Rapport d'impacts

Projets de recherche financés dans le cadre du programme PLAINE

SEPTEMBRE 2026



RÉSEAU QUÉBEC MARITIME

PROGRAMME **PLAINE**

En partenariat avec

Québec



© Delphotostock - stock.adobe.com

Table des matières

04 PLAINE : un levier concret au service du positionnement stratégique du Québec maritime

07 Maturation financière du programme PLAINE

08 Méthodologie

- 09 Analyse de la portée des contributions
- 10 Définitions des axes d'impacts

11 Analyse d'impacts global du programme PLAINE

- 12 Intersectorialité : un moteur stratégique de transformation
- 14 Avancées scientifiques : un socle stratégique pour la transition maritime
- 16 Innovations dans les milieux preneurs : des solutions concrètes et déployables
- 18 Durabilité environnementale : des impacts mesurables pour le Saint-Laurent
- 20 Formation et relève : consolider les talents au cœur de l'innovation maritime
- 22 Mobilisation et transfert de connaissances : structurer une communauté maritime active et connectée
- 24 Perspectives et effet levier : un multiplicateur économique puissant

26 Un réseau ancré sur le territoire et ouvert sur le monde

28 Rayonnement académique : des impacts mesurables

- 30 Une interdisciplinarité évidente
- 32 Un réseau de collaboration qui élargit l'empreinte scientifique
- 34 Une visibilité accrue jusqu'à la sphère publique

37 Les projets PLAINE : de la recherche à l'impact

- 38 Appel 1 – 2021-2023
- 50 Appel 2 – 2023-2025
- 60 Appel Jeunes chercheurs et chercheuses – 2024

66 Le programme indispensable pour l'avenir du Québec maritime

PLAINE
un levier concret au service du positionnement stratégique du Québec maritime

Le programme de recherche visant l'atténuation des impacts de la navigation commerciale sur les écosystèmes (PLAINE) du Réseau Québec maritime s'impose comme un levier stratégique majeur pour le développement de connaissances appliquées et de solutions concrètes répondant aux enjeux prioritaires du Saint-Laurent et de ses écosystèmes. En créant des passerelles durables entre les milieux de la recherche, les gestionnaires, les communautés, les entreprises et les instances gouvernementales, PLAINE agit comme une plateforme structurante qui renforce l'intersectorialité, accélère l'innovation et soutient la prise de décision éclairée à l'échelle du Québec maritime.

Depuis son lancement, PLAINE a permis de financer des projets couvrant des enjeux stratégiques, tels que la sécurité et la performance de la navigation, la décarbonation du transport maritime, la réduction du bruit sous-marin, l'ingénierie côtière innovante, la résilience des infrastructures, la protection de la biodiversité et l'adoption de technologies propres. Cette diversité thématique témoigne de la capacité du programme à mobiliser des expertises variées autour de problématiques complexes, ayant des retombées concrètes pour les milieux preneurs.



Le présent rapport d'impacts dresse un portrait intégré des retombées générées par l'ensemble des projets financés. Il met en évidence non seulement les avancées scientifiques et technologiques, mais également les contributions en matière d'outils décisionnels, de changements de pratiques, de formation de la relève et de renforcement des collaborations intersectorielles, tant au Québec qu'à l'international. Les effets leviers obtenus, qu'ils soient financiers, institutionnels ou humains, illustrent la capacité du programme à amplifier la portée des investissements publics.

Au-delà des réalisations propres à chaque projet, ce rapport démontre **l'effet catalyseur du programme PLAINE**. En structurant des capacités scientifiques, techniques et humaines essentielles, il contribue directement à renforcer la compétitivité, la durabilité et la résilience du secteur maritime québécois.

En documentant de manière rigoureuse l'ensemble des impacts générés, ce rapport confirme la pertinence stratégique et la valeur ajoutée du programme PLAINE comme outil de soutien à la transition maritime du Québec.


© Сергей Жмурчак - stock.adobe.com

Maturation financière du programme PLAINE

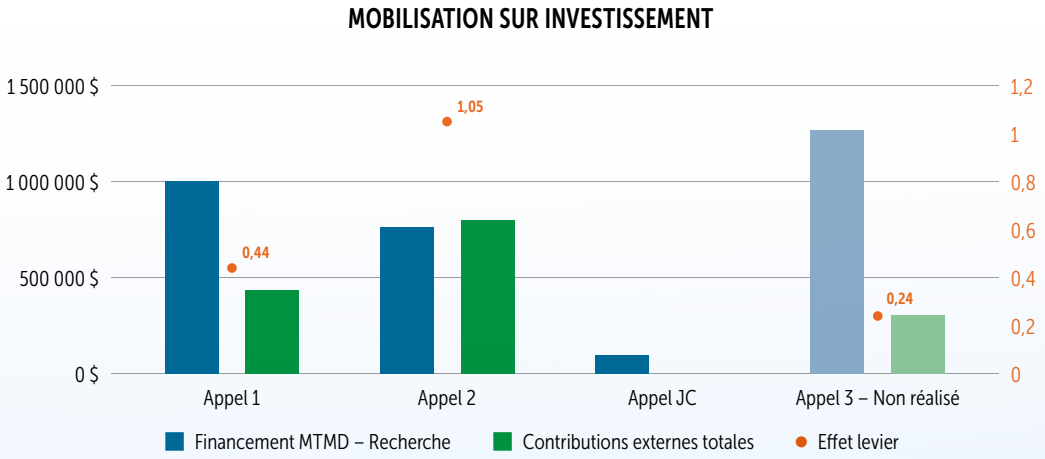
L'analyse des investissements met en évidence la capacité du programme PLAINE à mobiliser des ressources complémentaires autour des projets de recherche soutenus. Initialement, une enveloppe de **3,1 M$ du MTMD** devait être consacrée au financement de la recherche, sur un budget total de programme de **5 M$**, à laquelle devait s'ajouter environ **1,5 M$ en contributions externes**.

Au terme des appels à projets, **11 projets ont été financés**, représentant un investissement de **1,9 M$ du MTMD en recherche** et **1,2 M$ en contributions externes**. Les sommes consacrées à la recherche s'inscrivent dans une enveloppe globale de **3,73 M$ engagée par le MTMD dans le programme**, qui comprend également les frais de gestion ainsi que les activités découlant de PLAINE.

Au-delà des montants globaux, l'évolution de l'effet levier témoigne d'une mobilisation croissante des partenaires. Alors que le premier appel générait **0,44 $ en contributions externes par dollar public investi**, le deuxième atteint un ratio de **1,05**, soit plus d'un dollar externe mobilisé pour chaque dollar public consacré aux projets concernés. Cette progression traduit une capacité accrue du programme à susciter l'engagement financier de partenaires autour des initiatives soutenues.

Il importe par ailleurs de préciser que l'appel Jeunes chercheurs et chercheuses ne requérait pas de contributions externes, puisqu'il visait prioritairement à soutenir la relève et à élargir la portée du programme PLAINE; aucun effet levier n'y est donc associé. Dans son ensemble, le bilan financier illustre ainsi à la fois l'ampleur des investissements réalisés et la capacité de PLAINE à mobiliser des ressources complémentaires au financement public.





L'appel 3 est présenté en pâle dans le graphique puisqu'il faisait partie de la programmation initiale de PLAINE, mais n'a finalement pas été financé. L'enveloppe qui lui était destinée explique ainsi en partie l'écart entre les **3,1 M$ initialement prévus par le MTMD pour la recherche** et les **1,9 M$ effectivement engagés dans les 11 projets financés.**

Les projets déposés dans le cadre de cet appel et les collaborations amorcées témoignaient néanmoins d'un intérêt soutenu de la communauté de recherche et des partenaires. Les contributions externes anticipées auraient également permis de poursuivre la mobilisation de ressources complémentaires observée lors des premiers appels. Bien que cet appel n'ait pas été réalisé, la qualité des projets proposés et la mobilisation des partenaires en amont constituent des indications supplémentaires de la capacité de PLAINE à susciter des collaborations autour des enjeux maritimes.





