MODÉLISATION DES TSUNAMIS ASSOCIÉS AUX RÉCENTES RUPTURES DE TALUS DANS LE CHENAL DE DOUGLAS

Contexte

Enbridge Northern Gateway Pipelines Ltd. propose de construire et d'exploiter une infrastructure destinée au transport et à l'exportation de pétrole de l'Alberta vers des marchés étrangers, et à l'importation du condensat utilisé dans l'exploitation des sables bitumineux.

Pêches et Océans Canada (MPO) participe actuellement à une évaluation environnementale menée par une commission d'examen conjoint. La commission d'examen conjoint est une entité indépendante mandatée par le ministre de l'Environnement et l'Office national de l'énergie. Elle doit évaluer les effets environnementaux du projet proposé et examiner la demande en vertu de la Loi canadienne sur l'évaluation environnementale et de la Loi sur l'Office national de l'énergie.

Le 17 août 2012, un avis de requête du procureur général du Canada demandant la présentation d'une preuve écrite supplémentaire « concernant deux ruptures de talus sous-marins auparavant inconnues dans le chenal de Douglas et une autre évaluation de la possibilité de tsunamis provoqués par ces deux ruptures » a été déposé, puis approuvé auprès de la commission d'examen conjoint. On a demandé aux Sciences du MPO de la région du Pacifique de produire une autre évaluation comprenant une modélisation des hauteurs et des vitesses des vagues potentiellement engendrées par deux ruptures de talus sous-marins inconnues auparavant dans le chenal de Douglas. Cette analyse doit être présentée à la commission et aux parties participantes, afin que tous disposent de l'information la plus récente sur les géorisques dans le chenal de Douglas. Étant donné l'urgence de la demande, on a fait appel à un Processus spécial de réponse des Sciences (PSRS) du Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS) pour obtenir cette information.

Plus précisément, l'objectif de cette évaluation est de produire une analyse de la hauteur, de la vitesse, des périodes et du temps de propagation des vagues d'un tsunami simulé numériquement qui aurait été engendré par un glissement de matière provoqué par les ruptures de talus sous-marins récemment découvertes dans le chenal de Douglas.

Le présent rapport de réponse des Sciences découle du processus régional spécial de réponse des Sciences (PSRS) du Secrétariat canadien de consultation scientifique de Pêches et Océans Canada, publié le 29 octobre 2012. Toute l'information contenue dans le présent document est basée sur la publication technique Thomson et coll., 2012. Numerical simulation of tsunamis generated by submarine slope failures in Douglas Channel. Colombie-Britannique. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. de rech. 2012/115 ; http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/Publications/ResDocs-DocRech/2012/2012_115-fra.html.

Renseignements de base

Le promoteur du projet d'oléoduc Northern Gateway de la pétrolière Enbridge propose de transporter du bitume dilué de Kitimat (Colombie-Britannique) jusqu'aux marchés de la Chine et de la Californie au moyen de pétroliers de la catégorie très gros transporteur de brut (TGTB) (Commission d'examen conjoint du projet Enbridge Northern Gateway (CECPENG) 2012a). La route de navigation, qui débute à Kitimat, passe par les voies navigables restreintes de la Colombie-Britannique et se rend jusque dans les eaux libres du détroit d'Hecate, de l'entrée Dixon et du détroit de la Reine-Charlotte en Colombie-Britannique, est illustrée à la Figure 1. Aux fins d'évaluation, le projet Northern Gateway d'Enbridge englobe deux zones : la zone d'évaluation des eaux confinées du chenal (ZEECC) (Figure 2) et la zone d'évaluation des eaux libres (ZEEL), qui s'étend des eaux de la Colombie-Britannique jusqu'aux limites de la mer territoriale (Figure 1). Les navires qui entrent dans le passage doivent transporter des cargaisons de condensat. Enbridge Northern Gateway estime que 71 pétroliers transportant du condensat et 149 pétroliers transportant du pétrole feront escale au terminal de Kitimat, soit un total de 440 transits par année (CECPENG, 2012b). Un terminal maritime sera construit près de Kitimat et comportera deux postes d'amarrage pour les pétroliers et un poste d'amarrage pour les navires utilitaires (CECPENG, 2012a).

Justification de l'évaluation

Le 17 août 2012, un avis de requête du procureur général du Canada demandant la présentation d'une preuve écrite supplémentaire « concernant deux ruptures de talus sous-marins auparavant inconnues dans le chenal de Douglas et une autre évaluation de la possibilité de tsunamis provoqués par ces deux ruptures » a été déposé auprès de la commission d'examen conjoint.

Les levés bathymétriques multifaisceaux effectués par le Service hydrographique du Canada et Ressources naturelles Canada ont révélé la présence de deux importants glissements sous-marins le long de la partie sud-est du chenal de Douglas, dans le nord-ouest de la Colombie-Britannique. Les glissements datent probablement de l'Holocène précoce ou moyen (entre 10 000 et 5 000 ans). Ces ruptures auraient pu causer des tsunamis déclenchés par des glissements de terrain. De plus, les conditions se prêtent à l'apparition future de ruptures semblables et de tsunamis connexes le long de cette partie du chenal (Conway et coll., 2012).

On a demandé aux Sciences du MPO de la région du Pacifique de produire une autre évaluation comprenant une modélisation des hauteurs et des vitesses des vagues qui auraient pu être engendrées par deux ruptures de talus sous-marins inconnues auparavant dans le chenal de Douglas. Cette analyse doit être présentée à la commission et aux parties participantes pour s'assurer que tous disposent de l'information la plus récente sur les géorisques dans le chenal de Douglas.

