



## AVIS SCIENTIFIQUE SUR L'ENCRASSEMENT BIOLOGIQUE DES NAVIRES COMME VECTEUR DES INTRODUCTIONS D'ESPÈCES NON INDIGÈNES AU CANADA

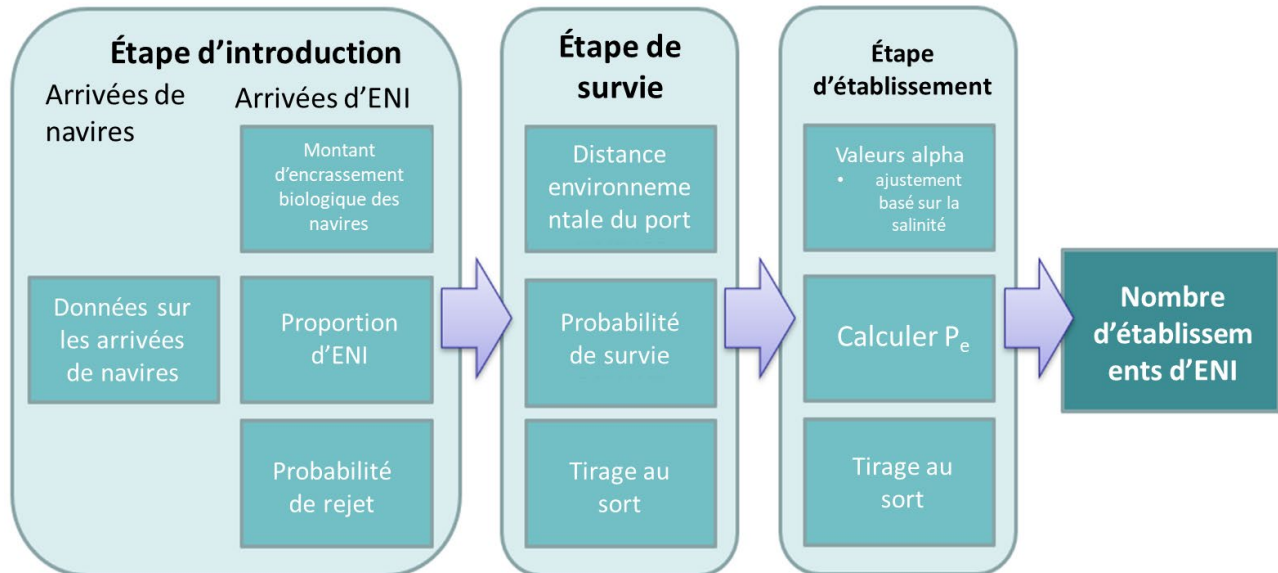


Figure 1. Diagramme des principales étapes du modèle, y compris les étapes précises (petits carrés) de l'introduction, de la survie et de l'établissement (grandes bulles), pour obtenir le nombre final d'établissements prédits d'espèces non indigènes.

### Contexte :

Les espèces non indigènes constituent une menace majeure pour les écosystèmes aquatiques. L'encrassement biologique des navires est reconnu comme un vecteur dominant du transport et de l'introduction des espèces non indigènes à l'échelle mondiale, mais il n'est actuellement pas réglementé au Canada. Transports Canada a demandé à Pêches et Océans Canada de mettre à jour les évaluations antérieures sur la probabilité d'introduction et d'établissement d'espèces non indigènes par l'encrassement biologique des navires. Cet avis scientifique servira de base à l'élaboration des politiques canadiennes de gestion de l'encrassement biologique.

Une évaluation nationale a été réalisée à l'aide de méthodes de modélisation avancées qui incorporent les meilleures données disponibles sur la navigation, l'environnement et la biologie, afin d'estimer le nombre d'établissements d'espèces non indigènes par an dans les régions canadiennes accueillant une activité de navigation internationale. Les facteurs influençant le taux d'établissement des espèces non indigènes par l'encrassement biologique ont été examinés, par exemple le type de navire et la partie du navire (coque principale et recoins). On a étudié des scénarios d'augmentation du trafic maritime et de la taille des navires dans la région de l'Arctique afin d'examiner le risque futur d'établissement d'espèces non indigènes dans cette région.

Le présent avis scientifique découle de la réunion sur les avis scientifiques national du 10 au 14 janvier 2022 sur l'encrassement biologique comme vecteur à introductions d'espèces aquatiques

*envahissantes. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le [calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada](#).*