© Natee Meepian - Stock.adobe.com

Méthodologie

Le présent rapport d'impacts repose sur l'analyse des rapports de projets produits lors de la reddition de comptes annuelle. Les données ont été colligées, structurées et synthétisées afin de faire ressortir les contributions significatives et les retombées concrètes générées par les projets soutenus. Une validation des informations a été réalisée en collaboration avec les équipes de recherche, garantissant l'exactitude et la cohérence des données présentées.

L'approche méthodologique privilégie une lecture intégrée des impacts, qui dépasse la seule présentation des résultats scientifiques pour mettre en lumière la valeur ajoutée du programme pour le Québec maritime. Elle permet notamment d'illustrer le rôle de PLAINE comme levier de mobilisation intersectorielle et de soutien à la prise de décision dans des contextes réels d'innovation, de gestion et de transition écologique du secteur maritime.

Ce document s'appuie sur les rapports finaux des cinq projets du premier appel, désormais complétés. Les projets du deuxième appel, encore en cours de réalisation, ont été analysés à partir des rapports intermédiaires disponibles. Pour le volet Jeunes chercheurs et chercheuses, deux projets sur trois ont été évalués sur la base de leurs rapports finaux, tandis que le troisième fait l'objet d'un suivi en cours.

Analyse de la portée des contributions

Afin d'évaluer de manière cohérente et transversale les impacts des projets financés, le rapport s'appuie sur une analyse de la portée des contributions, qui vise à apprécier l'étendue, la nature et la valeur des apports générés par chaque projet.

Cette analyse repose sur les critères suivants :

- **l'appropriation** des connaissances, outils ou solutions par les milieux preneurs ;
- **l'ampleur** des changements observés sur les plans opérationnel, organisationnel ou décisionnel ;
- **la pertinence** et **la transférabilité** des approches développées à d'autres contextes ou territoires ;
- **la mobilisation** des partenaires et le renforcement des capacités collectives ;
- **le potentiel** de pérennité des retombées et d'effets leviers (scientifiques, institutionnels ou financiers).

© Chandlerlikes - stock.adobe.com

Définitions des axes d'impacts

Intersectorialité (savoirs et activités)

L'intersectorialité renvoie à la capacité des projets à mobiliser les expertises provenant des trois secteurs du savoir et/ou des milieux académiques, gouvernementaux, industriels, et communautaires afin de répondre à des enjeux de façon concertée. Elle favorise une co-construction des connaissances et des solutions.

Avancées scientifiques

Les avancées scientifiques désignent la production de connaissances nouvelles, de cadres analytiques, de données inédites ou de méthodes innovantes qui contribuent à améliorer la compréhension des systèmes maritimes. Elles constituent un socle essentiel pour éclairer la prise de décision et soutenir le développement de solutions adaptées aux réalités du Saint-Laurent.

Innovation dans les milieux preneurs

Cet axe réfère à la traduction des connaissances issues de la recherche en outils, technologies, cadres décisionnels ou pratiques concrètes adoptées ou utilisées par les milieux preneurs. Il met en évidence la capacité des projets à générer des changements opérationnels, organisationnels ou stratégiques au sein des organisations partenaires.

Durabilité environnementale

La durabilité environnementale concerne la contribution des projets à la protection des écosystèmes maritimes et côtiers, à la réduction des pressions anthropiques et à la transition vers des pratiques plus durables. Elle s'appuie sur des données robustes, des approches fondées sur la science et des solutions adaptées aux enjeux climatiques et écologiques du Québec maritime.

Formation et relève

Cet axe vise le développement de la relève scientifique et professionnelle par la formation de personnes hautement qualifiées, l'acquisition de compétences et l'exposition à des contextes de recherche appliquée. Il contribue au renforcement des capacités humaines nécessaires à l'avenir du secteur maritime québécois.

Mobilisation et transfert de connaissances

La mobilisation et le transfert de connaissances désignent l'ensemble des activités visant à diffuser, partager et valoriser les connaissances produites auprès des communautés scientifiques, des milieux preneurs, des décideurs et du grand public. Cet axe favorise l'appropriation des résultats et leur intégration dans les pratiques, les politiques et les stratégies sectorielles.

Perspectives et effet levier

Cet axe réfère à la capacité des projets à générer des retombées au-delà de leur financement, notamment par l'obtention de nouveaux financements, le développement de projets subséquents ou la structuration de collaborations durables.

Analyse d'impacts global du programme PLAINE

Depuis son lancement, le programme PLAINE a démontré sa capacité à générer des retombées qui dépassent largement les résultats propres à chacun des projets financés. En soutenant des initiatives de recherche appliquée ancrées dans les réalités du Québec maritime, le programme a contribué à structurer un écosystème d'innovation où les connaissances scientifiques, les besoins des milieux preneurs et les enjeux de société convergent vers des objectifs communs.

L'analyse globale des impacts met en évidence la portée multidimensionnelle du programme. Les projets soutenus ont permis de développer de nouvelles connaissances, de concevoir des outils et solutions répondant à des défis concrets, de renforcer les collaborations entre les milieux universitaire, industriel, gouvernemental et communautaire, ainsi que de former une relève hautement qualifiée. Ils ont également favorisé une meilleure circulation des connaissances et accru la capacité des organisations à intégrer les résultats de la recherche dans leurs pratiques et leurs processus décisionnels.

Au-delà des réalisations individuelles, PLAINE agit comme un levier structurant pour la transition maritime du Québec. En renforçant les capacités scientifiques, humaines et organisationnelles de l'écosystème maritime, le programme contribue à la compétitivité, à la durabilité et à la résilience du secteur. Les sections suivantes présentent une analyse détaillée de ces retombées selon les principaux axes d'impacts du programme.

01.

Intersectorialité
un moteur stratégique de transformation

Les projets PLAINE démontrent une intersectorialité structurante, caractérisée non seulement par la diversité des partenaires mobilisés, mais par leur intégration autour d'objectifs communs liés à la transition maritime durable.

Un maillage multiniveau et multiéchelle

65
organisations partenaires mobilisées*
dont **27**
institutions et centres de recherche académiques impliqués
- *17 du Québec*
- *2 du Canada*
- *8 de l'international*

8
entités portuaires engagées
Montréal, Québec, Trois-Rivières, Saguenay, Sept-Îles, Bécancour, Baie-Comeau et Gaspésie

4
ministères fédéraux/provinciaux impliqués
Pêches et Océans Canada, Transports Canada, Environnement et changement climatique Canada et ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs

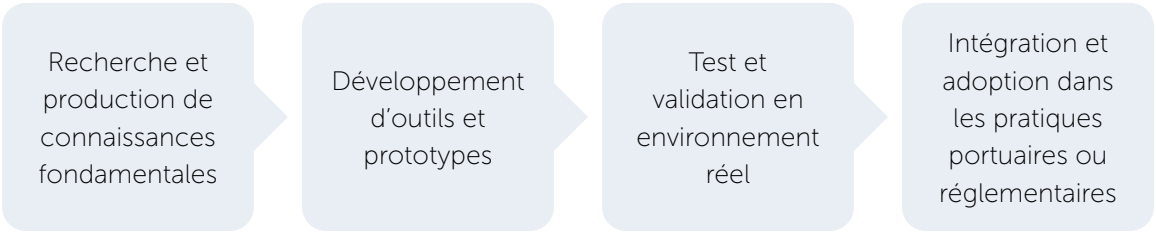
26
Industries, agences publiques, OBNL, associations, etc. engagées

Ce maillage dépasse une simple logique de partenariat : il traduit une co-construction des solutions, où les milieux preneurs participent activement à la définition des problématiques, à l'accès aux données stratégiques (AIS, données acoustiques, données biologiques, données portuaires) et à la validation opérationnelle des outils développés.

* À noter que les organisations partenaires comprennent toutes les entités ayant participé aux projets, mais également les institutions ayant collaboré à la publication des résultats scientifiques (voir la section *Rayonnement académique : des impacts mesurables*).

Une intersectorialité intégrée au continuum de l'innovation

Les projets couvrent l'ensemble du continuum, ce qui réduit considérablement le délai entre recherche et application, constituant ainsi un avantage stratégique majeur.



