



APPLICATION DE SYSTÈMES DE PRÉVISION HYDRODYNAMIQUE A HAUTE RÉOLUTION POUR LA PRÉVISION DES CONDITIONS OCÉANIQUES DANS DES PORTS DU CANADA ET LEURS APPROCHES

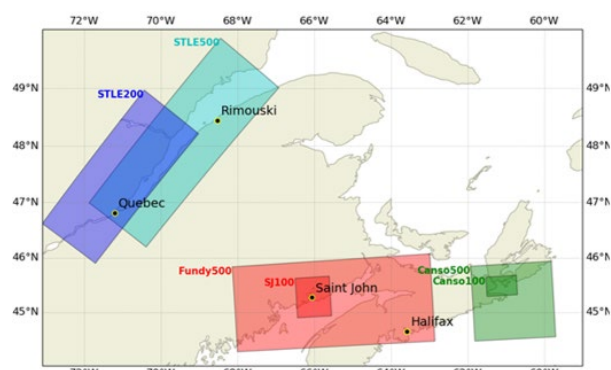
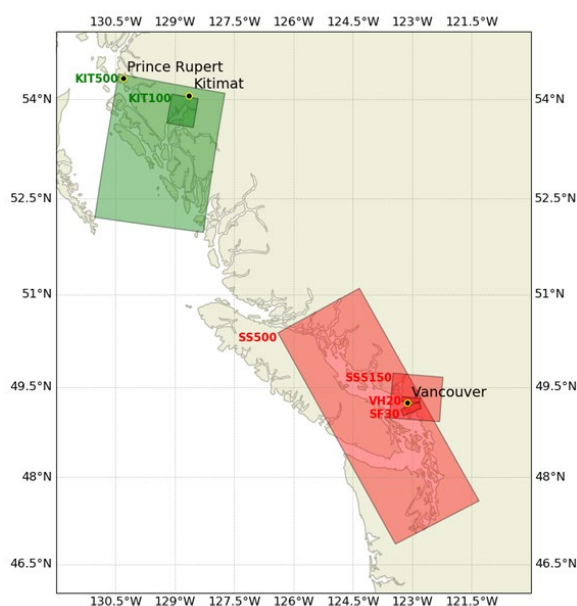


Figure 1. Domaines imbriqués des Systèmes de prévision océanique portuaire sur les côtes ouest et est du Canada.

CONTEXTE

La sous-initiative « Améliorer la prévision de la dérive et la modélisation côtière » du Plan de protection des océans (PPO) vise à améliorer les activités de modélisation des océans du gouvernement du Canada. Dans le cadre de cette sous-initiative, le Programme des sciences océaniques a mis au point six systèmes de prévision océanique portuaire (SPOP) à haute résolution, destinés à la prévision des courants, des niveaux d'eau et des propriétés de l'eau dans des ports déterminés et leurs approches sur les côtes est et ouest du Canada : le fjord de Kitimat (Colombie-Britannique); le port de Vancouver, y compris le havre de Vancouver et le cours inférieur du fleuve Fraser (Colombie-Britannique); le port du détroit de Canso (Nouvelle-Écosse); le port de Saint John (Nouveau-Brunswick); le fleuve Saint-Laurent (Québec), de l'estuaire maritime du Saint-Laurent, à Pointe-des-Monts, jusqu'à Trois-Rivières en amont, incluant le fjord du Saguenay.

Chaque SPOP comprend un modèle océanique hydrodynamique propre à un domaine géographique, ainsi que le système connexe utilisé pour exécuter le modèle en mode prévision

et pour connecter et séquencer automatiquement les données d'entrée et les dépendances. Les données de sortie des SPOP sont conçues pour appuyer la prestation de services opérationnels : la navigation électronique dynamique du Service hydrographique du Canada (SHC) et les interventions d'urgence d'Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) en cas de catastrophes environnementales ou maritimes (p. ex. déversements de pétrole).

Pour que le SHC et ECCC envisagent d'utiliser les SPOP et leurs données de sortie, le Programme des sciences océaniques a sollicité un avis examiné par des pairs sur leur validité scientifique, stabilité et robustesse dans les conditions environnementales rencontrées pendant la période d'essai, ainsi que sur leur adéquation aux applications aux clients proposées.

Le présent avis scientifique découle de l'examen par les pairs nationale tenue du 14 au 16 mars et du 21 au 23 mars 2023 portant sur l'application de systèmes de prévision hydrodynamique à haute résolution pour la prévision des conditions océaniques dans les ports et les approches du Canada. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le [calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada \(MPO\)](#).

SOMMAIRE

- Des systèmes de prévision océanique portuaire (SPOP) ont été mis au point pour six ports hautement prioritaires au Canada (havre de Vancouver, fleuve Fraser, Kitimat, havre de Saint John, estuaire du Saint-Laurent et détroit de Canso) afin d'appuyer la navigation électronique dynamique et les interventions en cas d'urgence maritime.
- Les configurations des SPOP sont basées sur une configuration technique de base commune. La conception et la configuration de chaque SPOP ont été examinées et généralement jugées appropriées aux fins prévues, dans les limites indiquées ci-dessous.
- La capacité des six SPOP à reproduire les conditions réelles a été évaluée par rapport aux données d'observation disponibles. Les SPOP ont démontré généralement une capacité de prévision des niveaux d'eau, des courants et des propriétés de l'eau à une échelle qui n'existe pas dans les modèles opérationnels actuels. Les modèles ont fourni une couverture pour certaines régions qui ne sont pas couvertes par les Systèmes de prévision côtiers océan-glace (SPCOG) actuels. De plus, leurs résultats concordaient généralement avec ceux des SPCOG, ou les surpassaient, pour la plupart des comparaisons par rapport aux observations prises en compte pour les zones de chevauchement entre les modèles.
- Les statistiques comparatives du niveau d'eau de marée et du niveau d'eau total sont généralement améliorées par rapport à celles des SPCOG aux stations de mesure du niveau d'eau, et la performance à l'extérieur des zones couvertes par les SPCOG est semblable à celle où la comparaison avec le modèle d'origine est possible. La performance quant au niveau d'eau sans marée est comparable à celle des SPCOG.
- Les ondes de tempête ont été évaluées en utilisant des périodes limitées couvrant des événements de tempête importants dans chaque domaine des SPOP, et les signaux d'onde sont clairement visibles dans les SPCOG et les SPOP. Les statistiques comparatives des ondes de tempête dans les SPOP correspondent généralement à celles des SPCOG ou sont meilleures.
- Les statistiques comparatives pour les courants sont généralement améliorées avec l'augmentation de la résolution des modèles, en particulier lorsqu'un débit autour d'une topographie complexe est présent et représenté précisément. En général, dans les SPOP,

on constate une plus grande amélioration pour les courants de marée que pour les courants indépendants des marées.