## **SOMMAIRE**

- L'encrassement biologique des navires est un processus complexe qui inclut un assemblage diversifié d'espèces aquatiques et qui est reconnu comme une importante voie d'introduction des espèces non indigènes à l'échelle mondiale.
- Le présent avis repose sur une première estimation quantitative des taux d'établissement des espèces non indigènes aquatiques associés aux arrivées initiales des navires au Canada, qui proviennent principalement de cargos battant pavillon étranger, à l'aide d'un ensemble de données sur une année représentatif d'une année typique de trafic maritime.
- Les déplacements dans les eaux intérieures (non inclus dans cette évaluation) sont probablement un mécanisme important pour les introductions primaires et secondaires d'espèces non indigènes, qu'il conviendrait d'explorer dans des analyses futures.
- La probabilité d'établissement d'espèces non indigènes par l'encrassement des navires est considérable. Au rythme actuel de la navigation, le Canada peut s'attendre, en moyenne, à huit nouveaux établissements d'espèces non indigènes dus à l'encrassement biologique par année dans chacune des régions de l'Atlantique et du Pacifique, à cinq dans la région des Grands Lacs et du Saint-Laurent et à deux dans l'Arctique.
- Les résultats indiquent que la probabilité d'établissement d'espèces non indigènes à partir des recoins est plus grande qu'à partir de la coque principale, malgré une superficie proportionnellement plus petite, ce qui souligne l'importance des recoins pour l'établissement des espèces non indigènes.
- La probabilité d'établissement d'espèces non indigènes était plus grande pour les porte-conteneurs, les vraquiers, les navires à passagers et les pétroliers que pour les autres types de navires (remorqueurs et autres navires à usage spécial), probablement en raison de la fréquence plus élevée des arrivées et de la plus grande surface mouillée.
- La probabilité plus faible d'établissement d'espèces non indigènes dans l'Arctique s'explique en grande partie par le faible niveau actuel du trafic maritime, tandis que les taux de survie et d'établissement sont plus bas dans le réseau dulcicole des Grands Lacs et du Saint-Laurent, car les espèces non indigènes associées à l'encrassement biologique des navires sont principalement des taxons marins.
- Les différences régionales dans la probabilité d'établissement d'espèces non indigènes sont liées aux profils de trafic et de taille des navires; les porte-conteneurs et les pétroliers sont les plus nombreux dans la région de l'Atlantique, alors que la région du Pacifique accueille davantage de vraquiers et de porte-conteneurs et que les trois types de navires sont d'importance relativement égale dans les Grands Lacs et le Saint-Laurent. Les vraquiers, suivis des navires à passagers, dominent actuellement le trafic maritime dans l'Arctique.
- Les profils entre les régions peuvent être dus à une petite taille de l'échantillon, bien qu'il existe probablement des différences réelles résultant de la variation des routes de navigation (ports d'escale précédents) entre les régions, qu'il faudrait examiner de manière plus approfondie dans les études futures.

**Région de la capitale nationale**

---

- D'après les prévisions généralisées du trafic maritime pour la seule région de l'Arctique, les établissements d'espèces non indigènes devraient augmenter de plus de 50 %. Les habitats propices prévus devraient augmenter sur les côtes canadiennes pour certaines espèces non indigènes, et cette augmentation devrait être la plus importante dans la région de l'Arctique pour les espèces plus tolérantes au froid. Cependant, comme un nombre limité d'espèces a été évalué (20 à 30 espèces par côte), une modélisation est nécessaire pour des espèces supplémentaires. Bien qu'il n'ait pas été possible de modéliser les taux d'établissement futurs pour toutes les régions pour le moment, en l'absence d'intervention, les établissements devraient augmenter dans tous les ports canadiens avec le réchauffement continu des océans.
- Pour plusieurs raisons, il n'a pas été possible au cours de ce processus du Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS) de prévoir les effets que les changements prévus dans les activités de navigation et la température pourraient avoir sur la probabilité que des espèces non indigènes s'établissent au Canada par l'engrassissement biologique des navires. Ces raisons comprennent notamment l'absence de projections détaillées du trafic maritime et les lacunes dans les données environnementales projetées pour les ports intérieurs et fluviaux. Il est donc crucial de s'efforcer d'élaborer de telles données. Des suggestions sur la façon de prévoir plus largement la probabilité future de l'établissement d'espèces non indigènes au Canada à l'aide des sources de données disponibles ont été formulées, et elles pourraient être entreprises avec un effort supplémentaire dans un avenir proche.
- On a relevé des incertitudes dans les données et les paramètres utilisés dans le modèle; elles sont dues à des facteurs tels que la petite taille des échantillons, la faible résolution taxonomique et la complexité de la dynamique de la communauté des biofoules (plus de détails ci-dessous).
- D'autres considérations n'ont pas pu être abordées ici, mais mériteront une attention particulière à l'avenir, notamment l'influence de différents revêtements antisalissure, la durée du séjour des navires dans les ports, les effets cumulatifs de l'arrivée de plusieurs navires au fil du temps, et la variabilité de la survie et de l'établissement selon l'espèce (plus de détails ci-dessous).

## **RENSEIGNEMENTS DE BASE**

Les espèces non indigènes constituent une menace considérable pour la biodiversité et la santé des écosystèmes aquatiques (Clavero *et al.* 2009; Havel *et al.* 2015). La navigation commerciale internationale est l'une des plus grandes voies de transport des espèces aquatiques non indigènes (Hewitt *et al.* 2009; Bailey *et al.* 2020a), soit par les eaux de ballast des navires, soit par l'engrassissement par des organismes à la surface des navires (Hewitt *et al.* 2009; Hopkins 2010). L'engrassissement biologique marin est défini comme l'accumulation d'organismes tels que des invertébrés, des algues et des bactéries sur des substrats immergés dans l'eau de mer (Callow et Callow 2002; Yebra *et al.* 2004). Bien que l'on estime que l'engrassissement biologique a de forts effets (Bailey *et al.* 2020a; Hewitt *et al.* 2011), le processus est relativement peu étudié et non réglementé au Canada. Avec l'augmentation du trafic maritime au Canada, plus précisément dans la région de l'Arctique (Dawson *et al.* 2018; Chan *et al.* 2019), l'engrassissement biologique jouera probablement un rôle majeur dans la propagation croissante des espèces non indigènes.