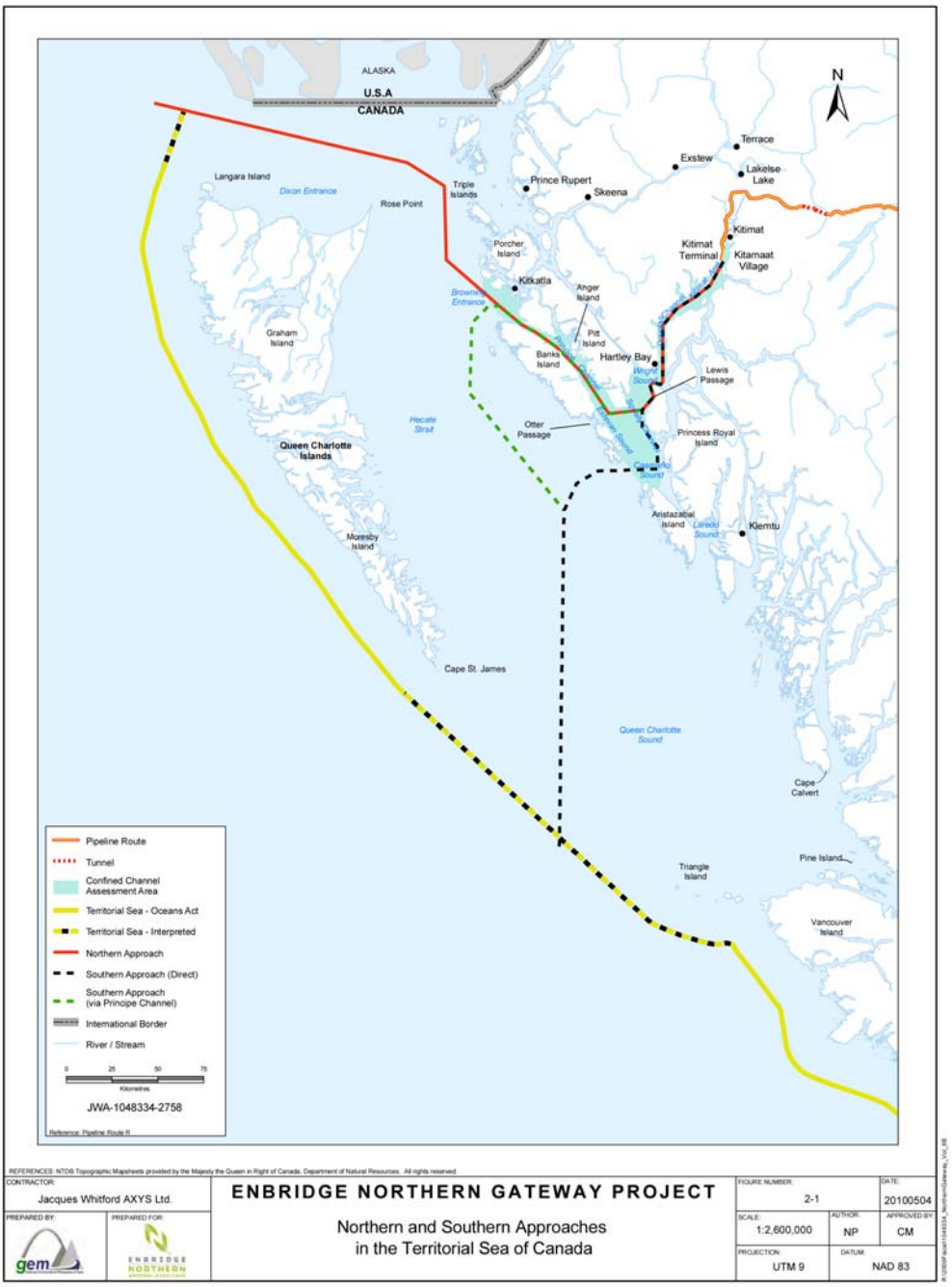

Figure 1 Carte illustrant les routes de navigation proposées des pétroliers dans la zone d'évaluation des eaux confinées du chenal et dans la zone d'évaluation des eaux libres (ZEECC et ZEEL). La ZEEL s'étend jusqu'aux limites de la mer territoriale (CECPENG, 2012c).