Un alignement direct avec les priorités publiques et industrielles

PLAINE agit comme interface neutre de convergence entre science, régulation et industrie. La présence simultanée des différents types d'organisations assure que les projets répondent à :

- Des impératifs réglementaires (GES, bruit, biodiversité)
- Des besoins opérationnels réels (gestion de vitesse, carburants alternatifs, infrastructures)
- Des priorités économiques (décarbonation, compétitivité portuaire)

Une structuration durable de l'écosystème maritime québécois

Les collaborations initiées dans PLAINE se prolongent au-delà du financement initial par entre autres la mise en place de nouveaux projets conjoints (ex. MITACS, RQEI, DEC, FNCEAP), de partenariats internationaux consolidés et d'accès durable à des données stratégiques. Il ne s'agit donc pas d'alliances ponctuelles, mais d'un renforcement systémique des capacités collectives du Québec maritime.

Ainsi, PLAINE ne finance pas uniquement des projets : il structure un écosystème intégré où recherche, industrie et gouvernance maritime évoluent en synergie. Cette densité relationnelle et fonctionnelle positionne le programme comme l'un des catalyseurs structurants au cœur de l'écosystème maritime québécois.

02.

Avancées scientifiques
un socle stratégique pour la transition maritime

Les projets PLAINE ont généré des avancées scientifiques majeures qui dépassent la production académique traditionnelle. Ils ont permis de développer des connaissances inédites, des méthodologies novatrices et des outils analytiques directement mobilisables pour soutenir la transition énergétique, environnementale et technologique du secteur maritime québécois.

Des capacités scientifiques nouvelles et structurantes

5

nouveaux modèles développés

- *Modèle d'évaluation des GES routiers portuaires*
- *Calibration avancée de XBeach pour NavImpact*
- *Simulateur acoustique haute fréquence*
- *Jumeaux numériques portuaires*
- *Pipeline IA-acoustique pour le suivi du béluga*

x400

accélération du modèle acoustique haute fréquence

Simulation de la propagation de bruit subaquatique

208

passages de navires mesurés pour l'évaluation de l'érosion des berges par le batillage

39

mélanges de carburants alternatifs caractérisés

2

niveaux acoustiques critiques identifiés chez la moule bleue

effet biologique et effondrement métabolique.

1

prototype validé en bassin et en environnement réel

Réduction du bruit sous-marin des navires

Production de connaissances inédites adaptées au contexte québécois

Des premières marquantes issues du programme ont permis de positionner le Québec comme producteur de connaissances originales dans plusieurs domaines émergents :

- Première base factuelle intégrée sur la décarbonation du système Saint-Laurent (Exemple à la page 51)
- Première détermination expérimentale de seuils biologiques d'impact acoustique chez la moule bleue (Exemple à la page 63)
- Première caractérisation de mélanges e-méthanol et diésel *drop-in* adaptée à la nordicité (Exemple à la page 57)
- Première démonstration de l'effet du trafic maritime sur la présence acoustique du béluga (Exemple à la page 47)

Montée en maturité technologique (*Technology readiness level - TRL*)

Plusieurs projets ont franchi des étapes critiques, soit du passage du concept à la validation opérationnelle. PLAINE ne finance donc pas uniquement de la recherche exploratoire : il accélère la transformation scientifique vers des applications opérationnelles en contexte réel.

Intégration interdisciplinaire avancée

Les avancées scientifiques reposent sur des croisements disciplinaires rarement réunis dans un même programme, par exemple *IA + bioacoustique + écologie ou encore économie + droit + énergie + logistique portuaire*. Cette interdisciplinarité permet de traiter des enjeux complexes (décarbonation, bruit sous-marin, érosion) sous un angle systémique plutôt que sectoriel.

Constitution d'infrastructures et de bases de données stratégiques

PLAINE a contribué à structurer :

- Des bases de données énergétiques et réglementaires inédites (Exemple à la page 51)
- Des outils numériques pérennes (simulateurs, pipelines IA) (Exemple à la page 47)
- Des équipements spécialisés transférés et maintenus au Québec (Exemple à la page 57)

Il s'agit d'actifs scientifiques durables qui continueront à générer de la valeur au-delà du cycle de financement initial.

Ainsi, les avancées scientifiques générées par PLAINE ne se limitent pas à des publications : elles constituent un socle technologique et scientifique stratégique pour la prise de décision, l'innovation industrielle et la transition maritime durable du Québec.

03.

Innovations dans les milieux preneurs
des solutions concrètes et déployables

Les projets PLAINE ont généré des solutions utilisables par les ports, les autorités réglementaires, les industriels et les gestionnaires environnementaux. Au-delà de la production de connaissances, le programme agit comme un accélérateur de transfert, transformant des résultats scientifiques en outils, infrastructures, prototypes et cadres décisionnels opérationnels.



Des innovations implantées

1

infrastructure portuaire changée
Ajout d'une 3e guérite au Port de Trois-Rivières à la suite des simulations GES et flux intermodaux.

1

outil décisionnel opérationnel – *NavImpact*
Utilisé pour guider la gestion de la vitesse des navires dans des zones sensibles.

1

prototype acoustique testé en environnement réel
Réduction mesurée du bruit de machinerie navale (TRL 7).

42

recommandations structurantes pour la décarbonation
Élaboration d'une feuille de route stratégique adaptée au Saint-Laurent.

>206 000

tonnes de CO_2/an potentiellement évitables
Via l'adoption de carburants alternatifs « drop-in ».

Passage effectif de la recherche à l'action

Contrairement à une logique purement exploratoire, plusieurs projets ont franchi le seuil critique d'implantation, en passant par l'adoption d'une modification d'infrastructure portuaire (exemple à la page 39) ou encore par le déploiement d'un outil d'aide à la décision (exemple à la page 41). PLAINE réduit ainsi le délai entre développement scientifique et application opérationnelle.

Réduction du risque technologique et réglementaire

Plusieurs projets ont permis de tester des solutions en environnement contrôlé avant déploiement, de clarifier les contraintes réglementaires internationales et de réaliser des analyses de risques multidimensionnelles, diminuant significativement les barrières à l'innovation pour les acteurs industriels.

Création d'actifs stratégiques pérennes

Les innovations produites ne sont pas ponctuelles : outils numériques réutilisables (simulateurs, pipelines IA), bases de données stratégiques, protocoles méthodologiques standardisables, etc. Ces actifs continueront de générer de la valeur bien au-delà du financement initial.

Effet démonstrateur pour le Québec

Plusieurs projets ont une portée exemplaire, et positionne ainsi le Québec comme laboratoire d'innovation maritime appliquée en contexte fluvial nordique.

Corridor maritime vert laurentien (Exemple à la page 51)

Déploiement potentiel d'un réseau de détection acoustique (Exemple à la page 47)

Solutions hybrides pour les infrastructures (Exemple à la page 55)

Carburants alternatifs adaptés aux conditions nordiques (Exemple à la page 57)

Ainsi, les innovations issues de PLAINE ne se limitent pas à des livrables scientifiques : il s'agit de solutions concrètes, testées, validées et transférables, contribuant directement à la compétitivité, à la durabilité et à la résilience du secteur maritime québécois.

04. Durabilité environnementale
des impacts mesurables pour le Saint-Laurent

Les projets financés dans le cadre de PLAINE contribuent directement à la réduction des pressions anthropiques sur le Saint-Laurent et ses écosystèmes associés. Au-delà de la documentation des impacts, ils permettent d'identifier, de tester et de structurer des solutions concrètes visant à réduire l'empreinte environnementale du transport maritime et des activités portuaires.