Le processus d'engrassissement biologique est complexe et influencé par de nombreux facteurs qui mènent au transport de diverses communautés d'organismes. La diversité et l'abondance

des organismes qui s'accumulent peuvent dépendre de différents facteurs, comme la durée du séjour d'un navire dans un port et l'historique géographique des visites portuaires (Davidson *et al.* 2009; Chan *et al.* 2022). De nombreux navires sont équipés de systèmes de revêtement antisalissure pour gérer l'encrassement biologique, mais l'efficacité de ces revêtements diminue avec l'âge et leur application peut être impossible sur les surfaces complexes autres que la coque d'un navire (les recoins comme les coffres de prise d'eau, les grilles des coffres de prise d'eau, les hélices et les tuyaux de prise d'eau) [Hopkins 2010]. Le temps écoulé depuis l'application du revêtement antisalissure peut également jouer un rôle dans la quantité d'encrassement biologique sur un navire (Sylvester *et al.* 2011; Chan *et al.* 2022). Des facteurs environnementaux, tels que la température et la salinité, influent également sur la reproduction, la survie et l'établissement des organismes dans un nouveau port récepteur (Minchin et Gollasch 2003; Delauney *et al.* 2010; Bradie *et al.* 2020).

L'Organisation maritime internationale (OMI) a élaboré des lignes directrices volontaires pour contrôler et gérer l'encrassement biologique des navires afin de minimiser le transfert d'organismes aquatiques (Organisation maritime internationale 2011). Ces lignes directrices comprennent la mise en œuvre d'un plan de gestion de l'encrassement biologique et d'un registre des biosalissures, ainsi que l'utilisation de systèmes de revêtement antisalissure et d'inspections et de nettoyages dans l'eau pour réduire l'encrassement, y compris dans les recoins où les biosalissures peuvent s'accumuler davantage.

Pêches et Océans Canada (MPO) a réalisé diverses évaluations régionales des risques entre 2012 et 2017. Il a alors désigné l'encrassement biologique par les navires commerciaux et de plaisance comme des voies importantes de l'introduction des espèces non indigènes dans les écosystèmes aquatiques canadiens (Bailey *et al.* 2012; Chan *et al.* 2012; Adams *et al.* 2014; Linley *et al.* 2014; Simard *et al.* 2017). Transports Canada est responsable de la réglementation des activités de transport maritime en vertu de la *Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada*, y compris celles qui peuvent entraîner l'introduction d'espèces non indigènes (par exemple, par le rejet d'eaux de ballast ou l'encrassement biologique). Transports Canada a demandé au MPO de lui fournir un avis scientifique afin d'étayer l'élaboration de politiques de gestion de l'encrassement biologique pour les navires de plus de 24 mètres de longueur afin de protéger les écosystèmes aquatiques canadiens contre l'introduction et l'établissement d'espèces non indigènes.

## **Objectif**

L'objectif de cette étude était de s'appuyer sur les précédentes évaluations régionales des risques concernant l'établissement d'espèces non indigènes aquatiques par l'encrassement biologique des navires pour créer une évaluation nationale complète et actualisée de l'encrassement biologique; ces évaluations ont été réalisées par le MPO entre 2012 et 2017 (Bailey *et al.* 2012; Chan *et al.* 2012; Adams *et al.* 2014; Linley *et al.* 2014; Simard *et al.* 2017). À l'aide des meilleures données disponibles et des approches de modélisation améliorées, cette étude fournit un aperçu des questions suivantes :

1. Quelles sont les probabilités d'introduction, de survie et d'établissement d'espèces non indigènes par l'encrassement biologique des navires commerciaux nationaux et internationaux dans les ports et les mouillages d'eau douce et maritimes, compte tenu des différentes caractéristiques opérationnelles ou de l'itinéraire et des facteurs supplémentaires désignés dans la littérature scientifique qui pourraient être utilisés pour prédire la probabilité d'introduction d'espèces non indigènes par l'encrassement biologique?

2. Quels effets les changements prévus dans les activités de navigation et la température (selon les modèles de changements climatiques) auront-ils sur la probabilité que des espèces non indigènes s'établissent par l'engrassissement biologique dans les écosystèmes d'eau douce et marins du Canada (en particulier, dans l'Arctique et dans d'autres voies navigables où des changements plus importants sont attendus)?

## **ÉVALUATION**

L'évaluation a été réalisée pour quatre régions du Canada : Pacifique, Atlantique, Grands Lacs et fleuve Saint-Laurent, et Arctique. La coque et les recoins ont été évalués séparément pour tenir compte des différences potentielles dans les niveaux d'engrassissement de ces zones. L'évaluation a appliqué un modèle mécaniste à plusieurs étapes (un modèle à plusieurs étapes décrivant les étapes ou les stades du processus d'invasion), qui reprend des approches antérieures examinées par les pairs pour évaluer l'introduction d'espèces par l'eau de ballast (Drake *et al.* 2020; Bradie *et al.* 2020; MPO 2020). Ce modèle a estimé l'établissement d'espèces non indigènes par l'engrassissement biologique à l'aide de trois composantes principales fondées sur des processus du monde réel qui permettent l'établissement final de telles espèces : 1) la probabilité d'introduction (abondance des bio-salissures et proportion d'espèces non indigènes); 2) la probabilité de survie prédite par la similitude environnementale (température) entre le port d'arrivée canadien et les deux ports d'escale précédents; et 3) la probabilité d'établissement d'après une équation théorique d'établissement (Leung *et al.* 2004) avec un ajustement basé sur une composante de correspondance de la salinité entre le port d'arrivée canadien et les deux ports d'escale précédents. Les détails complets sur le modèle et les méthodes d'évaluation sont disponibles dans Brinklow *et al.* (2022).