- Le cycle saisonnier de la température à la surface de la mer est bien saisi par les modèles à haute résolution (SPOP) avec de petits biais qui correspondent à ceux des modèles à plus grande échelle ou les surpassent. Les données sur les trajectoires des traversiers montrent généralement une performance égale ou supérieure dans les SPOP par rapport aux SPCOG. Les biais régionaux de température et de salinité sont généralement réduits, et les SPOP reproduisent habilement les changements dans ces propriétés de l'eau, à quelques exceptions près.
- Les courants fournis par les SPOP donnent des prédictions légèrement améliorées, ou équivalentes, des trajectoires des dériveurs. L'exactitude des prévisions de trajectoire peut être limitée par la précision des prévisions de vent disponibles ou les limites du modèle de trajectoire lui-même.
- Les simulations des modèles de SPOP étaient stables pour des périodes rétrospectives de cinq à six ans, qui comprenaient des événements extrêmes dans plusieurs domaines. Des mécanismes de substitution pour les données d'entrée d'observation manquantes sont utilisés, le cas échéant.
- L'évaluation des prévisions était axée sur la mesure de la dégradation de la performance des modèles en fonction de l'échéance de l'heure de la prévision. Il n'a pas été établi que la capacité des modèles se dégradait considérablement au cours des prévisions de 48 heures, car les tendances de croissance des erreurs pour le niveau de l'eau et la température à la surface de la mer étaient généralement faibles.
- Il est reconnu que les SPOP comportent les limites ci-dessous.
 - L'exactitude des modèles est influencée par les limites de leurs données d'entrée.
 - Les évaluations quantitatives de la capacité se limitent aux régions des domaines des SPOP où des observations sont disponibles. Les données d'observation sont concentrées sur le domaine de l'arrière-port et sont généralement plus rares dans le domaine à résolution plus faible de l'avant-port. Les données sur les courants sont également plus limitées que les données sur les propriétés et le niveau de l'eau.
 - La version du modèle océanique utilisée dans tous les SPOP ne représente pas correctement les zones intertidales et, par conséquent, les résultats du modèle ne sont pas considérés comme utilisables dans ces zones.
 - Les biais de température et de salinité observés à des endroits précis pourraient entraîner des erreurs liées aux courants de surface qui ne pourraient pas être évalués avec les données disponibles.
 - Les SPOP ne sont pas couplés à un modèle complet des glaces, ce qui pourrait avoir une incidence sur les courants de surface et éventuellement d'autres variables pour les régions où il y a couverture de glace.
 - Les systèmes portuaires comprennent des caractéristiques propres à la région qui sont sous-représentées et/ou non reproduites dans les modèles et ils peuvent comprendre des parties du domaine qui ne sont pas fiables.

RENSEIGNEMENTS DE BASE

Au cours de la dernière décennie, le gouvernement du Canada a déployé d'importants efforts, notamment dans le cadre de la collaboration interministérielle du Réseau opérationnel canadien de systèmes couplés de prévision environnementale (CONCEPTS), pour élaborer des

systèmes couplés océan et glace de mer fondés sur les modèles NEMO (Nucleus of European Modelling of the Ocean) pour la prévision opérationnelle des océans et des glaces de mer à l'échelle mondiale ou régionale. Deux systèmes de prévision côtiers océan-glace pour les côtes est et ouest du Canada (respectivement SPCOG-E et SPCOG-O) ont été élaborés et mis en œuvre pour les prévisions à court terme (48 h) au Centre de prévision météorologique et environnementale du Canada (CPMEC) d'ECCC depuis le 1^{er} décembre 2021. Ces systèmes côtiers sont reliés à l'aide d'une approche d'imbrication unidirectionnelle au système de prévision régional océan-glace, opérationnel à plus grande échelle, formant l'épine dorsale pour la réduction de la résolution aux zones littorales.

Dans le cadre de la sous-initiative « Améliorer la prévision de la dérive et la modélisation côtière » du Plan de protection des océans (PPO), on a mis au point des SPOP à haute résolution destinés à la prévision des courants, des niveaux d'eau et des propriétés de l'eau dans six ports et approches sur les côtes est et ouest du Canada, à savoir le fjord Kitimat, le havre de Vancouver, le cours inférieur du fleuve Fraser, le port de Saint John, le port du détroit de Canso et l'estuaire du fleuve Saint-Laurent, dans le but d'appuyer la navigation électronique dynamique et les interventions en cas d'urgence maritime. Les SPOP sont pilotés par et s'appuient sur des modèles opérationnels existants. Ils reposent sur la configuration technique ci-dessous.

- Chaque SPOP utilise la base de code NEMO CONCEPTS (une version personnalisée de NEMO 3.6 qui est utilisée dans les opérations à ECCC et donc choisie pour faciliter la collaboration entre le MPO et ECCC) comme base de modèle hydrodynamique fonctionnant sur des grilles horizontales structurées avec une résolution horizontale de 500 m à sa plus faible résolution et de 20 m à sa plus fine, selon le port (figure 1). Les SPOP sont configurés avec deux niveaux d'imbrication unidirectionnelle hors ligne pour réduire l'échelle à partir du modèle d'origine. Les conditions aux limites ouvertes des grilles le plus à l'extérieur sont déterminées à l'aide des systèmes opérationnels SPCOG-E et SPCOG-O d'ECCC (version 2), le SPCOG-O incluant déjà un sous-domaine de 500 m pour la mer des Salish (MS500; figure 1). Les modèles sont exécutés sans employer d'assimilation de données ou de technique de rappel (« nudging »).
- Les apports d'eau douce des cours d'eau sont inclus en utilisant des données de jaugeage en temps réel lorsqu'elles sont disponibles, ou des climatologies dans le cas contraire. Des mécanismes de substitution pour toutes les données de jaugeages en temps réel ont été mis en œuvre afin d'atténuer le scénario de données manquantes ou erronées, de sorte que le SPOP continue de fonctionner en mode dégradé de manière contrôlée dans ces scénarios.
- Le forçage atmosphérique est fourni par le Système à haute résolution de prévision déterministe (SHRPD) d'ECCC, qui a une résolution horizontale de 2,5 km.
- Pour le SPOP du fleuve Saint-Laurent, la glace de mer est traitée dans NEMO au moyen d'un paramétrage simple (lorsque le point de congélation local est atteint, la température et le flux thermique sont forcés) plutôt que par un modèle dynamique des glaces.
- Les six SPOP sont exécutés au MPO dans un cadre d'environnement normalisé et automatisé (suite régie par le séquenceur Maestro élaboré au CPMEC d'ECCC) afin de produire une journée de pseudo-analyse et quatre prévisions de 48 heures (mode en temps réel) sur une base quotidienne régulière. La suite d'automatisation est également utilisée pour exécuter les SPOP en mode rétrospectif, après ajustement principalement dans le traitement des différentes sources de données de forçage. Cette approche uniforme et

unifiée pour la mise au point et l'exécution de tous les SPOP est semblable à celle utilisée dans le cadre des opérations du CPMEC d'ECCC, et elle est essentielle pour faciliter le transfert technologique et la portabilité des systèmes de prévision aux opérations et en fin de compte, leur maintenance.

ÉVALUATION

Méthodologie d'évaluation

Pour chaque SPOP, la performance du modèle a été évaluée au moyen d'une analyse rétrospective de cinq ou six ans (2016 ou 2017 à 2021) et d'un ensemble de prévisions de 48 heures pendant une période de deux mois (hiver 2021-2022). Tous les systèmes étaient stables au cours de la longue période rétrospective, qui échantillonne des événements extrêmes. On a comparé les projections rétrospectives des SPOP à une variété d'observations de façon systématique au moyen d'un ensemble d'analyses interne. Les résultats (statistiques comparatives par rapport aux observations) ont également été systématiquement comparés aux résultats obtenus avec les modèles d'origine du SPCOG-E et du SPCOG-O dans les zones de chevauchement entre les modèles. Tous les types ou toutes les sources d'observations n'étaient pas disponibles pour tous les ports, mais l'évaluation a été effectuée avec la plus vaste gamme possible d'observations pour chaque port afin de s'assurer qu'elle était aussi complète que possible. Ces sources d'observations comprennent ce qui suit, sans toutefois s'y limiter.