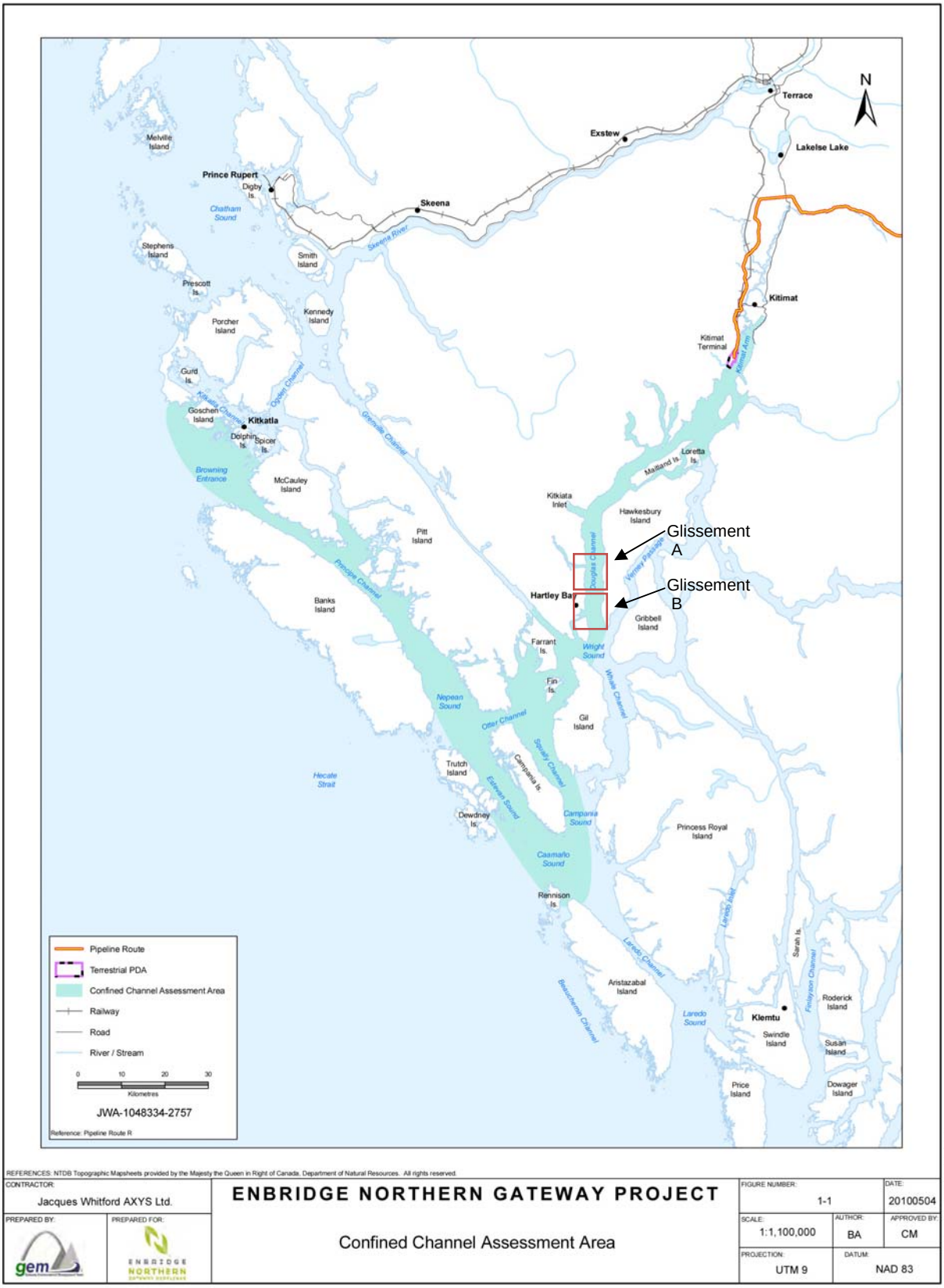

Figure 2 Carte illustrant l'emplacement et l'étendue de la zone d'évaluation des eaux confinées du chenal (ZEECC) (CECPENG, 2012c)

Analyse et réponses

Reconstitution des glissements

La côte de la Colombie-Britannique est une région qui se caractérise par des pentes abruptes, d'extrêmes variations saisonnières d'humidité du sol et de grandes amplitudes de marées. C'est également l'endroit au Canada où l'activité sismique est la plus importante. Les dangers de ce type ont été amplement documentés pour la région côtière de la Colombie-Britannique et les autres régions océaniques de la planète constituées de fjords, notamment l'Alaska et la Norvège. Ces facteurs augmentent les risques de formation de ruptures de talus sous-marins et subaériens dans la région. Ce type de phénomène se produit dans les voies navigables étroites et relativement peu profondes situées près des côtes et peut engendrer des vagues de tsunamis.

Les deux régions de glissement sous-marin récemment découvertes se trouvent à 10 km l'une de l'autre, sur le versant est de la partie sud du chenal de Douglas, près de l'extrémité sud de l'île Hawkesbury (Figures 3 et 4 (Conway et coll., 2012)). Les ruptures se caractérisent par des creux en forme de feston situés le long du bord de la paroi du fjord et semblent reliées aux blocs détachés qui se prolongent à plusieurs centaines de mètres dans le chenal. Les deux glissements banc sur banc découverts dans le chenal de Douglas sont caractéristiques des glissements sous-marins de blocs rigides, qui diffèrent considérablement des glissements sous-marins visqueux bien documentés de densité relative (masse par rapport à celle de l'eau) plus faible (environ 1,5) qui se sont produits au nord du chenal de Douglas, le long du talus intérieur du bras Kitimat, en 1974 et 1975.

Conway et coll. (2012) estiment à 32 millions de m^3 le volume du glissement A et à 31 millions de m^3 celui du glissement B (Figures 3 et 4, respectivement).