### **Sources des données**

Cette étude a utilisé plusieurs ensembles de données obtenus auprès d'une variété de sources comme entrées pour le modèle mécaniste à plusieurs étapes. Les données sur les expéditions pour une année (2018) ont été fournies par les Centres des opérations de la sûreté maritime (Est et Ouest) de Transports Canada, avec un ajustement effectué pour la région de l'Arctique afin de tenir compte des opérations de pointe pendant la phase de revenu initial de la mine de fer de Baffinland en 2019. Les données sur le transport maritime contenaient des renseignements sur les grands navires commerciaux entrant pour la première fois au Canada, y compris l'historique du voyage (jusqu'à 10 derniers ports d'escale), le port d'arrivée/destination au Canada et le type de navire.

Les données biologiques sur l'engrassissement des navires ont été tirées de relevés en plongée effectués par le Réseau national de recherche sur les espèces aquatiques envahissantes pour les navires échantillonnés dans les régions de l'Atlantique ( $n = 20$ ), du Pacifique ( $n = 20$ ) (Sylvester *et al.* 2011) et des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent ( $n = 19$ ) [Sylvester et Maclsaac 2010], ainsi que pour 12 autres navires échantillonnés ultérieurement dans la région de l'Arctique (Churchill, Manitoba) [Chan *et al.* 2015]. On a inclus les données provenant de l'échantillonnage en cale sèche des coffres de prise d'eau de navires échantillonnés sur les côtes du Pacifique ( $n = 6$ ) et de l'Atlantique ( $n = 2$ ) [Frey *et al.* 2014]. Les données biologiques ont été regroupées entre les régions, chaque navire servant de point de données dans les distributions calculées de l'abondance. Pour les ports, les données environnementales (variables de salinité et de température) provenaient de Keller *et al.* (2011) et du World Ocean Atlas 2013, Vol. 3 (Locarini *et al.* 2013; Zweng *et al.* 2013), avec des corrections des salinités pour les ports d'eau douce où des erreurs ont été trouvées (Bailey *et al.* 2020b).

## **Étapes et résultats du modèle**

Pour estimer l'introduction des espèces non indigènes, on a utilisé des distributions de probabilité calculées à partir des données biologiques décrivant l'abondance totale de tous les organismes salissants sur la coque d'un navire ou dans un recoin, et la proportion de ces individus qui sont des espèces non indigènes. Les distributions de l'abondance des espèces (le nombre d'espèces et l'abondance relative de chacune) ont été attribuées aléatoirement à chaque arrivée de navire. On a également appliqué un facteur de probabilité de rejet pour estimer la probabilité qu'un individu soit rejeté au port de destination.

La survie des espèces non indigènes dans le port de destination a été estimée à l'aide des conditions environnementales du port (température moyenne pendant le mois le plus chaud, température moyenne pendant le mois le plus froid et température moyenne annuelle). Une analyse de sélection des caractéristiques a permis de déterminer que les deux derniers ports d'escale sont les plus importants pour prédire la présence d'espèces non indigènes dans la communauté de salissures sur un navire. On a donc calculé la distance environnementale entre le port de destination et les deux derniers ports d'escale, et déterminé la probabilité de survie à partir d'une relation entre la distance environnementale et la probabilité de survie des organismes déjà établie pour les organismes aquatiques (Bradie *et al.* 2020).

On a aussi déterminé la probabilité que les espèces non indigènes établissent une population viable dans le port de destination à l'aide d'une équation reliant la probabilité d'établissement à la densité de la population (Leung *et al.* 2004). Les valeurs alpha (probabilité qu'un seul individu établisse une population) ont été générées aléatoirement et ajustées en fonction de la correspondance de la salinité entre le port de destination et les ports d'escale précédents. Une fois la probabilité finale d'établissement calculée pour chaque espèce sur chaque navire, on l'a comparée à une distribution uniforme et on a procédé à un tirage au sort pour déterminer si chaque espèce s'établit ou disparaît. Le nombre total d'espèces non indigènes uniques s'établissant à partir de chaque entrée de navire au Canada a ensuite été calculé comme le nombre d'espèces par année (SpPY). On a alors exécuté une analyse de sensibilité sur les paramètres du modèle pour vérifier l'influence de chacun d'eux sur les taux d'établissement prédits.

Le modèle a prédit des taux plus élevés d'établissement d'espèces non indigènes au Canada par an par l'encrassement biologique des navires dans les recoins que sur les coques principales. C'est dans les régions de l'Atlantique (7,6 SpPY provenant des recoins; 2,1 SpPY provenant des coques) et du Pacifique (8,4 SpPY provenant des recoins; 2,2 SpPY provenant des coques) que les établissements d'espèces non indigènes par an étaient les plus nombreux. Les ports de ces régions avaient également le plus grand trafic de navires, ce qui est probablement le principal facteur des taux d'établissement plus élevés. Les taux d'établissement étaient plus faibles dans la région des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent (4,7 SpPY provenant des recoins; 1,5 SpPY provenant des coques). Cependant, étant donné que de nombreux organismes de biosalissures sont des espèces marines dont le potentiel d'établissement de populations viables dans les environnements d'eau douce est limité, ces résultats permettent de penser qu'un étalonnage plus poussé du modèle pourrait être nécessaire. Les estimations des établissements d'espèces non indigènes étaient les plus basses (1,7 SpPY provenant des recoins; 0,6 SpPY provenant des coques) dans la région de l'Arctique, ce qui pourrait être dû au faible trafic dans cette région. Cependant, la région était souvent la plus sensible aux changements apportés aux paramètres du modèle dans l'analyse de sensibilité. On peut donc déduire que des changements tels que l'intensification du trafic

**Région de la capitale nationale**

---

maritime ou l'augmentation de l'abondance des salissures pourraient entraîner des hausses considérables des taux d'établissement des espèces non indigènes à l'avenir.