- Niveau d'eau provenant des marégraphes et des stations d'analyse harmonique.
- Température à la surface de la mer provenant des bouées météorologiques ancrées.
- Température et salinité provenant des profils verticaux de la conductivité, température et profondeur (sonde CTD), des sondes CTD ancrées et des thermosalinographes des traversiers.
- Courants provenant des profileurs de courant à effet Doppler (ADCP) ancrés, flottants, remorqués et montés horizontalement et des courantomètres.
- Divers types de dériveurs.

Les données de modèle ont été extraites pour correspondre à l'étendue temporelle et spatiale des observations, et toute autre manipulation (p. ex. analyse des marées) a été effectuée de façon uniforme sur les résultats de modèle et les observations. Des statistiques comparatives ont été calculées par observation et, lorsque c'était utile, agrégées pour fournir une évaluation succincte de la capacité du modèle. Il s'agit notamment de statistiques de base, comme les biais et les erreurs (erreur quadratique moyenne centrée [EQMC]), ainsi que de quantités plus spécialisées. L'évaluation s'est faite en grande partie à intervalles annuels, et les résultats ont été déclarés pour toutes les années où des observations sont disponibles. On a évalué les ondes de tempête en sélectionnant un ensemble des plus grandes tempêtes qui passaient près ou à travers le domaine des SPOP et en évaluant le niveau d'eau sans marée lors de ces courts intervalles. Les analyses de dérive se sont appuyées sur les sorties de simulations de trajectoires lagrangiennes intégrant l'effet du vent et les paramètres de vagues, sans toutefois être spécifiquement conçues pour les zones côtières.

En se basant sur les prévisions de deux mois exécutées pour chaque SPOP, on a analysé des ensembles de prévisions de 48 heures à partir d'un temps nominal de 0 h 00 UTC en tant que fonction du délai d'exécution (c.-à-d. le temps écoulé depuis le début de la période de prévision de 48 heures). La performance des prévisions a été évaluée en fonction de l'écart (biais et

EQMC) entre les valeurs du modèle et les valeurs observées disponibles (marégraphe, température à la surface de la mer et enregistrements des ADCP horizontaux). Les courbes de croissance des erreurs représentent l'écart calculé en moyenne sur l'ensemble des prévisions évaluées.

Les SPOP ont aussi fonctionné en mode de démonstration de type 'meilleur effort' durant une année pour valider la fiabilité du système d'automatisation et des procédures logistiques associées dans un cadre opérationnel.

Résultats propres aux ports

La section Sommaire ci-dessus fournit une évaluation générale des six SPOP. Des résultats supplémentaires propres à chaque port sont décrits dans les sections ci-dessous.

Havre Saint John

L'océanographie de la baie de Fundy et du port de Saint John est dominée par d'importantes marées diurnes, et les principales observations utilisées pour évaluer les systèmes sont présentées à la figure 2. La rivière Saint-Jean est explicitement incluse dans les deux domaines du modèle océanique (Fundy500 pour la grille de 500 m de la baie de Fundy et SJ100 pour la grille de 100 m du port de Saint John). Cela mène à une amélioration importante des résultats pour les courants près de la surface dans le havre Saint John par rapport au SPCOG-E, qui utilise un ruissellement climatologique pour tenir compte de la rivière Saint-Jean. L'amélioration des courants dans le SJ100 par rapport au SPCOG-E est la plus marquée pour la circulation indépendante des marées, bien que les composantes avec marée et totale soient également améliorées de façon constante. La température de l'eau présente un léger biais chaud, qui dans certaines régions est un peu plus important que le biais du SPCOG-E. Toutefois, les biais de salinité sont constamment réduits à la fois dans le Fundy500 et le SJ100.

Le système de modèle portuaire du Fundy500 et du SJ100 constitue une amélioration par rapport au SPCOG-E existant avec une meilleure représentation des niveaux d'eau, des courants près de la surface et de la variabilité du panache fluvial. Le SJ100 est le plus habile des trois domaines pour reproduire les niveaux d'eau, les courants et les propriétés de l'eau, et il comporte la représentation la plus exacte du panache de la rivière Saint-Jean parmi les trois domaines examinés. Étant donné que la base de code du NEMO 3.6 ne comprend pas de schéma d'assèchement-mouillage, les vastes plaines intertidales dans la partie supérieure de la baie de Fundy ne sont pas bien représentées dans le Fundy500, et il faut faire attention lorsqu'on envisage des applications près de ces zones. Le réseau fluvial est inclus dans le Fundy500 et le SJ100 principalement pour faciliter un débit sortant adéquat, mais les détails de la circulation dans la rivière ne sont pas bien validés en raison du manque de données et de la profondeur minimale d'eau imposée.

Détroit de Canso

La bathymétrie et les limites des domaines du modèle océanique pour la grille de 500 m (STC500) et la grille de 100 m (STC100) du SPOP du détroit de Canso sont indiquées à la figure 3. L'erreur (EQMC) de niveau d'eau du STC100 est de 10 à 20 % plus faible que celle du STC500 ou du SPCOG-E pour les niveaux d'eau avec marée et sans marée. Il n'y a pas eu d'amélioration de la performance du SPOP par rapport à celle du SPCOG-E pour le niveau d'eau des ondes de tempête. Les statistiques comparatives sur les courants sont améliorées grâce à l'augmentation de la résolution du modèle dans les sites côtiers, en particulier là où il y a un guidage topographique. Le SPOP n'a montré aucune amélioration par rapport au SPCOG-E pour les courants sur le plateau ouvert. Le STC500 n'a pas montré d'amélioration statistiquement significative par rapport à la performance du SPCOG-E pour les trajectoires de

Région de la capitale nationale

dérive. La dérive n'a pas été évaluée pour la grille de 100 m la plus fine, puisqu'aucun dériveur n'était disponible dans le domaine du STC100. Le SPOP du détroit de Canso améliore la représentation de la salinité en profondeur, là où la topographie est probablement déterminante. Le SPOP n'est pas meilleur que le SPCOG-E pour la salinité de surface ou la température. L'intrusion ou le renouvellement en eau profonde au-dessus du seuil du détroit de Canso est raisonnablement représenté dans le modèle ayant la plus haute résolution, alors que cette caractéristique n'est pas résolue par le SPCOG-E. Pour certaines tempêtes dans le détroit de Canso, une seiche non résolue à toutes les résolutions du modèle contribue à l'erreur de niveau d'eau.

