.2009.10.003
- Sutherland, W. J., Bardsley, S., Bennun, L., Clout, M., Côté, I. M., Depledge, M. H., . . . Watkinson, A. R. (2011a). Horizon scan of global conservation issues for 2011. *Trends in Ecology & Evolution*, *26*(1), 10-16. doi:10.1016/j.tree.2010.11.002
- Sutherland, W. J., Fleishman, E., Mascia, M. B., Pretty, J., et Rudd, M. A. (2011b). Methods for collaboratively identifying research priorities and emerging issues in science and policy. *Methods in Ecology and Evolution*, *2*(3), 238-247. doi:10.1111/j.2041-210X.2010.00083.x
- Taylor, M. S. (2008). Transformative ocean science through the VENUS and NEPTUNE Canada ocean observing systems. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, *602*, 63-67. doi:10.1016/j.nima.2008.12.019
- Valdès, L., Fonseca, L., et Tedesco, K. (2010). Looking Into the Future of Ocean Sciences: An IOC Perspective. *Oceanography*, *23*(3), 160-175. doi:10.5670/oceanog.2010.31
- Vermeij, G. J. (1978). *Biogeography and Adaptation: Patterns of Marine Life*. Cambridge (MA) : Harvard University Press.
- Weller, G., Bush, E., Callaghan, T. V., Corell, R. W., Fox, S., Furgal, C., . . . Wrona, F. J. (2005). Summary and Synthesis of the ACIA. Symon, C., Arris, L. & Heal, B. (Eds.), *Arctic Climate Impact Assessment*. New York (NY) : Cambridge University Press.
- Wijffels, S. E., Schmitt, P. W., Bryden, H. L., et Strigebandt, A. (1992). Transport of freshwater by the oceans. *Journal of Physical Oceanography*, *22*(2), 155-162.
- Wu, J., et Boyle, E. A. (1997). Lead in the western North Atlantic ocean: Completed response to leaded gasoline phaseout. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, *61*(15), 3279-3283.