On a constaté que les navires ayant le plus grand nombre d'entrées au Canada par année, ainsi que les plus grandes surfaces mouillées, présentaient les plus fortes probabilités d'établissement d'espèces non indigènes (les porte-conteneurs, les vraquiers, les navires à passagers et les pétroliers). On a relevé certaines différences régionales dans les établissements d'espèces non indigènes associés à chaque type de navire, en particulier le fait que dans la région de l'Arctique, les établissements sont principalement associés aux vraquiers, alors que d'autres navires jouent un rôle plus important dans les taux d'établissement dans d'autres régions (porte-conteneurs et navires à passagers dans le Pacifique, porte-conteneurs et pétroliers dans l'Atlantique, et porte-conteneurs, pétroliers et vraquiers dans la région des Grands Lacs et de la Voie maritime du Saint-Laurent).

### **Scénario futur**

Il n'a pas été possible d'examiner à l'échelle nationale la probabilité future que des espèces non indigènes s'établissent au Canada par l'encrassement biologique. Le plan initial consistait à réexécuter le modèle avec les changements prévus des activités de transport maritime et des conditions environnementales, afin d'obtenir une estimation des taux d'établissement futurs d'espèces non indigènes par l'encrassement biologique dans le cadre des scénarios climatiques et des activités de transport maritime futures. Il n'a pas été possible d'obtenir les données prévisionnelles sur le transport maritime à temps pour ce processus et les données sur les températures futures manquaient pour environ 66 % des ports, de sorte que l'analyse des scénarios futurs n'a pas été réalisée comme prévu.

Au lieu du scénario futur ci-dessus pour l'ensemble du Canada, on a plutôt exécuté deux nouveaux scénarios pour étudier les changements futurs potentiels dans la seule région de l'Arctique : 1) augmentation du trafic maritime; et 2) augmentation du trafic maritime et de la jauge brute des navires. La réexécution du modèle dans ces nouvelles conditions a révélé une hausse globale des établissements d'espèces non indigènes. Pour les deux scénarios, le taux d'établissement d'espèces non indigènes par an a été estimé à 0,9 SpPY pour les salissures provenant des coques des navires (par rapport au scénario actuel à 0,6 SpPY). Cela confirme que les augmentations prévues du trafic maritime dans l'Arctique canadien (Dawson *et al.* 2017; Dawson *et al.* 2018) entraîneront probablement davantage d'établissements d'espèces non indigènes par l'encrassement biologique des navires, les prédictions du modèle augmentant de plus de 50 %. Les résultats des deux scénarios futurs étant peu différents, l'augmentation de la jauge brute des navires ne semble pas avoir un effet important. Des recherches plus approfondies sur l'ampleur prévue de l'augmentation de la jauge brute des navires, avec des données supplémentaires sur les changements climatiques qui pourraient accroître l'étendue de l'habitat convenable disponible pour l'établissement d'espèces non indigènes dans toutes les régions, permettraient de mieux étayer les estimations du modèle dans les études futures. En déployant des efforts supplémentaires, on pourrait obtenir des données plus complètes sur la température pour les évaluations des scénarios futurs en prolongeant les projections à partir du point disponible le plus proche ou en recherchant des sources de données à plus petite échelle (par exemple, des projections pour les Grands Lacs plutôt que mondiales).

### **Sources d'incertitude**

Les résultats présentés ici représentent une approximation raisonnable de premier ordre des taux attendus d'établissement d'espèces non indigènes; les améliorations futures devraient se concentrer sur les domaines d'incertitude suivants :

- Les profils entre les régions peuvent être dus à une petite taille de l'échantillon, bien qu'il existe probablement des différences réelles résultant de la variation des routes de navigation (ports d'escale précédents) entre les régions.
- Seul un sous-ensemble de taxons dans les données biologiques disponibles était identifié au niveau de l'espèce, ce qui crée une incertitude quant à l'abondance totale et à la proportion d'espèces non indigènes associées à l'engrassissement des navires.
- Les communautés de salissures biologiques des navires sont complexes et très variables, en raison de l'accumulation d'espèces au fil du temps et de la diversité des stratégies de cycle biologique des organismes salissants, de sorte que les données biologiques sur lesquelles reposent ces résultats ne reflètent peut-être pas pleinement le risque d'engrassissement biologique des navires par tous les taxons.
- Étant donné que des identificateurs d'espèces uniques ont été utilisés dans le modèle, l'étendue des établissements possibles d'espèces non indigènes était limitée par les données qui ont alimenté le modèle (c.-à-d. 59 taxons uniques par les coques et 179 taxons uniques par les recoins) et il existe probablement un bassin d'espèces beaucoup plus important dans la population des navires arrivant au Canada. Il se peut également que le modèle ne reflète pas suffisamment les établissements multiples de la même espèce.
- Il est probable que la durée du séjour dans les ports d'escale précédents et la durée du transit influencent toutes deux l'abondance et la diversité de l'engrassissement biologique des navires, mais elles n'ont pas été directement prises en compte dans ce modèle. De même, la durée du séjour des navires au port au Canada aura une incidence sur la probabilité de rejet et d'établissement d'espèces non indigènes (explorée dans le cadre de l'analyse de sensibilité du modèle).
- La relation entre la taille de la population initiale et le succès de l'établissement est généralement considérée comme positive (les populations fondatrices plus nombreuses ayant une grande probabilité d'établissement à long terme), mais elle est également très variable selon les différents taxons et les conditions environnementales. Ce modèle a utilisé des relations établies pour le zooplancton dans les eaux de ballast afin de générer des relations entre la pression de propagules et l'établissement (valeurs alpha), qui ne sont pas forcément représentatives des communautés de biosalissures. Des études supplémentaires visant à mieux caractériser cette relation pour les espèces de biosalissures sont nécessaires.