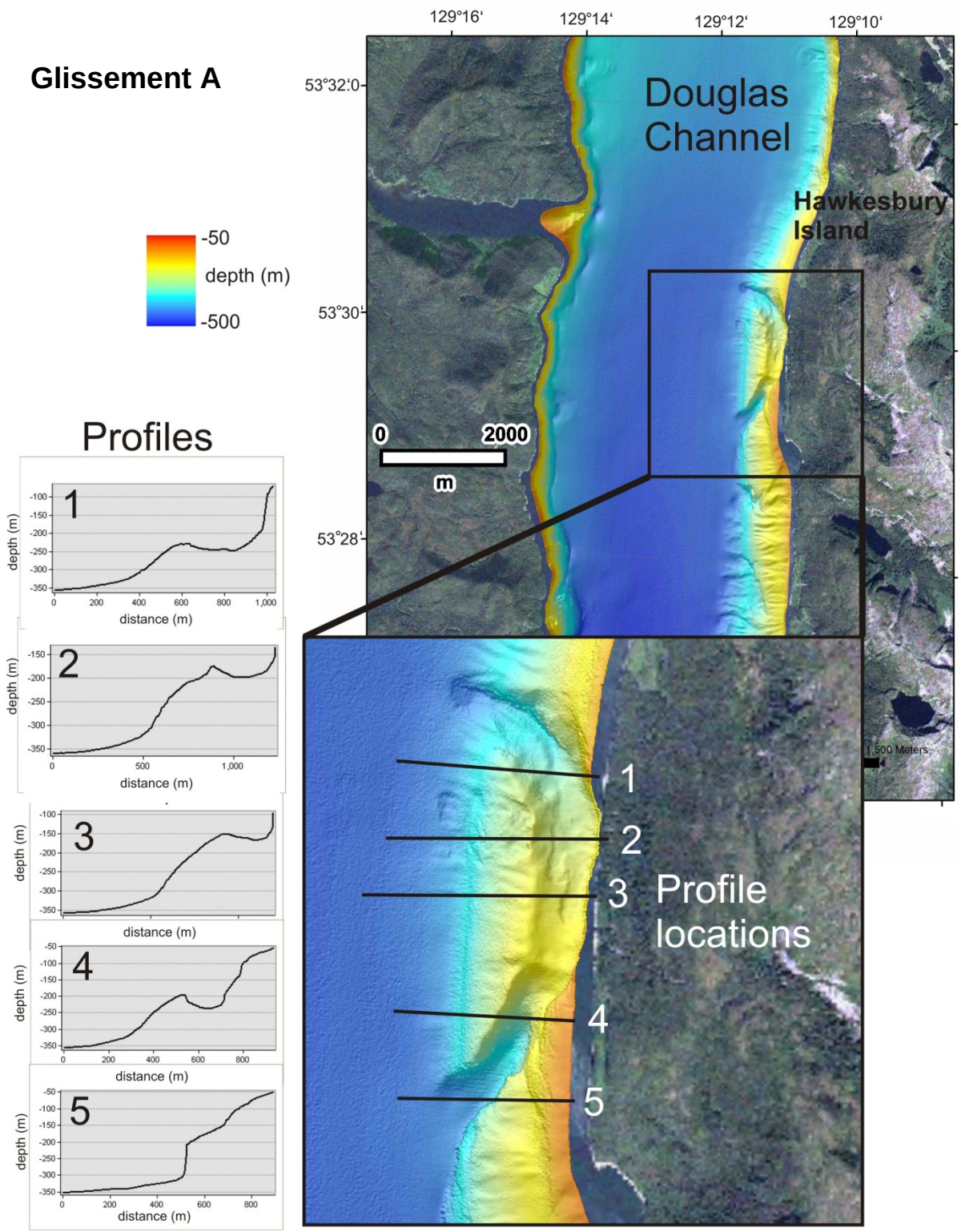

Figure 3. Imagerie multifaisceaux détaillée du glissement A. À gauche de chaque glissement se trouvent des profils bathymétriques numérotés extraits de l'imagerie multifaisceaux; l'emplacement de chaque profil est indiqué dans l'image des glissements. Tiré de Conway et coll. (2012).

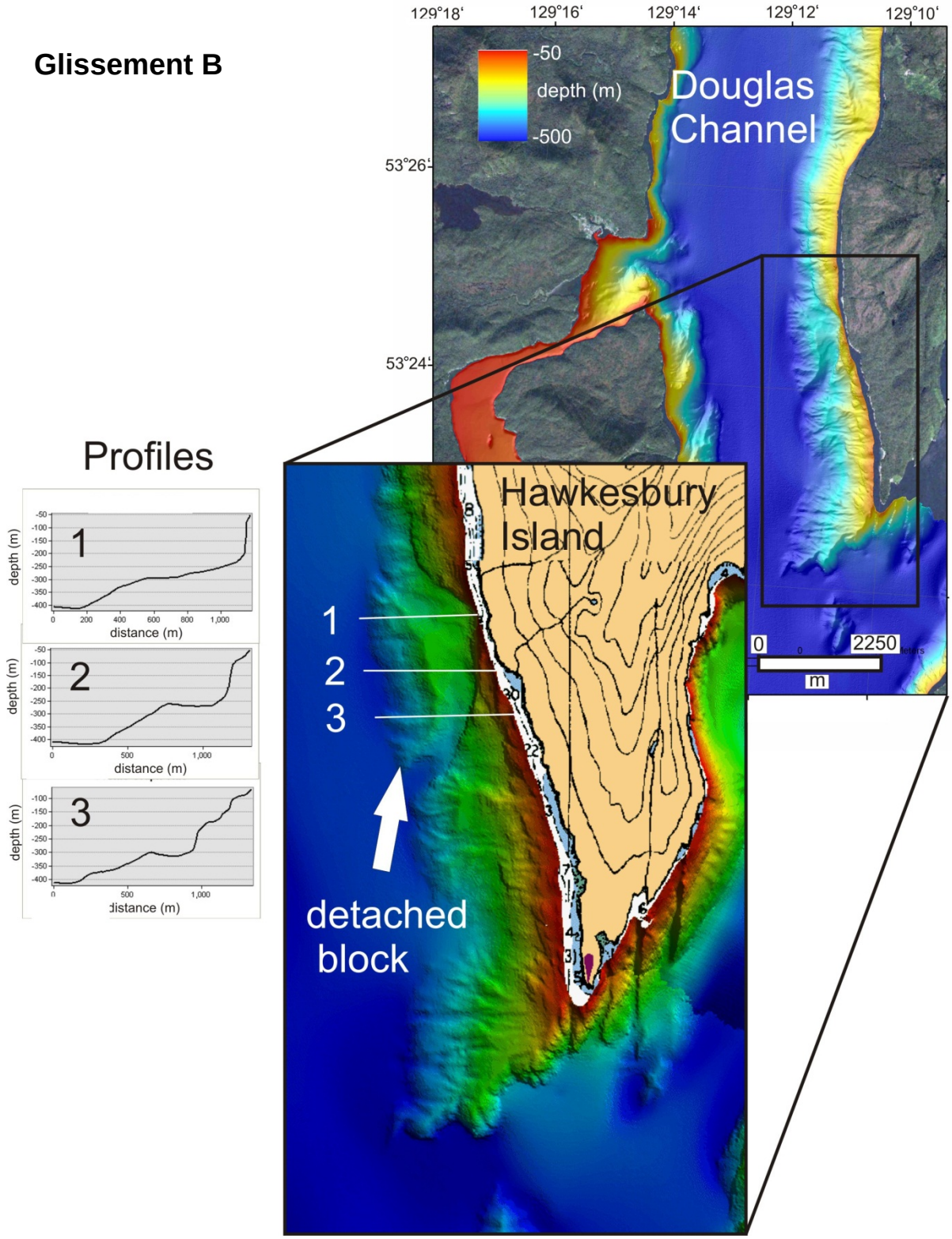

Figure 4 Imagerie multifaisceaux détaillée du glissement B. À gauche de chaque glissement se trouvent des profils bathymétriques numérotés extraits de l'imagerie multifaisceaux; l'emplacement de chaque profil est indiqué dans l'image des glissements. Tiré de Conway et coll. (2012).