Réduction des émissions de gaz à effet de serre	Réduction du bruit sous-marin	Protection des milieux riverains et côtiers	Conservation de la biodiversité emblématique et d'intérêt socioéconomique
↓	↓	↓	↓
Modélisation des flux GES intermodaux port-ville (Exemple à la page 39) Élaboration d'une base intégrée sur les émissions du système maritime laurentien (Exemple à la page 51) Caractérisation de 39 formulations de carburants alternatifs (Exemple à la page 57)	Validation de prototypes réduisant le bruit de machinerie navale (Exemple à la page 43) Détermination d'effets comportementaux différés chez le béluga (Exemple à la page 47) Identification de refuges acoustiques naturels (Exemple à la page 55)	Outil décisionnel pour la gestion de la vitesse des navires (Exemple à la page 41) Développement de solutions hybrides végétalisées contre l'érosion (Exemple à la page 45)	Modélisation automatisée de l'abondance des bélugas (Exemple à la page 47) Analyse des co-occurrences navires-esturgeons (Exemple à la page 55) Identification de deux seuils acoustiques critiques chez la moule bleue (Exemple à la page 63)
↓	↓	↓	↓
Contribution structurante à la trajectoire de décarbonation du Québec maritime	Passage d'une logique descriptive à une capacité de mitigation mesurable	Contribution directe à la réduction de l'érosion et à la protection des infrastructures et habitats riverains	Renforcement des bases scientifiques nécessaires à une cohabitation durable entre navigation et biodiversité

Mesurabilité des impacts

Les projets ne se limitent pas à des constats qualitatifs : ils produisent des indicateurs quantifiables (tonnes de CO_2, décibels réduits, seuils biologiques, kilomètres affectés). Cela permet d'intégrer les résultats dans des cadres réglementaires, des plans de gestion, des stratégies portuaires ou encore dans des bilans environnementaux.

Passage de l'observation à l'atténuation

PLAINE ne documente pas uniquement les impacts environnementaux ; il développe :

- Des outils décisionnels
- Des lignes directrices
- Des prototypes technologiques
- Des scénarios de transition

Il s'agit d'une approche proactive, orientée mitigation et adaptation.

Intégration systémique des enjeux

À l'échelle du programme, les projets contribuent à une prise en compte complémentaire de plusieurs enjeux :

- Climat
- Biodiversité
- Qualité des habitats
- Acceptabilité sociale
- Performance opérationnelle

Cette approche intégrée reflète la complexité réelle du système Saint-Laurent, évitant les solutions sectorielles isolées.

Contribution à la résilience du Québec maritime

En structurant des capacités scientifiques, des outils et des protocoles, PLAINE renforce la capacité du Québec à anticiper les pressions environnementales, adapter ses pratiques de navigation et maintenir la compétitivité de ses ports dans un contexte de transition écologique accélérée.

Ainsi, PLAINE contribue non seulement à réduire l'empreinte environnementale du transport maritime, mais aussi à structurer une capacité collective de gestion durable du Saint-Laurent. Les projets financés constituent des leviers concrets pour concilier performance économique, protection des écosystèmes et acceptabilité sociale.

05.

Formation et relève
consolider les talents au cœur de l'innovation maritime

Le programme PLAINE agit comme un levier structurant de formation interdisciplinaire et professionnalisante. Il contribue à développer une nouvelle génération de spécialistes capables d'intervenir à l'interface entre science, industrie, gouvernance et transition environnementale.

Un volume significatif de personnel hautement qualifié (PHQ)

+50

PHQ formés
Maîtrise, doctorat, postdoctorat

18

PHQ formés dans le projet METAMAN seulement

7

mémoires et essais produits ou en cours

+

stages collégiaux et participations étudiantes aux activités de terrain, de modélisation et de laboratoire

Formation ancrée dans des problématiques réelles

Les personnes formées ont travaillé sur des enjeux divers, mais surtout actuels, tel que sur des données stratégiques (AIS, données acoustiques, données portuaires ou sur des essais moteurs réels, et ce, en collaboration directe avec des ports et ministères et dans des contextes réglementaires complexes. Cette immersion favorise une compréhension systémique du secteur maritime, rarement accessible dans des parcours académiques traditionnels.

Développement de profils interdisciplinaires rares

Les compétences développées combinent entre autres IA et bioacoustique, génie chimique et réglementation maritime, hydrodynamique et concertation citoyenne ou encore économie, droit et transition énergétique. Ces profils hybrides sont particulièrement recherchés dans un contexte de transition maritime accélérée.

Montée en autonomie scientifique et professionnelle

Le volet Jeunes chercheurs et chercheuses illustre un effet structurant important :

Direction autonome de projets	Gestion de budgets	Encadrement étudiant	Développement de réseaux intersectoriels

PLAINE contribue ainsi à la consolidation d'une relève scientifique capable de porter des programmes de recherche d'envergure.

Structuration de communautés d'expertise

Les projets ont permis la création de communautés appliquées à des domaines de pointes, tels que la décarbonation maritime, la réduction du bruit sous-marin, les carburants alternatifs ou encore les infrastructures côtières innovantes. PLAINE entraîne ainsi dans son sillage la formation de communautés qualifiées autour d'enjeux actuels. PLAINE entraîne dans son sillage la formation de communautés qualifiées autour d'enjeux actuels.

PLAINE ne forme pas uniquement des étudiantes et étudiants : il structure une capacité humaine durable pour accompagner la transformation du secteur maritime québécois. En développant des compétences directement connectées aux besoins du terrain, le programme investit dans la résilience, la compétitivité et l'innovation à long terme du Québec maritime.

06.

Mobilisation et transfert de connaissances

structurer une communauté maritime active et connectée

Les projets financés par PLAINE ont généré une circulation soutenue des connaissances entre milieux scientifiques, industriels, gouvernementaux et communautaires.

Au-delà de la diffusion académique, le programme favorise une mobilisation active, favorisant l'appropriation des résultats et leur intégration dans les pratiques décisionnelles et opérationnelles.

Indicateurs de mobilisation

+135
communications scientifiques et professionnelles

dont **27**
articles scientifiques soumis ou en préparation

30
ateliers et rencontres intersectorielles

+25
initiatives de vulgarisation grand public
Émissions, entrevues, présentations publiques, bande dessinée.

2
outils numériques développés et accessibles
NavImpact, pipeline IA-Acoustique


© Patrick - stock.adobe.com

Transfert multidirectionnel et non linéaire

Le transfert ne s'effectue pas uniquement de la recherche vers l'industrie. On observe :

- Une co-construction avec les ports et ministères
- Des rétroactions terrain intégrées aux modèles
- Des échanges continus avec les communautés côtières
- Des interactions internationales

Il s'agit d'un processus itératif d'apprentissage collectif plutôt que d'une simple diffusion descendante.

Appropriation par les milieux preneurs

Plusieurs résultats ont été intégrés à des réflexions réglementaires, mobilisés dans des décisions portuaires, utilisés pour orienter des scénarios énergétiques ou encore repris dans des projets subséquents. La mobilisation dépasse donc la visibilité scientifique : elle influence les pratiques.

Rayonnement national et international

Les travaux financés ont été présentés dans des forums spécialisés internationaux, dans des communautés de pratique sur la décarbonation et auprès de partenaires européens et nord-américains. Cette visibilité contribue au positionnement du Québec maritime comme acteur clé en innovation durable.

Contribution à la compétitivité à long terme du Québec maritime

En formant des expertises spécialisées dans les universités, les administrations portuaires, les ministères, les entreprises ou encore dans les ONG environnementales, PLAINE agit comme catalyseur de réseau, densifiant les interactions et réduisant les silos sectoriels.

Ainsi, la mobilisation et le transfert soutenus par PLAINE contribuent à structurer une communauté maritime intégrée, où la connaissance circule rapidement, se transforme en action et nourrit l'innovation continue. Cette capacité de diffusion et d'appropriation constitue un levier essentiel pour accélérer la transition maritime durable du Québec.

07. Perspectives et effet levier
un multiplicateur économique puissant

Le programme PLAINE agit comme un catalyseur d'investissement et un accélérateur de collaborations porteuses. Les projets financés ont généré des retombées financières et institutionnelles qui dépassent largement l'enveloppe initiale accordée.