### **CONCLUSIONS**

Cette analyse s'est appuyée sur des évaluations régionales antérieures du MPO pour estimer la probabilité relative que des espèces non indigènes s'établissent par l'engrassissement biologique des navires à l'échelle nationale, en appliquant des méthodes de modélisation avancées et les meilleures données disponibles. L'évaluation montre que l'engrassissement biologique est un vecteur considérable pour l'établissement des espèces non indigènes dans les régions côtières canadiennes par l'intermédiaire de la navigation. Les recoins présentent un risque plus élevé



que les coques principales, probablement parce qu'ils abritent une plus grande abondance d'espèces non indigènes, et devraient être une cible principale des méthodes de prévention et de contrôle des bio-salissures. Les augmentations futures du trafic maritime auront probablement des effets sur toutes les régions, mais particulièrement sur la région de l'Arctique, pour laquelle on prévoit une augmentation de plus de 50 % des établissements d'espèces non indigènes d'après les seules hausses projetées du trafic maritime. D'autres facteurs, tels que des habitats plus propices sous l'effet des changements climatiques, l'abondance des salissures et la durée de séjour des navires, peuvent également avoir une influence sensible sur les taux d'établissement futurs au Canada, et pourraient être particulièrement préoccupants pour la région de l'Arctique.

## **AUTRES CONSIDÉRATIONS**

- Cette analyse s'est appuyée sur des données provenant de navires utilisant des revêtements antisalissures biocides depuis au moins 10 mois; l'abondance et la proportion des espèces non indigènes pourraient être différentes si les revêtements sont plus récents, absents ou différents (par exemple, le rejet de salissures).
- Les pratiques volontaires de gestion de l'encrassement biologique recommandées par l'OMI pourraient réduire le risque d'encrassement biologique des navires, même si les niveaux d'adoption étaient faibles au moment où les données biologiques sur lesquelles repose ce modèle ont été recueillies. Tout comme le temps écoulé depuis l'application des systèmes de revêtement antisalissure est un facteur prédictif important du pourcentage de couverture et d'abondance des bio-salissures, le temps écoulé depuis le nettoyage est probablement un facteur important.
- Les résultats ne tiennent pas compte de l'effet cumulatif de l'arrivée de plusieurs navires en peu de temps, ce qui pourrait augmenter le succès de l'établissement. Il peut également y avoir plusieurs introductions de la même espèce non indigène dans différents ports du Canada.
- Bien que les résultats concernant l'eau de ballast et les bio-salissures reposent sur une structure de modèle similaire, les deux ont été paramétrés différemment et les comparaisons directes ne sont donc pas recommandées.
- Les tendances du trafic maritime évoluent rapidement (par exemple, des augmentations proportionnellement importantes dans l'Arctique dans les cinq prochaines années); il convient donc de réviser fréquemment les analyses comme celles-ci.
- Les divers taxons ont des stratégies de survie différentes pour surmonter une exposition à court terme aux conditions environnementales défavorables qu'ils peuvent rencontrer dans différents ports et pendant le transit. Une analyse de sensibilité a permis d'étudier les conséquences potentielles de ces différentes stratégies en ajustant les taux de survie pour une proportion de taxons à partir des classifications d'ordre supérieur, mais les taux d'établissement propres aux espèces ne sont pas toujours bien reflétés dans ce modèle des voies d'introduction.

---

## LISTE DES PARTICIPANTS DE LA RÉUNION

Nom	Appartenance
Karen Smokorowski	Science MPO
Sarah Bailey	Science MPO
Tessa Brinklow	Science MPO
Jiban Deb	Science MPO
Mohammad Etemad	Science MPO
Daniel Michaud	Transports Canada
Katherine Giroux-Bougard	Transports Canada
Marie-Claude Lanouette	Transports Canada
Matthew Eliot	Transports Canada
Ouafae Lakhali	Transports Canada
Alex Tuen	Science MPO
Andrew Drake	Science MPO
Ben Lowen	Science MPO
Chris McKindsey	Science MPO
Claudio DiBacco	Science MPO
Guglielmo Tita	Science MPO
Jaclyn Hill	Science MPO
Jesica Goldsmit	Science MPO
Kimberly Howland	Science MPO
Marten Koops	Science MPO
Chris Scianni	California State Lands Commission
Erin Grey	University of Maine
Gail Ashton	Smithsonian Environmental Research Center
Adam Valenta	Ministère de la Défense nationale

## SOURCES DE RENSEIGNEMENTS

Le présent avis scientifique découle de la réunion sur les avis scientifiques national du 10 au 14 janvier 2022 sur l'engrassissement biologique comme vecteur à introductions d'espèces aquatiques envahissantes. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le [calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada](#).