Estuaire du Saint-Laurent

La bathymétrie et les limites des domaines du modèle océanique pour la grille de 500 m (STLE500) et la grille de 200 m (STLE200) du SPOP de l'estuaire du Saint-Laurent, ainsi que les principales observations utilisées pour valider les systèmes, sont présentées à la figure 4. En ce qui concerne l'évaluation des niveaux d'eau et des ondes de tempête, toutes les statistiques comparatives sont généralement améliorées par une résolution accrue du modèle (de SPCOG-E à STLE500 à STLE200). Cette amélioration est plus importante dans la région de Québec pour le STLE200 puisque la frontière ouest est repoussée d'environ 130 km, ce qui améliore les marées et le niveau moyen de la mer dans cette région. Les courants de surface près de Québec sont également améliorés par une résolution accrue. L'inclusion du fjord du Saguenay dans le STLE200 semble également améliorer les courants de surface à la tête du chenal Laurentien. Les masses d'eau sont considérablement améliorées pour le SPOP par rapport au SPCOG-E dans l'estuaire moyen : le biais de salinité près de la surface dans l'estuaire moyen est de l'ordre de -12 PSU pour SPCOG-E, comparativement à moins de 1 PSU pour le SPOP. Les trajectoires de dérive sont considérablement améliorées dans la partie supérieure de l'estuaire moyen pour le SPOP par rapport au SPCOG-E. Aucun réglage du frottement sur le fond n'a été effectué dans le fjord du Saguenay, contrairement au reste du domaine de 200 m. Par conséquent, l'erreur de marée est plus élevée dans cette région que dans les régions avoisinantes. Enfin, aucun modèle complet des glaces n'est couplé au modèle NEMO. Cette lacune concernant les courants de surface a possiblement plus d'importance pour l'estuaire fluvial et le fjord du Saguenay de janvier à mars, la glace étant principalement mobile pour le reste de la zone.

Fleuve Fraser

Le SPOP du fleuve Fraser (figure 5) modélise le bras sud du cours inférieur du fleuve Fraser jusqu'au pont de Port Mann à une résolution considérablement plus élevée que celle du modèle d'origine. Il modélise également le fleuve jusqu'à Mission et jusqu'au lac Pitt, couvrant une zone non représentée dans le modèle d'origine. L'erreur (EQMC) du niveau d'eau total dans le SPOP est un peu plus faible que dans le modèle parent près de l'embouchure du Fraser. Les améliorations du SPOP par rapport au modèle parent sont plus marquées à mesure que l'on remonte le fleuve en raison d'une meilleure représentation du niveau de l'eau de crue dans le SPOP. La vitesse du courant dans le fleuve est bien captée à l'emplacement d'un ADCP horizontal dans le domaine de 30 m du sud du fleuve Fraser (SF30). La performance en matière de température et de salinité est généralement comparable à celle du modèle parent, avec une certaine amélioration pour la salinité de surface près du terminal de Tsawwassen. La performance en matière de dérive est considérablement améliorée dans les modèles à haute résolution par rapport au modèle parent de 500 m de la mer des Salish (SS500). Des régressions mineures de la performance quant au niveau d'eau dans la partie en amont du modèle de 30 m par rapport au modèle de 150 m du sud de la mer des Salish (SSS150) sont considérées comme un compromis acceptable pour le modèle à haute résolution qui représente

mieux les vitesses fluviales. Il se peut que la circulation autour des vasières (parties des bancs Sturgeon et Roberts et plusieurs endroits dans la rivière) ne soit pas bien représentée en raison du manque de capacité du modèle quant au mouillage et à l'assèchement.

Havre de Vancouver

Le SPOP du havre de Vancouver (figure 6) modélise l'inlet Burrard, une zone non représentée par le modèle d'origine de 500 m de la mer des Salish. Dans les zones couvertes par les modèles d'origine et le SPOP (à l'ouest du passage First), les statistiques comparatives montrent que l'erreur (EQMC) du niveau d'eau total est environ 30 % inférieure dans le SPOP, et que le niveau d'erreur absolue est en grande partie maintenu à l'intérieur de l'inlet. La performance du niveau d'eau sans marée et lors d'un onde de tempête est semblable à celle du modèle d'origine. Les courants, en particulier ceux aux passages First et Second, sont à peine représentés dans le modèle de l'avant-port (SSS150) et le sont nettement mieux dans le modèle à plus haute résolution de l'arrière du havre de Vancouver (VH20). Les modèles à haute résolution égalent ou surpassent les modèles à plus grande échelle en représentant la distribution verticale de la température et de la salinité. L'évaluation préliminaire de la dérive indique que le VH20 surpasse légèrement le SSS150. La circulation autour des zones intertidales (comme près de Maplewood Flats) peut ne pas être bien représentée en raison de l'absence de schéma d'assèchement-mouillage dans la version actuelle du modèle.

Kitimat

Dans le SPOP de Kitimat (figure 7), la représentation des niveaux d'eau à Kitimat est améliorée d'environ 30 % (EQMC) par rapport au SPCOG-O, principalement grâce à l'amélioration du niveau d'eau avec marée. Les ondes de tempête, qui sont susceptibles d'être forcées à distance, étaient bien représentées dans le SPOP et le SPCOG-O. La représentation des courants s'améliore avec la résolution du modèle, surtout à moins de 100 m de la surface de l'océan. Dans le port et les approches, les courants de marée sont bien représentés. Les principales caractéristiques du débit sans marée sont saisies qualitativement, mais pas toujours quantitativement. Les températures et les salinités modélisées sont également améliorées, en particulier à moins de 100 m de la surface de l'océan. La couche de surface à faible salinité présente dans tout le système du fjord est bien représentée. En profondeur, un léger biais vers une salinité supérieure est présent dans les solutions du modèle. Dans des conditions sans tempête, les trajectoires de dérive modélisées dans le port se sont révélées plus précises lorsque l'on a utilisé des courants à partir des modèles à haute résolution.

La route hautement fréquentée par des traversiers dans les chenaux Princess Royal et Grenville n'est que peu résolue dans le SPOP. Les résultats obtenus dans cette région doivent être interprétés avec une prudence appropriée. De même, le modèle a été ajusté pour assurer une performance optimale à Kitimat. La performance du modèle n'est pas aussi bonne près des limites; par conséquent, les résultats du modèle ne devraient pas servir à fournir des avis à proximité de Prince Rupert et de Klemtu.

Sources d'incertitude

Les modèles de circulation évalués ici visent à reproduire et à prévoir le mieux possible les conditions océaniques réelles, mais, comme tous les modèles numériques océaniques, la précision est limitée par la résolution de la grille du modèle, la représentation des processus physiques mis en œuvre dans le modèle, ainsi que l'exactitude et la résolution des données d'entrée. En particulier, ces modèles ne représentent pas bien les zones intertidales en raison de l'absence d'un schéma de mouillage et d'assèchement dans la version 3.6 de NEMO, et n'utilisent pas un modèle dynamique complet des glaces qui pourrait avoir une incidence sur les

résultats dans les régions où des glaces se forment. De plus, la faible résolution du produit atmosphérique disponible pour alimenter ces modèles peut mener à une mauvaise performance dans les zones où la topographie crée des effets de canalisation, comme dans les fjords.