Toutefois, on estime que ce sont là des valeurs minimales, puisqu'elles n'englobent pas les débris qui se seraient répandus dans le fjord après le détachement initial et le glissement des blocs, lesquels se trouvent maintenant enfouis sous une épaisse couche de sédiments accumulés après le glissement. On croit que les blocs proviennent directement de la lithologie côtière de l'île Hawkesbury qui, selon la représentation cartographique de Roddick (1970), est composée de roches de type diorite (roches ignées) dont la densité relative (masse par rapport à celle de l'eau) tourne autour de 2,6.

Bien que les données bathymétriques soient insuffisantes pour délimiter les frontières exactes des ruptures d'origine, une reconstitution des régions des glissements effectuée immédiatement avant la rupture indique que les glissements étaient cunéiformes. La tête du glissement le plus au nord (glissement A) avait une profondeur initiale d'environ 60 à 100 mètres, tandis que celle du glissement le plus au sud (glissement B) commençait à une profondeur de 75 à 120 mètres. Selon l'ampleur de la friction entre les blocs de glissement et le plancher océanique sous-jacent, les blocs auraient dévalé la pente à une vitesse maximale d'environ 25 mètres par seconde avant de s'immobiliser, quelque 30 secondes plus tard. Selon les données multifaisceaux, les blocs se seraient déplacés d'environ 250 à 350 mètres avant de s'arrêter au bas de la pente, à une profondeur de plus ou moins 400 mètres, dans l'eau.

Les délimitations des blocs subissant le glissement sont fondées sur un certain nombre d'hypothèses, lesquelles sont des sources possibles d'erreur. D'abord, l'estimation de l'épaisseur des blocs est déterminée par la profondeur des creux en altitude observés dans les données multifaisceaux. L'accumulation de sédiments dans la région pourrait s'être produite à des vitesses différentes dans les régions des glissements, les creux se remplissant peut-être plus rapidement que les crêtes et les pentes. De plus, l'étendue du revers (littoral transversal) des blocs correspondait à celle du littoral transversal observé de la partie inclinée du plancher océanique, ce qui mène à une incertitude par rapport aux estimations de dimensions des blocs.

Résultats de la modélisation des tsunamis

Un modèle mathématique numérique a été utilisé afin de simuler les vagues et les courants d'un tsunami qui serait généré dans le chenal de Douglas et les voies navigables adjacentes (y compris le bras Kitimat), où des glissements sous-marins bloc sur bloc ont les mêmes dimensions que les glissements A et B découverts grâce aux récents levés bathymétriques multifaisceaux (Conway et coll., 2012). Les simulations numériques permettent d'obtenir des estimations de l'amplitude[1], du temps de propagation et de la période des vagues du tsunami, ainsi que de la vitesse du courant, en fonction du temps et pour un emplacement donné situé dans une vaste zone de la voie navigable proche des côtes.

Glissement A

Le glissement A aurait généré d'énormes vagues dans les environs immédiats de la région touchée par la rupture, dans la minute suivant le glissement sous-marin. Les vagues dans les simulations numériques atteignent des amplitudes de 30 à 40 mètres sur la côte près de la région du glissement (Figure 5).

[1] L'amplitude correspond à la moitié de la hauteur d'une vague.