- Adams, J.K., Ellis, S.M., Chan, F.T., Bronnenhuber, J.E., Simard, N., McKenzie, C.H., Martin, J.L., and Bailey, S.A. 2014. [Relative risk assessment for ship-mediated introductions of aquatic nonindigenous species to the Atlantic region of Canada](#). DFO Can. Sci. Advis. Secr. Res. Doc. 2012/116. v + 403 p.
- Bailey, S.A., Chan, F., Ellis, S.M., Bronnenhuber, J.E., Bradie, J.N., and Simard, N. 2012. Risk [Assessment for ship-mediated introductions of aquatic nonindigenous species to the Great Lakes and freshwater St. Lawrence River](#). DFO Can. Sci. Advis. Secr. Res. Doc. 2011/104. vi + 224 p.
- Bailey, S.A., Brown, L., Campbell, M.L., Canning-Clode, J., Carlton, J.T., Castro, N., Chainho, P., Chan, F.T., Creed, J.C., Curd, A., Darling, J., Fofonoff, P., Galil, B.S., Hewitt, C.L., Inglis, G.J., Keith, I., Mandrak, N.E., Marchini, A., McKenzie, C.H., Occhipinti-Ambrogi, A., Ojaveer, H., Pires-Teixeira, L., Robinson-Smythe, T., Ruiz, G.M., Seaward, K., Schwindt, E., Son, M., Therriault, T.W., and Zhan, A. 2020a. Trends in the detection of aquatic non-indigenous species across global marine, estuarine and freshwater ecosystems: A 50-year perspective. *Diversity Distrib.* 26:1780–1797.
- Bailey, S.A., Bradie, J.B., Ogilvie, D., and Mudroch, P. 2020b. [Global port environmental data used for environmental distance calculations. Dryad, Dataset](#).
- Bradie, J.N., Drake, D.A.R., Ogilvie, D., Casas-Monroy, O., and Bailey, S.A. 2020. Ballast Water Exchange Plus Treatment Lowers Species Invasion Rate in Freshwater Ecosystems. *Environ. Sci. Technol.* 55:82–89. doi:10.1021/acs.est.0c05238.
- Brinklow, T.R., Chan, F.T., Etemad, M., Deb, J.C., and Bailey, S.A. Sous presse. Ship Biofouling as a Vector for Nonindigenous Species Introductions in Canada. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc.
- Callow, M.E., and Callow, J.A. 2002. Marine biofouling: A sticky problem. *Biologist* 49(1): 10–14.
- Chan, F.T., Bronnenhuber, J.E., Bradie, J., Howland, K.L., Simard, N., and Bailey, S.A. 2012. [Risk assessment for ship-mediated introductions of aquatic nonindigenous species to the Canadian Arctic](#). *Can. Sci. Advis. Secr. Res. Doc.* 3848(105): 99.
- Chan, F.T., MacIsaac, H.J., and Bailey, S.A. 2015. Relative importance of vessel hull fouling and ballast water as transport vectors of nonindigenous species to the Canadian Arctic. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 72: 1230–1242.
- Chan, F.T., Stanislawczyk, K., Sneekes, A.C., Dvoretzky, A., Gollasch, S., Minchin, D., David, M., Jelmert, A., Albretsen, J., and Bailey, S.A. 2019. Climate change opens new frontiers for marine species in the Arctic: Current trends and future invasion risks. *Glob. Chang. Biol.* 25(1): 25–38. doi:10.1111/gcb.14469.
- Chan, F.T., Ogilvie, D., Sylvester, F., and Bailey, S.A. 2022. Ship Biofouling as a Vector for Non-indigenous Aquatic Species to Canadian Arctic Coastal Ecosystems: A Survey and Modeling-Based Assessment. *Front. Mar. Sci.* 24. doi:10.3389/fmars.2022.808055.