Financement additionnel mobilisé

496 242 $

en financement subséquent confirmé
Obtenus dans le prolongement des projets PLAINE

Projets ayant généré individuellement

- ***366 242 $*** *– Carburants alternatifs (Mitacs, RQEI, DEC)*
- ***120 000 $*** *– Transport intermodal (Mitacs)*
- ***10 000 $*** *– Gestion de la vitesse des navires (Transports Canada)*

Mobilisation de fonds nationaux et internationaux

Un ratio de levier qui progresse traduit une crédibilité croissante du programme et une confiance accrue des partenaires.

Effet levier institutionnel

PLAINE a permis :

- L'accès à des données stratégiques (AIS, données acoustiques, données biologiques, télémétrie VEMCO)
- L'établissement de collaborations internationales (France, Pays-Bas, Royaume-Uni)
- Le développement de projets subséquents (MITACS, FNCEAP, RQEI)

Ces retombées structurent des partenariats durables qui survivront au cycle de financement initial.


© Delphotostock - stock.adobe.com

Amplification des investissements publics

PLAINE agit comme capital d'amorçage stratégique :

- Réduction du risque initial pour les partenaires
- Structuration de propositions plus compétitives
- Attraction de cofinancements industriels et fédéraux

L'investissement public initial déclenche des flux financiers additionnels et accélère la maturité des projets.

Création d'actifs durables

Au-delà des montants, les projets ont permis une accumulation de capital scientifique et technologique importante pour le Québec, par l'acquisition et la pérennisation d'équipements spécialisés, le développement de bases de données réutilisables, la constitution d'expertises reconnues et la montée en TRL de solutions technologiques.

Positionnement stratégique du Québec maritime

Plusieurs projets financés servent de référence pour des initiatives subséquentes et alimentent des feuilles de route sectorielles. Ils ont permis de positionner le Saint-Laurent comme corridor pilote de transition énergétique en plus de renforcer la crédibilité québécoise dans les forums internationaux, contribuant ainsi à la compétitivité internationale du Québec maritime.

Effet structurant à long terme

Les suites observées incluent :

- Dépôts de nouveaux projets
- Recrutement de nouvelles personnes étudiantes
- Déploiement progressif d'outils
- Consolidation de pôles d'expertise

PLAINE génère un effet cumulatif, où chaque projet augmente la capacité du suivant.

Ainsi, PLAINE transforme de petites enveloppes ciblées en projets structurants de grande envergure. Le programme ne finance pas uniquement des initiatives ponctuelles : il agit comme multiplicateur économique et scientifique, renforçant durablement la capacité d'innovation, la compétitivité et la résilience du Québec maritime.

Un réseau ancré sur le territoire et ouvert sur le monde




Sept-Îles
Baie-Comeau
Matane
Gaspé
Rimouski
Tadoussac
Sidney, BC
Toronto, ON
Darmouth, NÉ
Halifax, NÉ
Tempe, Arizona
Spring, Texas
Copenhague, Danemark
Maastricht, Pays-Bas
Paris, France
Toulon, France
Naples, Italie
Aveiro, Portugal
Chennai, Inde
Perth, Australie

Rayonnement académique : des impacts mesurables

Les résultats scientifiques du programme PLAINE sont observables dans la littérature depuis 2022, soit à peine un an après le lancement du premier appel en 2021, un rythme qui témoigne d'une mobilisation rapide et efficace des équipes financées. Les publications issues des projets s'échelonnent de 2022 à 2026, illustrant un rayonnement progressif et soutenu des connaissances générées.

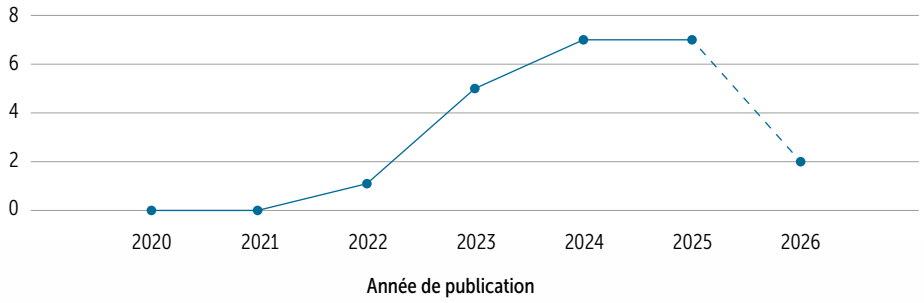
La présente section propose une analyse bibliométrique effectuée sur SciVal (Elsevier) de 22 articles liés au programme PLAINE et indexés dans *Scopus*, offrant un indicateur structuré et mesurable de leur portée scientifique, sans être exhaustif. Elle met en évidence une trajectoire de rayonnement académique en croissance depuis 2022, première année où les retombées du programme deviennent visibles dans la littérature. La production scientifique augmente de manière soutenue entre 2022 et 2026, reflétant la maturation progressive des projets financés et leur capacité à générer des résultats publiables. Cette dynamique se traduit également par une forte visibilité : 612 vues sur Scopus et 159 citations recensées à ce jour, avec un pic notable d'attention pour les publications récentes.

La proportion élevée d'articles en libre accès (64 %) favorise par ailleurs une diffusion large et rapide des résultats. Enfin, la mobilisation de 71 personnes autrices et la présence de 9 collaborations internationales témoignent d'un écosystème scientifique actif et interconnecté, confirmant que le rayonnement de PLAINE dépasse largement le cadre strict des équipes financées. Fidèle à la nature collaborative de la recherche, il est important de souligner que plusieurs coauteurs et partenaires contribuent à ces publications, élargissant ainsi l'influence de PLAINE bien au-delà des seuls bénéficiaires directs du financement.

* Ces données ont été mises à jour le 12 août 2026.



ARTICLES SCIENTIFIQUES PLAINE PUBLIÉS PAR ANNÉE



64 %
des articles sont *All Open Access*

71
personnes autrices impliquées

1,34
Field-Weighted Citation Impact[1]

9
collaborations internationales[2]

159
citations[3]

612
vues sur Scopus

[1] Les publications PLAINE ont reçu 29 % plus de citations par rapport à la moyenne des citations reçues par toutes autres publications similaires.
[2] 40,9 % des articles présentent des collaborations internationales.
[3] 7.2 citations en moyenne par publication.