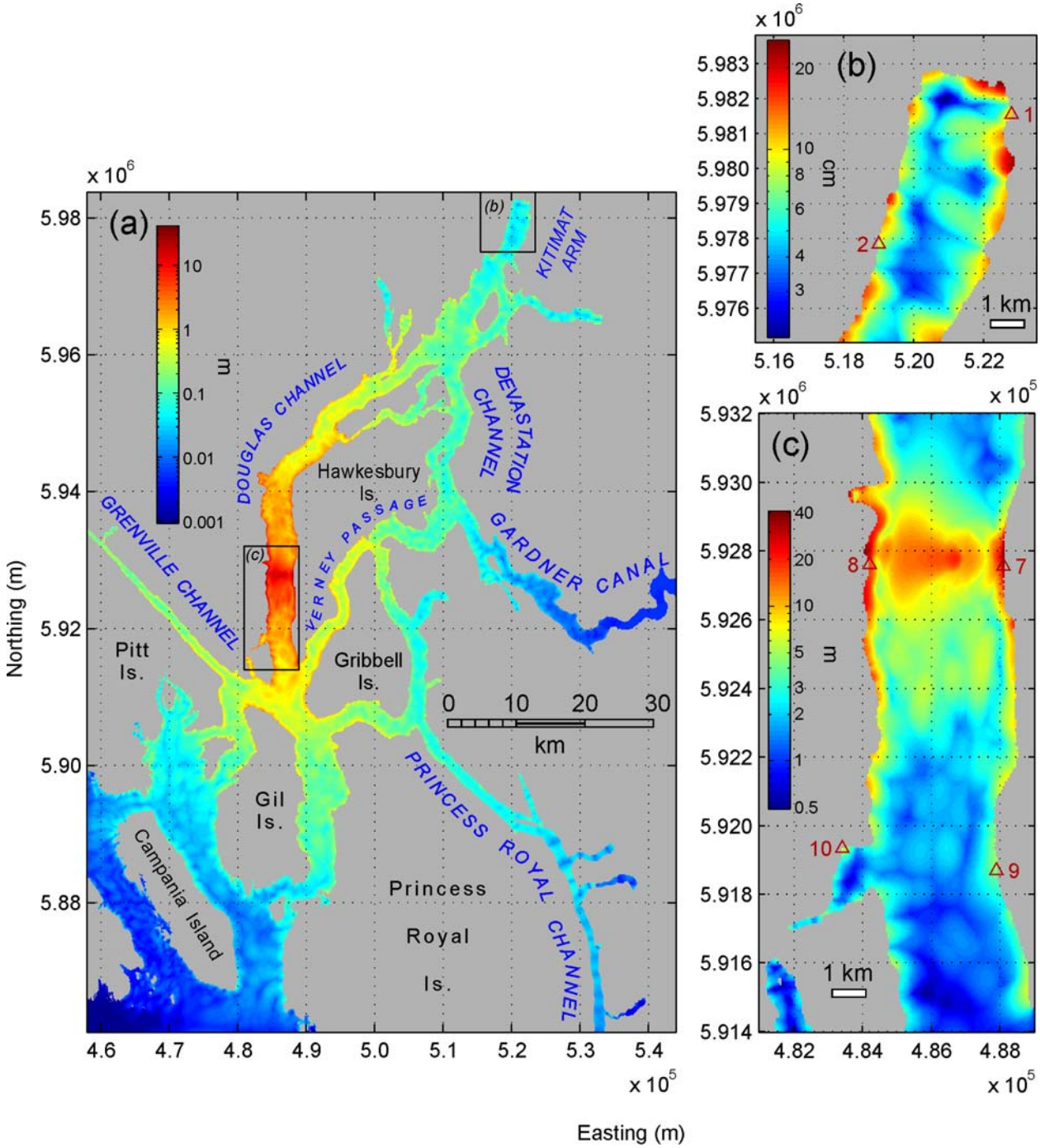

Figure 5 Amplitudes maximales des vagues du tsunami généré par le glissement A. Une version agrandie des régions est présentée en (b) et en (c); voir (a) pour connaître les emplacements. À noter le changement des unités d'amplitude en (b). Tiré de Thomson et coll. (2012).

Dans les cas de tsunamis générés par des glissements sous-marins dans des régions côtières, un délai entre l'arrivée des premières vagues et celle des vagues les plus hautes à un endroit donné est fréquent. Le délai augmente à mesure qu'on s'éloigne du glissement, car les vagues subissent de nombreuses réflexions et interactions non linéaires en cours de route. Les résultats numériques révèlent des amplitudes maximales de vagues de 6 m dans la baie Hartley. Des vagues de grande amplitude séparées par des intervalles normaux d'environ 50 secondes continuaient à déferler pendant plusieurs dizaines de minutes.

En ce qui concerne les régions en dehors du chenal de Douglas, les vagues du tsunami simulé sont relativement petites (amplitudes généralement inférieures à 1 m). Les vagues les plus hautes générées par le glissement A atteignent le bras Kitimat en environ 20 minutes et présentent des amplitudes de seulement quelques centimètres. Bien que l'amplitude des vagues subséquentes soit plus élevée, les amplitudes maximales (qui sont atteintes de 50 à 55 minutes après la rupture) ne sont toujours que de 0,09 à 0,12 mètre.

Les grandes vagues du tsunami s'accompagnent de courants puissants qu'elles engendrent. Les régions présentant des amplitudes de vagues maximales connaissent de forts courants dont la vitesse atteint jusqu'à 15 mètres par seconde. D'après les résultats du modèle, des courants particulièrement puissants se produisent près du rivage et sur les promontoires, près du glissement. Les courants engendrés par le tsunami sont faibles dans l'ensemble du bras Kitimat. Leur vitesse dépasse rarement de 0,01 à 0,02 mètre par seconde. Même sur les promontoires, la vitesse des courants générés par les vagues ne dépasse pas 0,1 mètre par seconde.

Glissement B

L'analyse du glissement B suit la même procédure que celle du glissement A. Un examen des données bathymétriques montre que le glissement B s'est déplacé d'environ 400 mètres avant de s'immobiliser. Étant donné que le glissement B a commencé à se déplacer à une plus grande profondeur que le glissement A, le centre de gravité du glissement B a subi un déplacement vertical moins important que le glissement A. Cela a eu pour effet que le glissement B s'est déplacé beaucoup plus lentement que le glissement A. C'est ce qui explique les différences entre les vagues des tsunamis simulés générées par les deux glissements.

Le glissement B aurait engendré de grandes vagues à proximité de la région touchée par la rupture. Les vagues simulées atteignent la côte adjacente à la région du glissement dans la minute suivant la rupture. Leur amplitude va jusqu'à 10 mètres (Figure 6). Les vagues frappent le côté opposé du chenal moin d'une minute après la rupture. Il leur faut ensuite une autre minute avant d'atteindre la baie Hartley (Figure 2). Leur amplitude s'élève alors à 15 mètres. Les puissantes oscillations dans la baie continuent pendant des dizaines de minutes. Des vagues de grande amplitude (plus de 2 mètres) déferlent également dans la partie sud du chenal de Douglas et à certains emplacements du passage Verney (Figure 2).