- Clavero, M., Brotons, L., Pons, P., and Sol, D. 2009. Prominent role of invasive species in avian biodiversity loss. *Biol. Conserv.* 142(10): 2043–2049. doi:10.1016/j.biocon.2009.03.034.
- Davidson, I.C., Brown, C.W., Sytsma, M.D., and Ruiz, G.M. 2009. The role of containerships as transfer mechanisms of marine biofouling species. *Biofouling* 25(7): 645–655. doi:10.1080/08927010903046268.
- Dawson, J., Copland, L., Johnston, M. E., Pizzolato, L., Howell, S. E., Pelot, R., Etienne, L., Matthews, L., and Parsons, J. 2017. [Climate Change Adaptation Strategies and Policy Options for Arctic Shipping](#). A report prepared for Transport Canada.
- Dawson, J., Pizzolato, L., Howell, S.E.L., Copland, L., and Johnston, M.E. 2018. Temporal and Spatial Patterns of Ship Traffic in the Canadian Arctic from 1990 to 2015. *Arctic* 71(1) 15–26.
- Delauney, L., Compare, C., and Lehaitre, M. 2010. Biofouling protection for marine environmental sensors. *Ocean Sci.* 6(2): 503–511. doi:10.5194/os-6-503-2010.
- Drake, D. Andrew R., Bradie, J., Ogilvie, D., Casas-Monroy, O., and Bailey, S. A. 2020. [Effectiveness of Ballast Water Exchange Plus Treatment as a Mechanism to Reduce the Introduction and Establishment of Aquatic Invasive Species in Canadian Ports](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2020/003. viii + 60 p.
- Frey, M.A., Simard, N., Robichaud, D.D. Martin, J.L, and Therriault, T.W. 2014. Fouling around: vessel sea-chests as a vector for the introduction and spread of aquatic invasive species. *Manag. Biol. Invasions* 5(1): 21-30.
- Havel, J.E., Kovalenko, K.E., Thomaz, S.M., Amalfitano, S., and Kats, L.B. 2015. Aquatic invasive species: challenges for the future. *Hydrobiologia* 750(1): 147–170. doi:10.1007/s10750-014-2166-0.
- Hewitt, C.L., Gollasch, S., and Minchin, D. 2009. The Vessel as a Vector – Biofouling, Ballast Water and Sediments. In *Biological Invasions in Marine Ecosystems. Ecological Studies (Analysis and Synthesis) vol 204*. Edited by Rilov, G., Crooks, J.A. Springer, Berlin, Heidelberg. pp. 117–131. doi:10.1007/978-3-540-79236-9\_6.
- Hopkins, G.A. 2010. Assessment and Management of Risks from Biofouling. PhD Thesis, Victoria University of Wellington, Wellington, New Zealand. 175 p.
- International Maritime Organization. 2011. [Guidelines for the control and management of ships' biofouling to minimize the transfer of invasive aquatic species](#). pp. 1–25.
- Keller, R.P., Drake, J.M., Drew, M.B., and Lodge, D.M. 2011. Linking environmental conditions and ship movements to estimate invasive species transport across the global shipping network. *Diversity Distrib.* 17: 93–102. doi:10.1111/j.1472-4642.2010.00696.x
- Leung, B., Drake, J.M., and Lodge, D.M. 2004. Predicting invasions: Propagule pressure and the gravity of allee effects. *Ecology* 85: 1651–1660. doi:10.1890/02-0571
- Linley, R.D., Doolittle, A.G., Chan, F.T., O'Neill, J., Sutherland, T., and Bailey, S.A. 2014. Relative risk assessment for ship-mediated introductions of aquatic nonindigenous species to the Pacific Region of Canada. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2013/043. v + 208 p. (Erratum: September 2015) doi:10.13140/2.1.2193.3126.

**Région de la capitale nationale**

---

- Locarnini, R.A., Mishonov, A.V., Antonov, J.I., Boyer, T.P., Garcia, H.E., Baranova, O.K., Zweng, M.M., Paver, C.R., Reagan, J.R., Johnson, D.R., Hamilton, M., and Seidov, D. 2013. World Ocean Atlas 2013, Volume 1: Temperature. In World Ocean Atlas 2013. Edited by S. Levitus and A. Mishonov. NOAA Atlas NESDIS 73. 40 p.
- Minchin, D., and Gollasch, S. 2003. Fouling and Ships' Hulls: how Changing Circumstances and Spawning Events may Result in the Spread of Exotic Species. *Biofouling* 19(S1): 111–122.
- MPO. 2020. [Analyses supplémentaires des scénarios de gestion des eaux de ballast pour réduire l'établissement d'espèces aquatiques nuisibles au Canada et dans les Grands Lacs](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Rép. des Sci. 2020/053.
- Simard, N., Pelletier-Rousseau, M., Clarke Murray, C., McKindsey, C.W., Therriault, T.W., Lacoursière-Roussel, A., Bernier, R., Sephton, D., Drolet, D., Locke, A., Martin, J.L., Drake D.A.R., and McKenzie, C.H. 2017. [National Risk Assessment of Recreational Boating as a Vector for Marine Non-indigenous Species](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/006. vi + 95 p.
- Sylvester, F., and Maclsaac, H.J. 2010. Is vessel hull fouling an invasion threat to the Great Lakes? *Divers. Distrib.* 16(1): 132–143. doi:10.1111/j.1472-4642.2009.00622.x.
- Sylvester, F., Kalaci, O., Leung, B., Lacoursière-Roussel, A., Murray, C.C., Choi, F.M., Bravo, M.A., Therriault, T.W., and Maclsaac, H.J. 2011. Hull fouling as an invasion vector: can simple models explain a complex problem? *J. Appl. Ecol.* 48: 415–423.
- Yebra, D.M., Kiil, S., and Dam-Johansen, K. 2004. Antifouling technology - Past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings. *Prog. Org. Coatings* 50(2): 75–104. doi:10.1016/j.porgcoat.2003.06.001.APPENDIX (OR APPENDICES)
- Zweng, M.M, Reagan, J.R., Antonov, J.I., Locarnini, R.A., Mishonov, A.V., Boyer, T.P., Garcia, H.E., Baranova, O.K., Johnson, D.R., Seidov, D., and Biddle, M.M. 2013. World Ocean Atlas 2013, Volume 2: Salinity. Edited by S. Levitus and A. Mishonov. NOAA Atlas NESDIS 74: 39 p.

**CE RAPPORT EST DISPONIBLE AUPRÈS DU :**

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

Courriel : [csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca](mailto:csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca)  
Adresse Internet : [www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/](http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/)

ISSN 1919-5117

ISBN 978-0-660-45710-9 N° cat. Fs70-6/2022-048F-PDF

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre du  
ministère des Pêches et des Océans, 2022



La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2022. Avis scientifique sur l'encrassement biologique des navires comme vecteur des introductions d'espèces non indigènes au Canada. Secr. can. des avis sci. du MPO. Avis sci. 2022/048.

*Also available in English:*

DFO. 2022. Science Advice on Vessel Biofouling as a Vector for Nonindigenous Species Introductions in Canada. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2022/048.