L'évaluation quantitative des modèles a été effectuée à partir des données disponibles, qui ne sont pas uniformes selon les variables, le temps ou l'étendue spatiale. En général, les données disponibles sont rares et insuffisantes pour évaluer la représentation des échelles spatiales résolues dans les modèles. L'évaluation est limitée à la gamme de conditions échantillonnées par des observations au cours de la période rétrospective. Il se peut donc qu'elle ne tienne pas compte des événements extrêmes, et on s'attend à ce qu'elle sous-estime les conditions météorologiques défavorables qui empêchent les travaux sur le terrain à partir de navires ou causent des défaillances des instruments ou des communications pour les systèmes à terre. L'évaluation de la dérive est limitée à la fois par le manque de trajectoires de dérive et par une incertitude considérable quant à l'application appropriée des contributions de la dérive due au vent et des vagues aux simulations de dérive dans les zones côtières et pour les modèles à haute résolution.

La variabilité intrinsèque de chaque système et la contribution relative de cette variabilité non contrainte à l'erreur totale n'ont pas été caractérisées.

CONCLUSIONS

En collaboration avec ECCC, par l'entremise du CONCEPTS, le MPO a mis au point des SPOP à haute résolution pour la prévision de 48 heures des niveaux d'eau, des courants et des propriétés de l'eau dans six ports et approches hautement prioritaires à travers le Canada : le fjord de Kitimat, le havre de Vancouver, le cours inférieur du fleuve Fraser, le port de Saint John, le port du détroit de Canso et l'estuaire du fleuve Saint-Laurent. Ces SPOP sont conçus pour fonctionner quotidiennement dans un cadre d'environnement automatisé, semblable à celui utilisé dans les opérations à ECCC, et ils sont forcés par le modèle océanique opérationnel du SPCOG (conditions océaniques aux limites ouvertes) et le modèle atmosphérique du SHRPD (forçage de surface), ainsi que des observations en temps réel du ruissellement (ou une climatologie lorsque les observations ne sont pas disponibles).

Au cours de cette réunion de consultation scientifique, chaque SPOP a été évalué par l'analyse d'une simulation rétrospective de longue durée (cinq ou six ans), qui échantillonne certains événements extrêmes, et un ensemble de prévisions de 48 heures. Tous les systèmes démontrent leur stabilité et leur robustesse dans les conditions environnementales rencontrées pendant la période d'essai, tant en mode rétrospectif qu'en mode prévisionnel (aucune dégradation importante de la capacité du modèle en fonction de l'échéance des prévisions). D'après les statistiques comparatives par rapport aux observations disponibles, les SPOP montrent généralement qu'ils sont capables de prédire le niveau d'eau avec marée et le niveau d'eau total (y compris les ondes de tempête), les courants de surface et les dérives, ainsi que les propriétés de l'eau à une échelle qui n'existe pas dans les modèles océaniques opérationnels actuels. Ils concordaient généralement avec les modèles d'origine des SPCOG, ou les surpassaient, dans les zones où les modèles se chevauchaient.

Tous les SPOP ont été jugés généralement convenables pour soutenir des applications de navigation électronique dynamique et les interventions en cas d'urgence maritime, sous réserve des exigences d'applications particulières. La réunion a également permis de cerner et de reconnaître certaines limites actuelles des systèmes portuaires. En particulier, les SPOP ne devraient pas être utilisés à des fins de navigation dans les zones intertidales, et les domaines

de SPOP comprennent des caractéristiques régionales qui sont sous-modélisées ou non reproduites (comme les glaces de mer) dans les modèles.

LISTE DES PARTICIPANTS DE LA RÉUNION

Nom	Organisation/affiliation
Hossein Babaei	ECCC – Section des urgences – science et technologie
Natacha Bernier	ECCC – Centre de prévision météorologique et environnementale du Canada (fonctionnel) Organisation météorologique mondiale (en affectation)
Hauke Blanken	MPO – Programme des sciences océaniques, région du Pacifique
Corinne Bourgault-Brunelle	MPO – Programme des sciences océaniques, région de la capitale nationale
Joël Chassé	MPO – Programme des sciences océaniques, région du Golfe
Ian Church	Université du Nouveau-Brunswick (Nouveau-Brunswick, Canada)
Michael Dunphy	MPO – Programme des sciences océaniques, région du Pacifique
Frédéric Dupont	ECCC – Centre de prévision météorologique et environnementale du Canada
Isabelle Gaboury	MPO – Programme des sciences océaniques, région de la capitale nationale
David Greenberg	MPO – Programme des sciences océaniques, région des Maritimes
Rachel Horwitz	MPO – Programme des sciences océaniques, région des Maritimes
Kim Houston	MPO – Programme des sciences océaniques, région du Pacifique
Jennifer Jackson	MPO – Programme des sciences océaniques, région du Pacifique
Christopher Jones	UK Hydrographic Office (Royaume-Uni)
Maxim Krassovski	MPO – Programme des sciences océaniques, région du Pacifique
Yvonnick Le Clainche	MPO – Programme des sciences océaniques, région de la capitale nationale
Denis Lefaivre	MPO – Programme des sciences océaniques, région du Québec
Ji Lei	MPO – Service hydrographique du Canada
Youyu Lu	MPO – Programme des sciences océaniques, région des Maritimes
Phil MacAulay	MPO – Service hydrographique du Canada
Sarah MacDermid	MPO – Programme des sciences océaniques, région des Maritimes
Gilles Mercier	MPO – Service hydrographique du Canada
Patricia Pernica	MPO – Programme des sciences océaniques, région de la capitale nationale
Shiliang (Dan) Shan	Collège militaire royal (Ontario, Canada)
Greg Smith	ECCC – Centre de prévision météorologique et environnementale du Canada
Nancy Soontiens	MPO – Programme des sciences océaniques, région de Terre-Neuve-et-Labrador

**Application de systèmes de prévision océanique
dans des ports du Canada et leurs approches**

Région de la capitale nationale

Nom	Organisation/affiliation
Simon St-Onge Drouin	MPO – Programme des sciences océaniques, région du Québec
Peter Stone	National Oceanic and Atmospheric Administration (États-Unis)
Stephanne Taylor	MPO – Programme des sciences océaniques, région des Maritimes
Alex Tuen	MPO – Secrétariat canadien des avis scientifiques, région de la capitale nationale