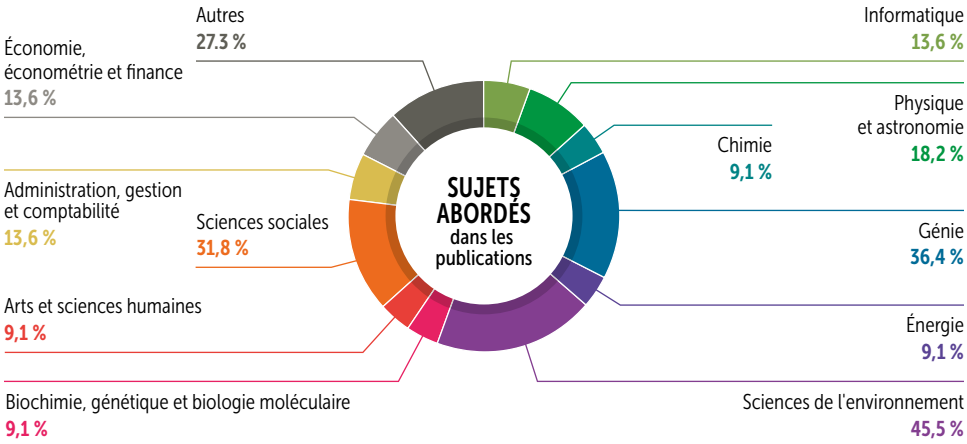
© enanuchit - stock.adobe.com



© Julien BASTIDE - stock.adobe.com

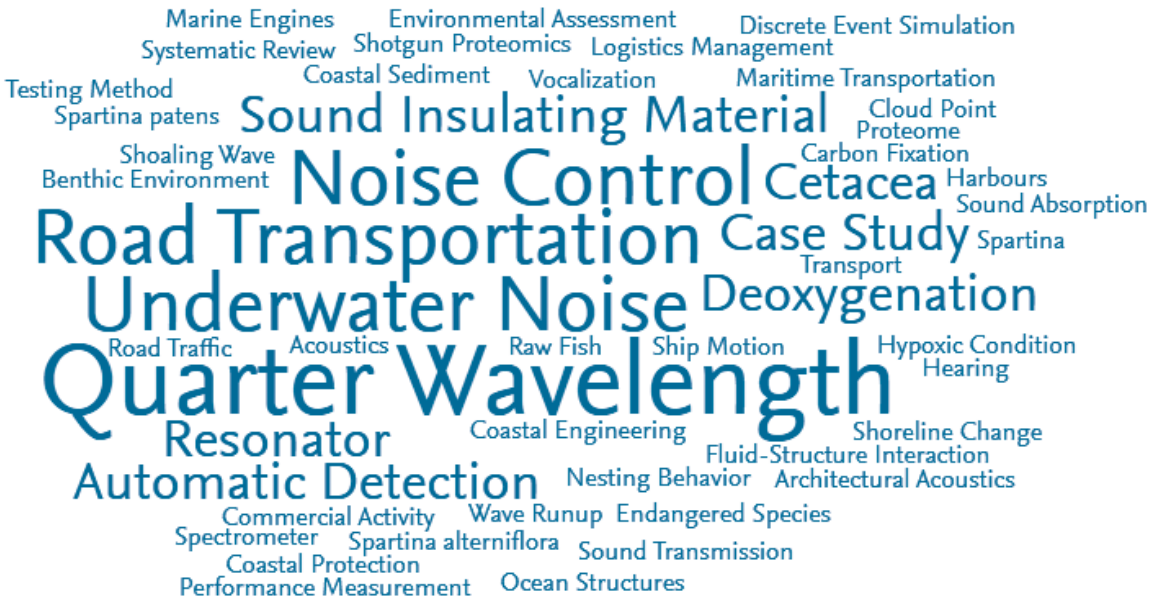
Une interdisciplinarité évidente

L'analyse des sujets abordés dans les 22 publications confirme le caractère résolument interdisciplinaire du programme PLAINE. Les domaines dominants relèvent des sciences de l'environnement (45,5 %) et de l'ingénierie (36,4 %), ce qui reflète l'ancrage du programme dans des enjeux concrets liés à la gestion durable du transport maritime et à la protection des écosystèmes. Les sciences sociales (31,8 %) occupent également une place importante, démontrant une prise en compte des dimensions réglementaires, économiques et sociétales associées à la transition maritime.



Chaque publication peut être associée à plusieurs thématiques. Les pourcentages représentent donc la part relative des publications par domaine thématique, et non l'importance de la thématique par rapport aux autres.

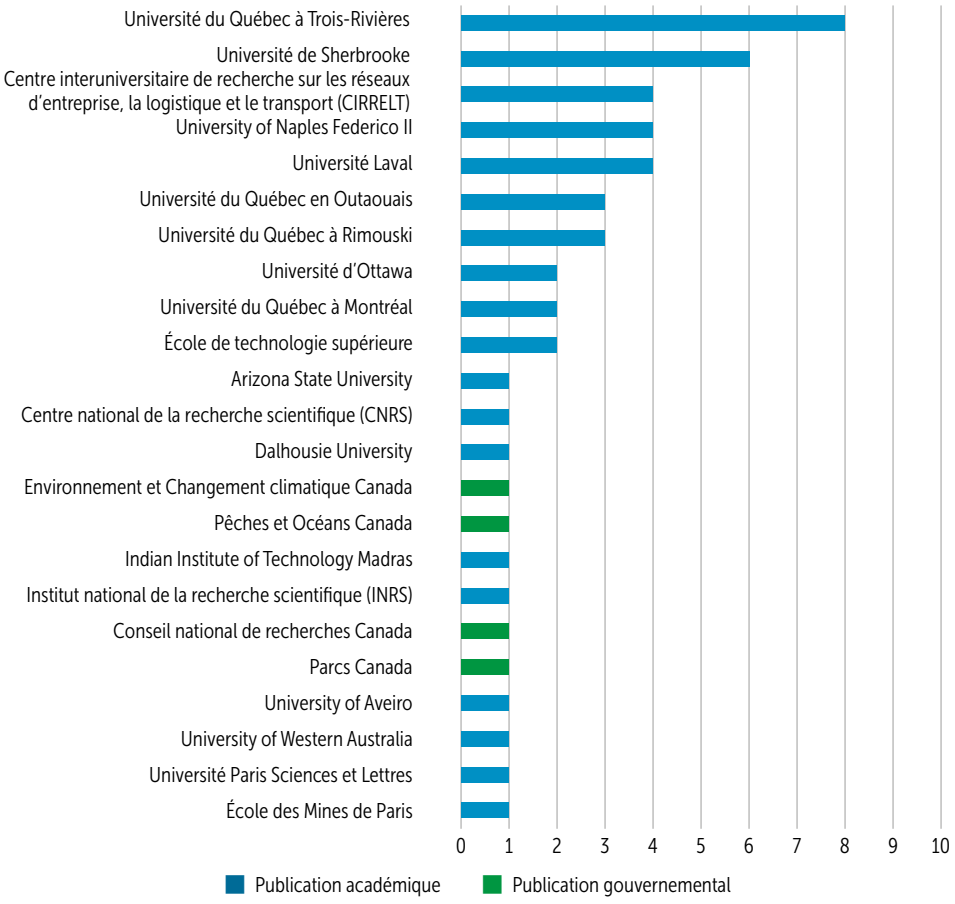
Le nuage de mots-clés met en évidence trois axes majeurs : le bruit sous-marin et ses effets sur la faune (*underwater noise, cetacea, noise control, quarter wavelength*), la décarbonation et les transports (*road transportation, deoxygenation*), ainsi que les dynamiques côtières et hydrodynamiques (*wave runup, shoreline change, coastal engineering*). Cette diversité thématique illustre la capacité de PLAINE à couvrir l'ensemble du continuum recherche-innovation-gestion, en intégrant des approches technologiques avancées, des enjeux écologiques critiques et des considérations socioéconomiques stratégiques.



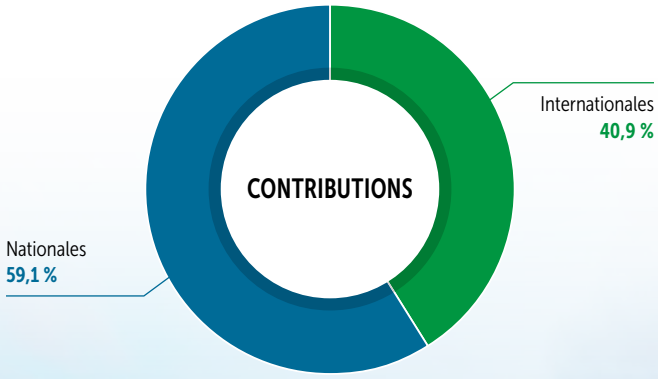
Un réseau de collaboration qui élargit l'empreinte scientifique

Les collaborations scientifiques constituent un levier essentiel pour accroître la portée, la qualité et l'influence des travaux de recherche. L'analyse des 22 articles recensés dans SciVal met en évidence un réseau de co-rédaction particulièrement diversifié, mobilisant des chercheurs et chercheuses issus d'un large éventail d'établissements de recherche universitaires et gouvernementaux. Au total, plus d'une vingtaine d'institutions distinctes ont contribué aux publications, dont l'Université du Québec à Trois-Rivières, l'Université Laval, l'Université du Québec à Rimouski, ainsi que plusieurs partenaires internationaux, tels que l'*Arizona State University*, *University of Western Australia* et l'École des Mines de Paris. Cette diversité institutionnelle témoigne de la capacité du programme à réunir des expertises complémentaires autour d'enjeux de recherche communs.