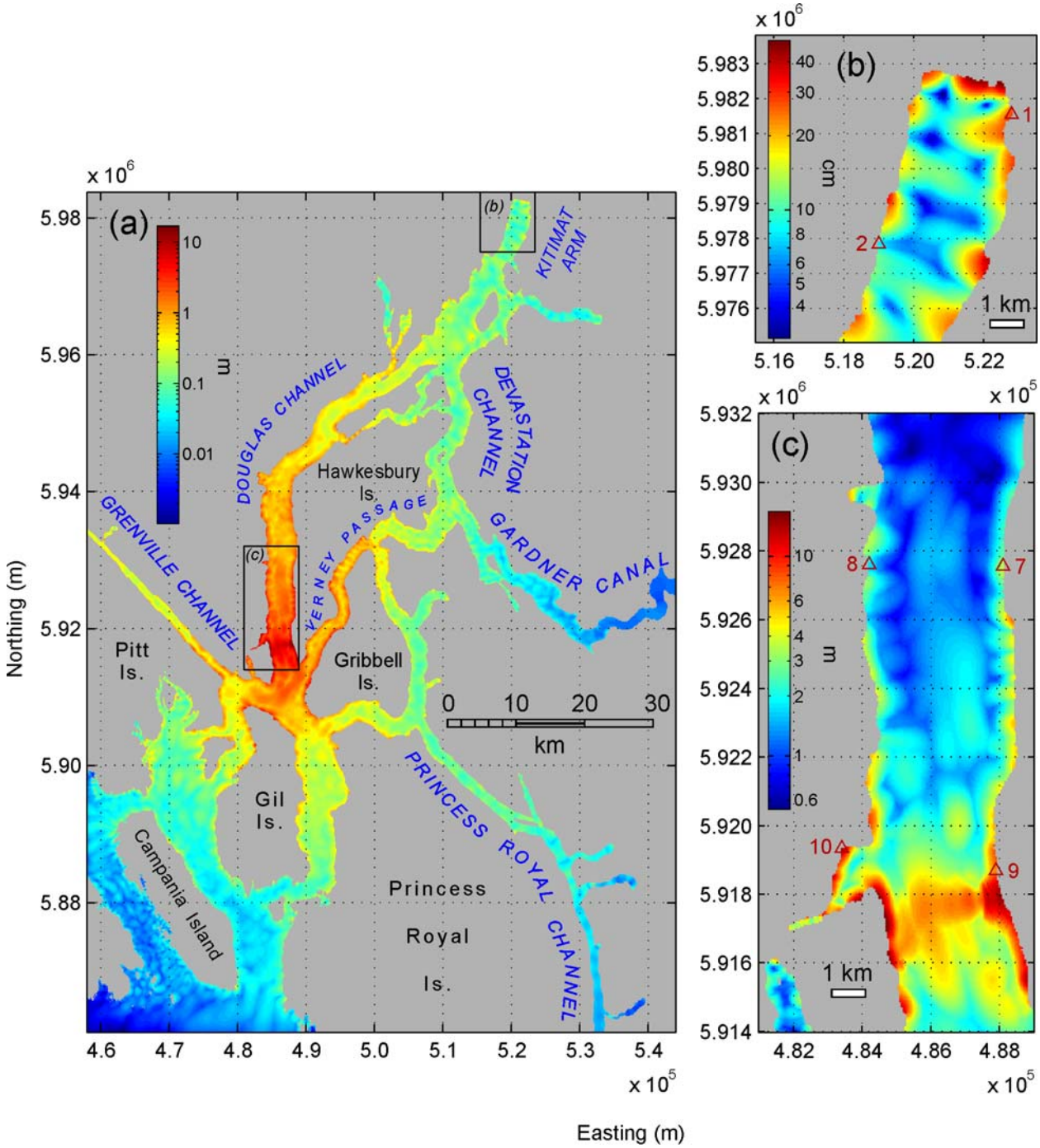

Figure 6 Amplitudes maximales des vagues du tsunami généré par le glissement B. Une version agrandie des régions est présentée en (b) et en (c); voir (a) pour connaître les emplacements. À noter le changement des unités d'amplitude en (b). Tiré de Thomson et coll. (2012).

Dans le passage Verney, et dans d'autres secteurs éloignés des confins de la partie sud du chenal de Douglas, les vagues du tsunami sont beaucoup plus petites. Leur amplitude est généralement de moins de 0,5 mètre. Les premières vagues du tsunami atteignent le bras Kitimat 22 minutes après le début du glissement, tandis que les vagues les plus hautes, dont l'amplitude varie de 0,08 à 0,3 mètre, frappent le même endroit de 45 à 60 minutes après le début de la rupture. Nous constatons que les vagues du tsunami généré par le glissement B qui touchent le bras Kitimat, malgré leur amplitude encore faible, sont quelque peu plus hautes que

celles du tsunami engendré par le glissement A, et ce, en dépit du fait que le glissement B se trouve plus loin dans le sud et génère des vagues moins puissantes dans la région source que le glissement A. Ce paradoxe apparent s'explique par le déplacement plus lent du glissement B, qui fait en sorte qu'il génère plus d'énergie ondulatoire de basse fréquence que le glissement A. En raison de leur distribution et de leur réflexion réduites, les vagues relativement longues et de basse fréquence produites par le glissement B se propagent plus rapidement dans le système complexe de fjords que les vagues relativement courtes et de haute fréquence générées par le glissement A.

Les vagues du tsunami généré par le glissement B dans la région touchée par la rupture s'accompagnent de courants puissants, dont les vitesses maximales sont centrées dans la région d'origine. Étant donné que le glissement B génère des vagues de tsunami moins puissantes que le glissement A, les vitesses du courant dans la région d'origine sont généralement inférieures à celles du courant produit par le glissement A. Dans la baie Hartley, la vitesse du courant atteint 3 mètres par seconde et dépasse les 4 mètres par seconde dans le chenal étroit menant au sud de la baie. Près de la zone de glissement, les vitesses du courant atteignent 2 mètres par seconde. Dans la région d'origine et les caps sélectionnés, les courants peuvent parcourir jusqu'à 6 mètres par seconde.

Pour ce qui est des sites qui se trouvent en dehors du chenal de Douglas et dans les chenaux adjacents, les courants générés par le tsunami sont plutôt faibles. Bien que les courants produits dans le bras Kitimat par le glissement B soient légèrement plus forts que ceux générés par le glissement A, leur vitesse est toujours inférieure à 0,1 mètre par seconde.