ANNEXE—FIGURES

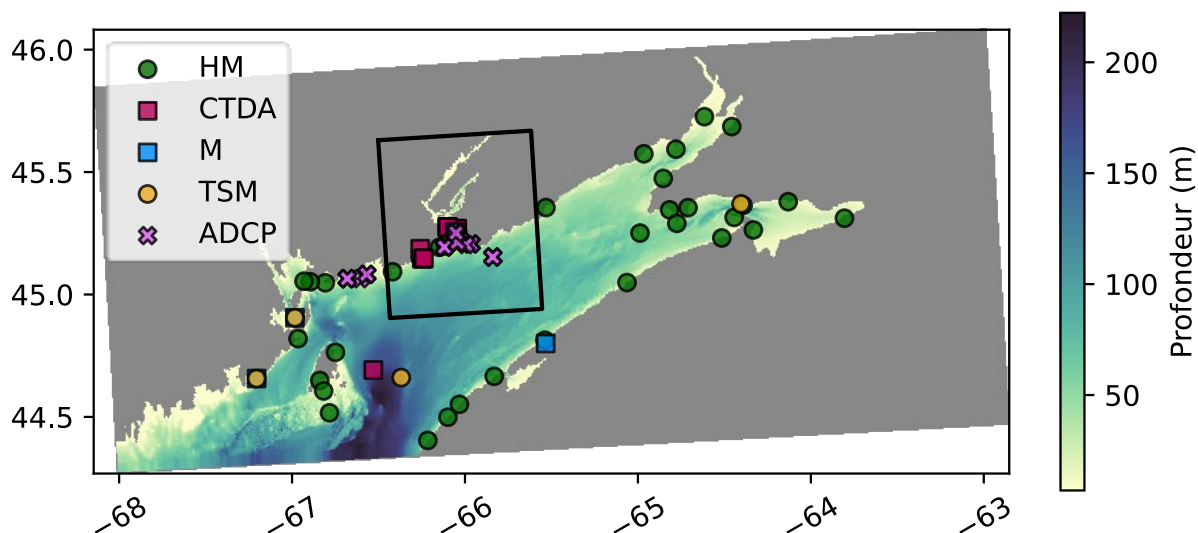


Figure 2. Domaine du modèle océanique et bathymétrie pour la grille de 500 m de la baie de Fundy (Fundy500), avec indication des emplacements des principales observations (MH pour les marégraphes historiques; CTDA pour les sondes de conductivité, température et profondeur ancrées; M pour les marégraphes; TSM pour les capteurs de température à la surface de la mer; ADCP pour les observations du profileur de courant à effet Doppler). L'encadré en noir indique l'étendue du domaine du modèle océanique pour la grille de 100 m du port de Saint John (SJ100).

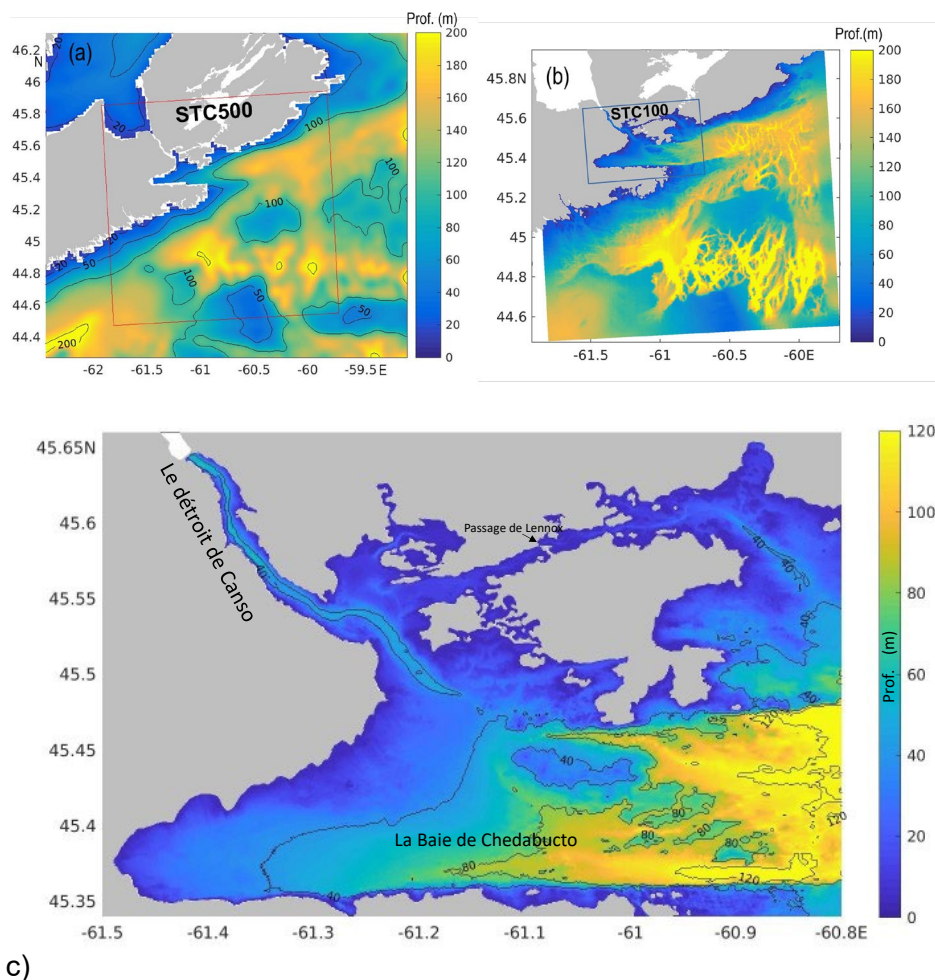


Figure 3. a) Bathymétrie du SPCOG-E avec délimitation du domaine du modèle océanique (ligne rouge) pour la grille de 500 m du détroit de Canso (STC500); b) bathymétrie du STC500 avec délimitation du domaine du modèle océanique (ligne bleue) pour la grille de 100 m du détroit de Canso (STC100). c) bathymétrie du STC100.