NOMBRE D'ARTICLES PUBLIÉS PAR ANNÉE



Les données de collaborations internationales révèlent également une forte ouverture sur le monde scientifique. Parmi les publications analysées, les collaborations internationales impliquent des partenaires du Canada, de l'Italie, de l'Australie, de France, de l'Inde, du Portugal et des États-Unis. Au total, 41 % des articles analysés représentaient une collaboration à l'international. Au-delà des chiffres, ces partenariats favorisent la circulation des connaissances, le partage de méthodologies et l'accès à des contextes de recherche variés. La co-rédaction d'articles entre chercheuses et chercheurs de différentes institutions et de différents pays renforce ainsi la visibilité des résultats, élargit leur rayonnement scientifique et consolide la capacité du réseau à répondre à des problématiques complexes nécessitant une approche multidisciplinaire et internationale.



© Anupam - stock.adobe.com

Une visibilité accrue jusqu'à la sphère publique

Les chercheuses et chercheurs du programme PLAINE ont démontré un engagement soutenu envers la diffusion des connaissances auprès du grand public. Leurs travaux ont fait l'objet de nombreuses retombées dans les médias traditionnels, notamment dans la presse écrite, à la radio, à la télévision et sur diverses plateformes d'information scientifique. Cette présence médiatique a contribué à faire connaître les résultats de recherche à un large auditoire et à sensibiliser la population aux enjeux touchant les milieux côtiers et marins du Saint-Laurent. En partageant leur expertise au-delà du milieu académique, les équipes de recherche ont renforcé le dialogue entre la science et la société, tout en valorisant l'importance de la recherche pour éclairer les défis environnementaux actuels.

2023-04 LeContrecourant.com | ZIP des Seigneuries – Une saison collaborative

2023-06 Radio-Canada OHdio | Le Congrès sur l'avenir maritime : vers le transport durable et intelligent

2023-06 Ressources aquatiques Québec | Le RAQ bonifie une subvention du programme PLAINE par Réseau Québec maritime

2023-07 Alliance Verte | Le Port de Montréal lance un projet de recherche sur l'e-méthanol

2023-07 Port de Montréal | Carburants alternatifs : le Port de Montréal se lance dans un projet de sur l'e-méthanol

2023-07 Radio-Canada OHdio | Réduire la pollution du secteur maritime

2023-08 ICI Radio-Canada | Place Publique – Émission du 14 août 2023

2023-09 Maritime Magazine | Une feuille de route pour décarboner le système Saint-Laurent

2023-09 Port de Montréal | Une feuille de route pour décarboner le système Saint-Laurent

2023-09 Port de Trois-Rivières | Un premier corridor maritime vert domestique au Canada

2024-07 Industrie & Commerce | La « recherche bleue » au service de l'industrie maritime

2024-10 Réseau Québec maritime | Plus d'un million $ pour atténuer les impacts du transport maritime commercial et des activités portuaires au Québec

2025 Savoir média | Fleuve en eaux troubles (série)

2025-02 ICI Radio-Canada | Découverte : Des récifs imprimés pour contrer l'érosion

2025-06 Le Nouvelliste | Une technologie pour éviter les vagues destructrices sur le Saint-Laurent

Articles analysés

1. *Coiled quarter wavelength resonators for low-frequency sound absorption under plane wave and diffuse acoustic field excitations*
   G. Catapane, G. Petrone, O. Robin, K. Verdière
   10.1016/j.apacoust.2023.109402
2. *Toward an efficient sea-rail intermodal transportation system: a systematic literature review*
   T. Abu-Aisha, J.-F. Audy, M. Ouhimmou
   10.1186/s41072-024-00182-z
3. *Series and parallel coupling of 3D printed micro-perforated panels and coiled quarter wavelength tubes*
   G. Catapane, G. Petrone, O. Robin
   10.1121/10.0022378
4. *Deformation of Spartina patens and Spartina alterniflora stems under irregular wave action*
   A. Markov, J. Stolle, R. Henteleff, I. Nistor, D. Pham Van Bang, E. Murphy, A. Cornett
   10.1080/21664250.2023.2195030
5. *Port Access Fluidity Management during a Major Extension Project: A Simulation-Based Case Study*
   B. Ben Daya, J.-F. Audy
   10.3390/su16072834
6. *Design and laboratory validation of multistructured acoustic resonators for the attenuation of airborne machinery noise in ships*
   M. Vulliez, G. Catapane, M.-A. Guy, K. Kesour, J.-C. Gauthier Marquis, R. Jeanvoine, F. La Madeleine, K. Verdière, G. Petrone, O. Robin
   10.1016/j.oceaneng.2025.120515
7. *Machine-Learning Approach for Automatic Detection of Wild Beluga Whales from Hand-Held Camera Pictures*
   V.M. Araújo, A. Shukla, C. Chion, S. Gambs, R. Michaud
   10.3390/s22114107
8. *Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Heavy-Duty Trucking in a Non-Containerized Port through Simulation-Based Methods*
   A. Lagha, B. Ben Daya, J.-F. Audy
   10.3390/su16051904
9. *Impacts of Ship-Induced Waves along Shorelines during Flooding Events*
   C.E. Bluteau, A. Van Rooijen, P. Matte, D. Dumont
   10.1061/JWPED5.WWENG-1943
10. *Analysis of a methodology for simulating a port logistics system to evaluate rail capacity in bulk ports*
    E. Bergeron, J.-F. Audy, P. Forget
    10.1016/j.trpro.2024.12.021
11. *New Deoxygenation Threshold for N_2 and N_2O Production in Coastal Waters and Sediments*
    L. Pascal, F. Cloutier-Artiwat, A. Zanon, D.W.R. Wallace, G. Chaillou
    10.1029/2024GB008218

12. *Automatic detection and classification of beluga whale calls in the St. Lawrence estuary*
    T. Cotillard, X. Sécheresse, J. Aubin, M.-A. Mikus, V. Vergara, S. Gambs, R. Michaud, C.C.A. Martins, S. Turgeon, C. Chion, I. Roca
    10.1121/10.0030472

13. *Assessment of the effectiveness of ship machinery noise reduction measures using a test platform in a water basin*
    M.-A. Guy, K. Kesour, M. Vulliez, S. Gagnon, J. St-Jacques, R. Tremblay, J.-C. Gauthier Marquis, O. Robin
    10.1016/j.oceaneng.2024.119380

14. *Preliminary investigation of the sea-rail intermodal system's efficiency using a simulation approach: case of the Port of Trois-Rivieres*
    T. Abu-Aisha, J.-F. Audy, M. Ouhimmou
    10.1186/s41072-024-00176-x

15. *Comprehensive synthesis of the diversity of hearing abilities and sound production mechanisms of freshwater fish species found in northeastern North America*
    I.T. Roca, R. Proulx, C. Chion, M. Mingelbier
    10.1007/s11160-025-09961-8

16. *Quarter-wavelength acoustic resonators for ship machinery noise control*
    M. Vulliez, M.-A. Guy, J. St-Jacques, K. Kesour, J.-C. Gauthier Marquis, R. Jeanvoine, L. Rimani, A. Mougey, S. Gagnon, O. Robin
    10.1016/j.oceaneng.2025.123261

17. *Fast Coupled Monodirectional Cooling Image Analysis Cell for Accurate Cloud Point Detection and Cold Flow Optimization of Renewable Marine Diesel Blends*
    A.A. Sarbanha, E.D. Piedrahita Piedrahita, M. Thiboutot Rioux, F. Larachi
    10.1021/acs.iecr.5c02994

18. *Vessel routing planning on the St. Lawrence River in Canada*
    C. Gharbi, J.-F. Audy, M. Rönnqvist, P. Flisberg
    10.1007/s13437-025-00379-4

19. *The performance of flexible fluid-structure interaction module for saltmarsh vegetation under flow and wave action*
    R. Hentele, J. Stolle, A. Markov, I. Nistor, V. Sriram
    10.1139/cjce-2023-0193

20. *Proteomic profiling unveils compensatory physiological mechanisms of an annelid living across a natural persistent deoxygenation gradient*
    A.L.R. Cuenca, D. Madeira, G. J. Parent, L. Pascal, V. Fourcassié, M. Boissonneault, A. Droit, P. Archambault, G. Chaillou, P. Calosi
    10.1016/j.envres.2025.122654

21. *Pilot dispatching problem along a maritime corridor: a case study in the St. Lawrence River*
    M. Hematian, J.-F. Audy, M. Rönnqvist
    10.1186/s 41072-025-00198-z

22. *Labyrinth quarter-wavelength tubes array for the reduction of machinery noise*
    G. Catapane, G. Petrone, O. Robin, J.C. Gauthier-Marquis, S. De Rosa
    10.21741/9781644902813-158



© Benoit - stock.adobe.com

Les projets PLAINE : de la recherche à l'impact

Cette section présente les fiches synthèses des projets financés dans le cadre des différents appels du programme PLAINE. Chacune d'entre elles offre un portrait concis des objectifs, des partenaires mobilisés et des principales contributions structurantes de chaque projet, en mettant l'accent sur leurs retombées concrètes pour le Québec maritime. Ensemble, ces fiches illustrent la diversité, la complémentarité et la cohérence du portefeuille de projets soutenus, ainsi que la capacité du programme à accompagner des initiatives à différents stades de maturité, de la recherche fondamentale à l'innovation appliquée. Cette section permet ainsi de mesurer, à travers des exemples concrets, la valeur ajoutée du programme PLAINE et son rôle de levier stratégique pour le développement durable, l'innovation et la structuration de l'écosystème maritime québécois.