Conclusions

Les simulations numériques montrent que les deux glissements sous-marins découverts auraient généré des vagues de tsunami dont l'amplitude pouvait atteindre une crête de 30 à 40 mètres (hauteurs de vague de 60 à 80 mètres), des vitesses de courant allant jusqu'à 15 mètres par seconde (environ 30 nœuds), des longueurs de vagues de l'ordre d'un kilomètre et des périodes allant de quelques dizaines de secondes à plusieurs minutes. Les vagues les plus hautes et les courants les plus puissants se seraient produits le long du rivage opposé et adjacent aux régions touchées par la rupture .

En raison de leur longueur relativement courte et de la complexité du rivage et de la topographie du fond marin du chenal de Douglas, les vagues de tsunami subissent de multiples réflexions et une importante dispersion. Ces effets, combinés au flux d'énergie du tsunami dans les voies navigables et les chenaux adjacents, entraînent une dissipation rapide des vagues en fonction de la distance, au nord et au sud de la région d'origine. Suivant les vitesses de propagation estimées à environ 65 mètres par seconde, il faut approximativement de 10 à 15 minutes aux vagues simulées pour s'éloigner de 40 à 45 kilomètres de l'intersection du chenal de Douglas et du bras Kitimat. L'amplitude maximale des vagues serait alors réduite à moins d'un mètre. Quinze autres minutes se seraient écoulées avant que les vagues n'atteignent la partie nord du bras Kitimat, où leur amplitude serait réduite à quelques dizaines de centimères et la vitesse des courants qui les accompagnent, à moins de quelques centimètres par seconde.

Comme pour les régions où se produisent les tsunamis, les vagues les plus hautes et les courants les plus puissants dans n'importe quelle région de la voie navigable côtière se produiraient près du rivage. Si l'on se fie aux résultats numériques, le chenal de Douglas aurait connu de grandes vagues et de puissants courants, tandis que dans le bras Kitimat, les vagues et les courants auraient eu une force négligeable. Il faudrait procéder à une modélisation supplémentaire pour évaluer les caractéristiques de tsunamis éventuels prenant origine en dehors de la zone où se situent les deux ruptures découvertes.

Collaborateurs

Nom	Affiliation
Vaughn Barrie	Ressources naturelles Canada, région du Pacifique
Bill Crawford	MPO, Secteur des sciences, région du Pacifique
Josef Cherniawsky	MPO, Secteur des sciences, région du Pacifique
Kim Conway	Ressources naturelles Canada, région du Pacifique
Isaac Fine	MPO, Secteur des sciences, région du Pacifique
Dave Jackson	MPO, Secteur des sciences, région du Pacifique
Helen Joseph	MPO, Secteur des sciences, région de la capitale nationale
Maxim Krassovski	MPO, Secteur des sciences, région du Pacifique
Andrew Ross	MPO, Secteur des sciences, région du Pacifique
Richard Thomson	MPO, Secteur des sciences, région du Pacifique
Peter Wills	MPO, Secteur des sciences, région du Pacifique
Marilyn Joyce (rédactrice)	MPO, Secteur des sciences, région du Pacifique

Approuvé par

Laura Richards
Directrice régionale, Secteur des sciences
MPO, Secteur des sciences, région du Pacifique
Nanaimo (Colombie-Britannique)

Références

Conway, K.W.; Barrie, J.V. et R.E. Thomson. 2012. Submarine slope failures and tsunami hazard in coastal British Columbia: Douglas Channel and Kitimat Arm. Commission géologique du Canada, Recherches en cours 2012-10, 13 p., doi:10.4095/291732.

CECPENG. 2012a. https://www.neb-one.gc.ca/ll-eng/livelink.exe/fetch/2000/90464/90552/384192/620327/customview.html?func=ll&objId=620327&objAction=browse&sort=-name. Consulté le 30 octobre 2012 – Vol. 1, B1-2, Demande visant le projet Northern Gateway d'Enbridge déposée en vertu de l'article 52.

CECPENG, 2012b. https://www.neb-one.gc.ca/ll-eng/livelink.exe/fetch/2000/90464/90552/384192/620327/customview.html?func=ll&objId=620327&objAction=browse&sort=-name. Consulté le 30 octobre 2012 – Vol. 8C, B3-37, Demande visant le projet Northern Gateway d'Enbridge déposée en vertu de l'article 52.

CECPENG, 2012c. https://www.neb-one.gc.ca/ll-eng/livelink.exe/fetch/2000/90464/90552/384192/620327/customview.html?func=ll&objId=620327&objAction=browse&sort=-name. Consulté le 30 octobre 2012 – Volume B9-42, Projet Northern Gateway d'Enbridge.

Roddick, J.A. (compilateur), 1970. Douglas Channel et Hecate Strait; Commission géologique du Canada, Carte 23-970 (Document 70-41), 1:250 000.

Thomson, R.; Fine, I.; Krassovski, M.; Cherniawsky, J.; Conway, K. et P. Wills. 2012. Numerical simulation of tsunamis generated by submarine slope failures in Douglas Channel, British Columbia. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. de rech. 2012/115.

Le présent rapport est disponible auprès du :

Centre des avis scientifiques de la région du Pacifique
Pêches et Océans Canada
3190, chemin Hammond Bay
Nanaimo (Colombie-Britannique)
V9T 6N7

Téléphone : 250-756-7208
Courriel : CSAP@dfo-mpo.gc.ca
Adresse Internet : www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs

ISSN 1919-3793 (Imprimé)
ISSN 1919-3815 (En ligne)
© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2012

An English version is available upon request at the above address.

La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2012. Modélisation des tsunamis associés aux récentes ruptures de talus dans le chenal de Douglas. Secr. can. de consult. sci. de MPO. Rép. des Sci. 2012/037.