Région de la capitale nationale

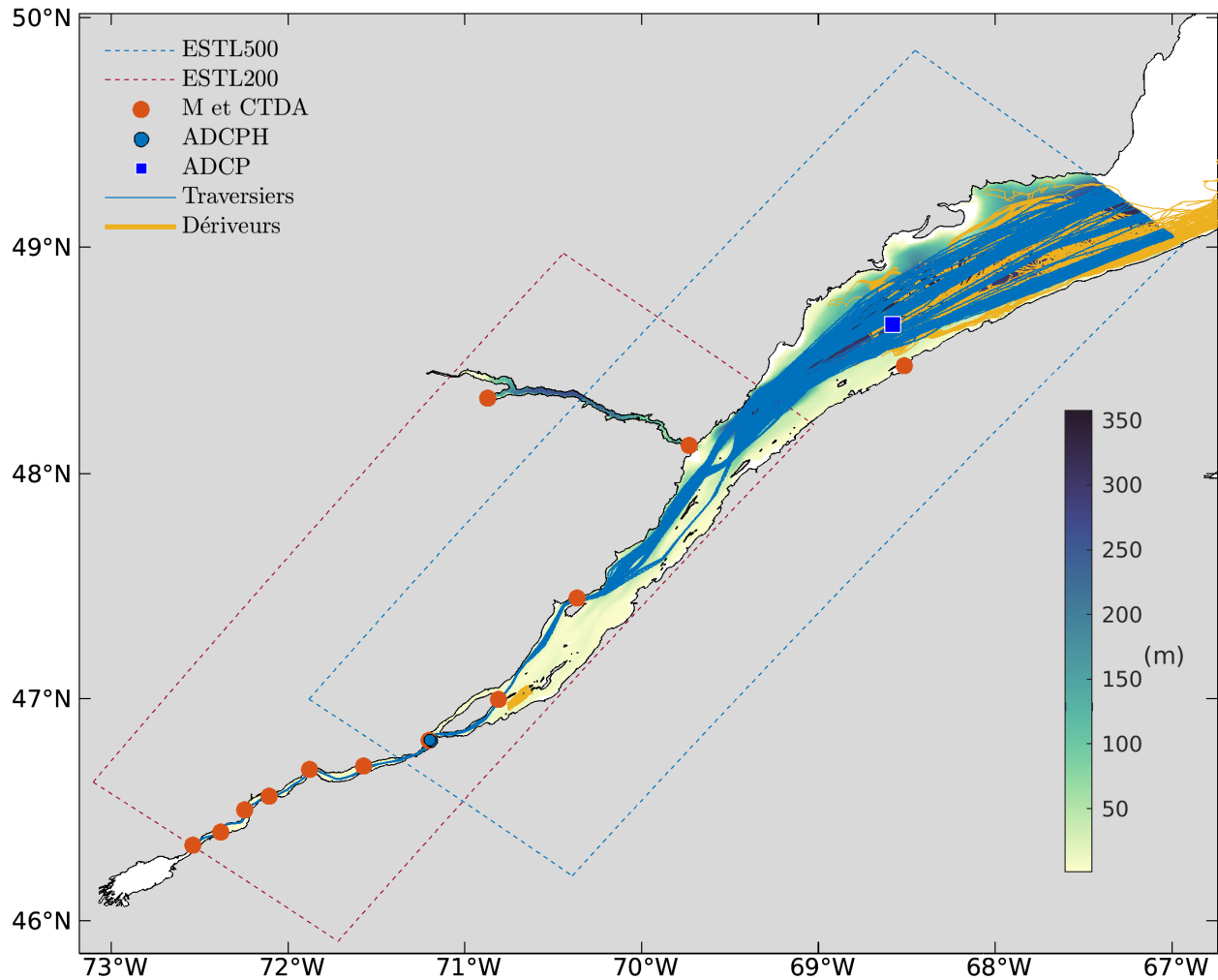


Figure 4. Bathymétrie et limites du domaine du modèle océanique pour la grille de 500 m (ligne pointillée bleue; ESTL500) et la grille de 200 m (ligne pointillée rouge; ESTL200) de l'estuaire du Saint-Laurent, y compris l'emplacement des données utilisées pour la validation (M pour les marégraphes; CTDA pour les sondes de conductivité, température et profondeur ancrées; ADCPH et ADCP pour les mesures horizontales et verticales du profileur de courant à effet Doppler; Traversiers pour les thermosalinographes à bord des traversiers; Dériveurs pour les bouées dérivantes de surface). L'emplacement des profils verticaux de température et de salinité à partir des profils de CTD n'est pas indiqué sur cette figure.

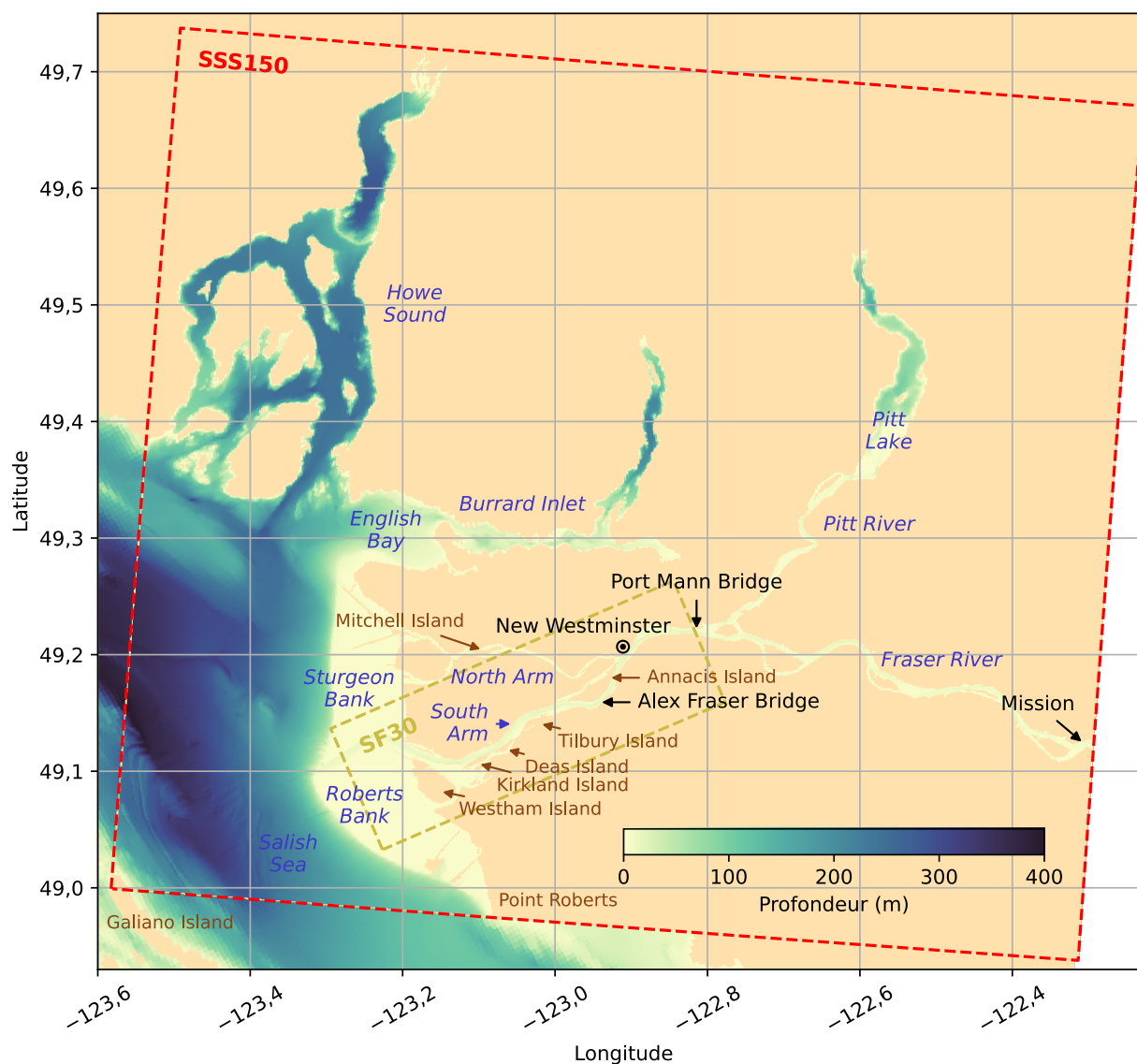


Figure 5. Domaine du modèle océanique avec bathymétrie pour la grille de 150 m du sud de la mer des Salish (ligne rouge pointillée; SSS150) et grille de 30 m du sud du fleuve Fraser (ligne jaune foncé pointillée; SF30).

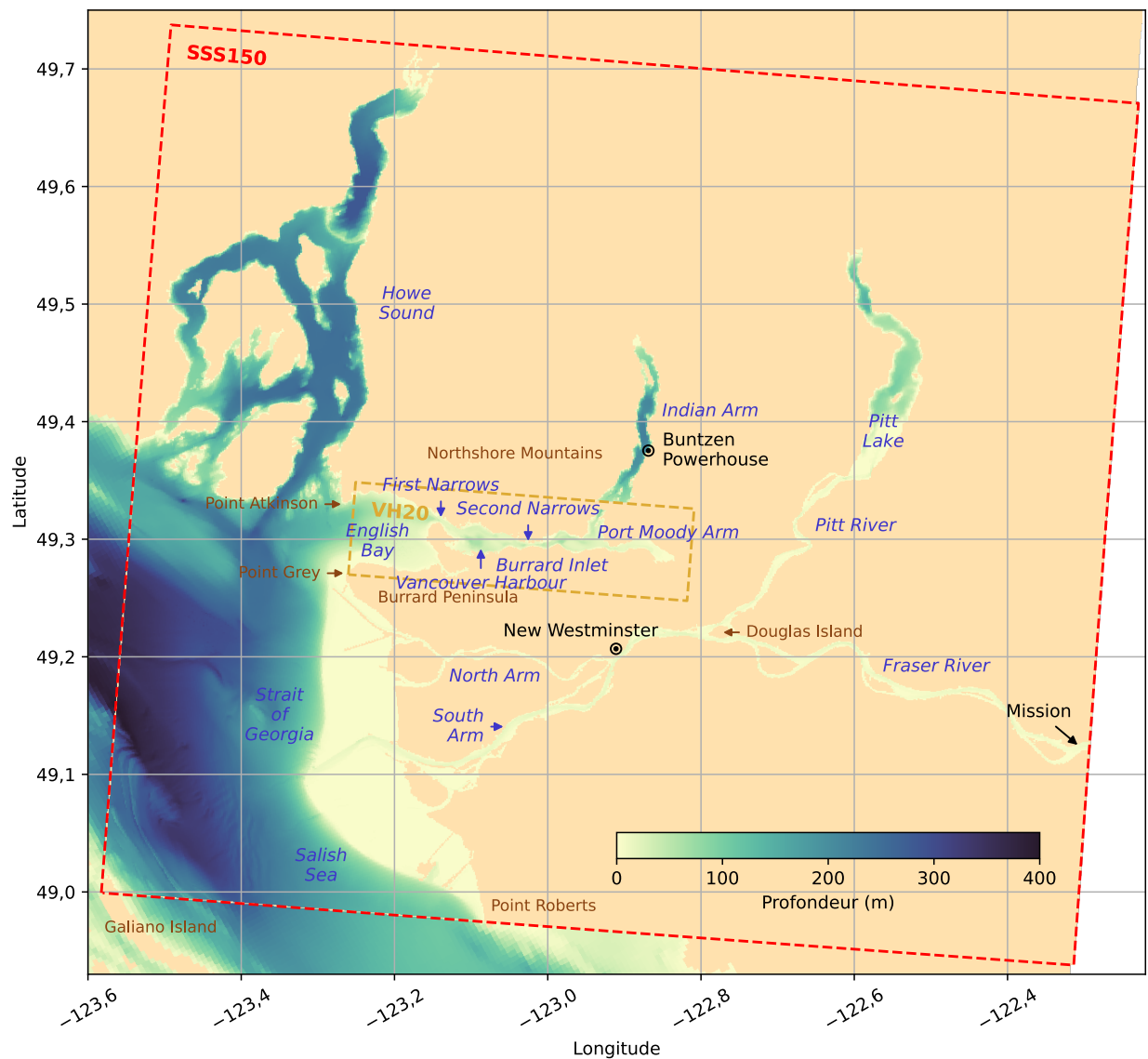


Figure 6. Domaine du modèle océanique avec bathymétrie pour la grille de 150 m du sud de la mer des Salish (ligne rouge pointillée; SSS150) et grille de 20 m du havre de Vancouver (ligne jaune foncé pointillée; VH20).

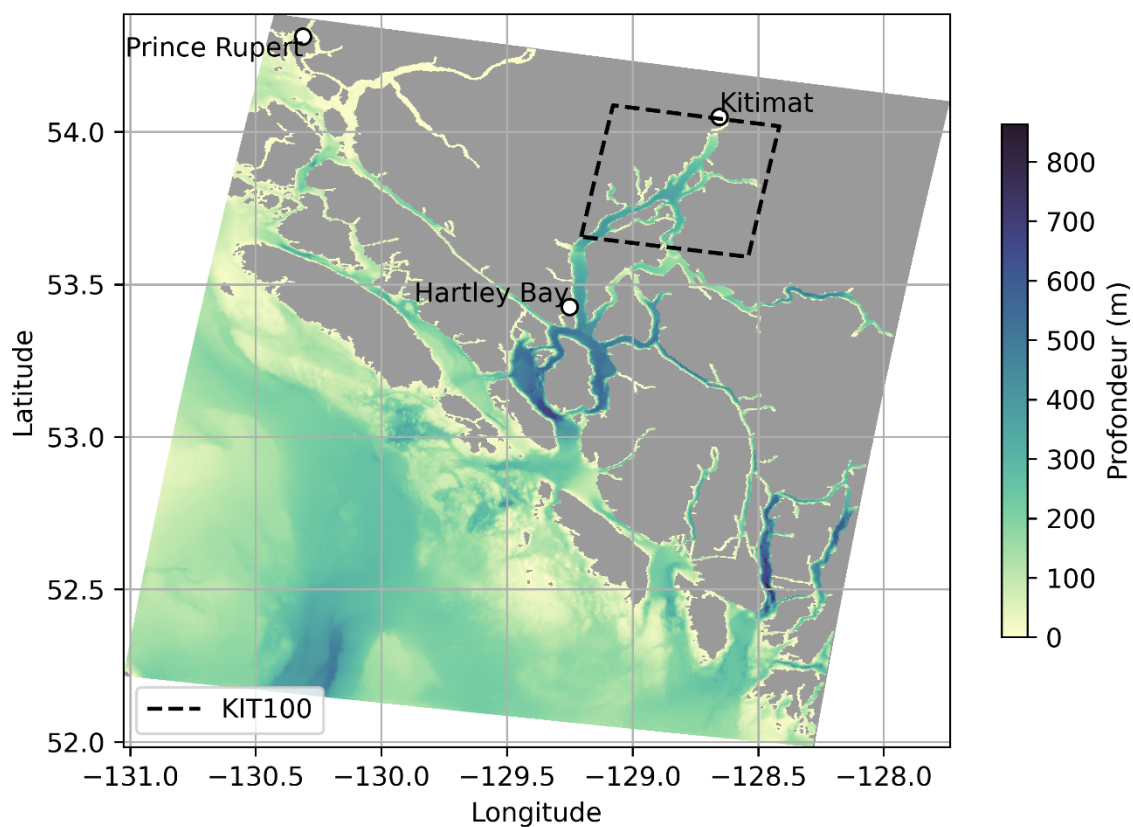


Figure 7. Domaine de modélisation océanique avec bathymétrie pour la grille de 500 m de Kitimat (KIT500). Les limites du domaine du modèle de 100 m (KIT100) sont indiquées par la ligne noire pointillée.

CE RAPPORT EST DISPONIBLE AUPRÈS DU :

Centre des avis scientifiques (CAS)
Région de la capitale nationale
Pêches et Océans Canada
200, rue Kent, Ottawa, ON K1A 0E6

Courriel : DFO.CSAS-SCAS.MPO@dfo-mpo.gc.ca

Adresse Internet: www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/

ISSN 1919-5117

ISBN 978-0-660-79951-3 N° cat. Fs70-6/2026-001F-PDF

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre du
ministère des Pêches et des Océans, 2026

Ce rapport est publié sous la [Licence du gouvernement ouvert – Canada](#)



La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2026. Application de systèmes de prévision hydrodynamique à haute résolution pour la
prévision des conditions océaniques dans des ports du Canada et leurs approches. Secr.
can. des avis sci. du MPO. Avis sci. 2026/001.

Also available in English:

DFO. 2026. *Application of High-resolution Hydrodynamic Prediction Systems to Forecast Ocean
Conditions in Canadian Ports and Approaches. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep.
2026/001.*