© Pascal Huot - stock.adobe.com

Appel 1 – 2021-2023

Outils d'aide à la décision en transport intermodal :
vers un port urbain carboneutre
Par Jean-François Audy (UQTR)

Développement d'un outil d'aide à la décision pour la
gestion de la vitesse des navires sur le Saint-Laurent
Par Cynthia Bluteau (IMAR)

MétaMan - Utilisation de métamatériaux pour la réduction du bruit lié
à la machinerie des navires : évaluation objective et économique
Par Olivier Robin (UdeS)

Solution mixte Végétalisée contre l'Érosion des berges induite par les vagues
de Batillage : retour d'expériences, Innovation et Matériaux (VERBATIM)
Par Jacob Stolle (INRS)

Impact du bruit sous-marin de la navigation commerciale sur l'abondance
de bélugas dans le Saguenay : évaluation à l'aide de l'intelligence artificielle,
de l'acoustique passive et de l'imagerie par drone et pistes d'atténuation
Par Clément Chion (UQO)

Statut du projet : Terminé
Durée : 2021-2025
Budget : 300 500 $

Outils d'aide à la décision en transport intermodal : vers un port urbain carboneutre

Équipe de recherche : Jean-François Audy (UQTR), Mustapha Ouhimmou (École de technologie supérieure), Luc Faucher (Centre d'expertise ferroviaire RAIL, Cégep de Sept-Îles), Éric Tremblay (Cégep de Sept-Îles) | **Collaborations et partenariats :** Administration portuaire de Trois-Rivières, Transports Canada, Innovation et Développement économique Trois-Rivières

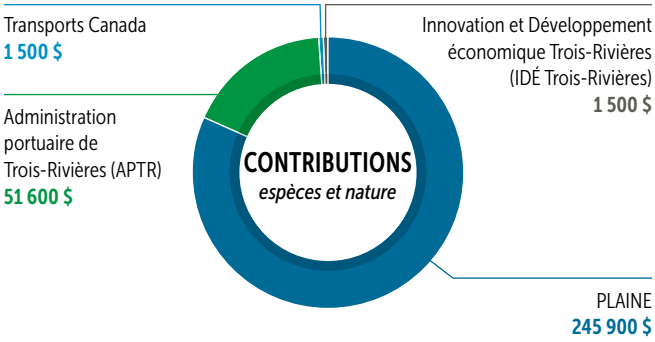
La circulation efficiente des marchandises est cruciale à la croissance économique. En raison de l'augmentation des volumes manutentionnés, une planification et gestion avisée de la capacité portuaire est essentielle. La présence de sous-capacité en infrastructures portuaires tout comme l'utilisation sous-optimale de celles-ci peut faire la différence entre un flux de marchandises fluide et sobre en émissions de gaz à effet de serre (GES) d'un flux lent et fortement émetteur en GES. En raison de son potentiel d'analyse avancée des systèmes complexes comme un binôme port-ville, ce projet a recours à une approche de simulation afin de déterminer les goulots d'étranglement périodiques selon divers scénarios prospectifs et ainsi anticiper la congestion et les émissions de GES associées. Composante analytique d'un futur jumeau numérique de port urbain, les outils de simulation développés se traduiront par des recommandations aux décideurs publics sur des stratégies éprouvées en matière d'atténuation des goulots et de réduction des émissions GES en transport intermodal port-ville.

« Le projet a permis de rassembler une équipe de recherche intersectorielle dans le cadre d'une nouvelle collaboration dédiée à l'étude du transfert intermodal dans un port généraliste, et ce, dans une perspective de décarbonation port-ville. Réalisés en collaboration étroite avec un stagiaire postdoctoral, une étudiante de maîtrise a notamment vu ses travaux de recherche mériter un prix et l'intérêt d'une PME technologique canadienne pour l'ajout d'une fonctionnalité de bilan GES à son outil de suivi des trafics de camionnage dans un port. »

— Jean-François Audy, chercheur principal (Université du Québec à Trois-Rivières)

Réalisations principales

- Compréhension holistique des opérations intermodales portuaires et des émissions de GES
- Modèle d'évaluation des émissions de GES routier complet et publié
- Appui direct aux décisions stratégiques de l'autorité portuaire pour les réseaux routier et ferroviaire



1
infrastructure portuaire modifiée
ajout d'une 3e guérite

6
étudiant·es formé·es

11
articles scientifiques

120 000 $
en financements subséquents confirmés

Axe d'impact	Contributions structurantes et retombées du projet	Analyse de la portée des contributions
Intersectorialité	• Intégration des milieux universitaire (UQTR - gestion et ETS - génie), collégial (Cégep de Sept-Îles), communautaire (IDÉ Trois-Rivières), fédéral (Transport Canada) et industriel (APTR, PME technologique).	**Intersectorialité approfondie et fonctionnelle,** couvrant l'ensemble de la chaîne de valeur, de la recherche fondamentale à l'application opérationnelle.
Avancées scientifiques	• Compréhension holistique des opérations intermodales portuaires et des émissions de GES. • Correction d'anomalies de données dans l'outil de traçabilité de camionnage et identification d'une lacune technologique en traçabilité interne des activités ferroviaires majeure. • Modèle d'évaluation des émissions de GES routier complet et publié ; version ferroviaire amorcée, mais suspendue faute de données.	**Avancées scientifiques structurantes**, produisant des connaissances applicables et des outils analytiques directement mobilisables pour la prise de décision en contexte portuaire.
Innovations dans les milieux preneurs	• Ajout d'une troisième guérite à l'est du port, mesure intégrée aux travaux d'infrastructure. • Proposition de transfert technologique en collaboration avec une PME technologique canadienne pour intégrer le modèle GES au suivi du camionnage, avec l'appui de Transports Canada et de l'administration portuaire. • Appui direct aux décisions stratégiques de l'autorité portuaire pour les réseaux routier et ferroviaire.	**Innovation appliquée à fort ancrage opérationnel**, se traduisant par des changements concrets d'infrastructures et de pratiques de gestion.
Durabilité environnementale	• Amélioration de la qualité des données de traçabilité interne.	**Contribution indirecte mais structurante à la durabilité**, en renforçant l'état des connaissances.
Formation et relève	• 6 PHQ formés (1 stagiaire collégial, 3 maîtrises et 2 postdocs)	**Contribution significative au développement de la relève**, favorisant l'acquisition de compétences interdisciplinaires.
Mobilisation et transfert de connaissances	• 11 articles scientifiques • 1 mémoire (UQTR) et 1 essai de maîtrise (ETS) • 9 participations à des activités de transfert des connaissances et de maillage • 4 conférences (scientifiques et gouvernementales), incluant une présentation à portée internationale (Portugal et Espagne).	**Rayonnement soutenu et diversifié**, assurant une diffusion efficace des connaissances tant auprès de la communauté scientifique que des milieux preneurs.
Perspectives et effet levier	• Poursuite du développement ferroviaire via un projet MITACS Accélération (120 000 $) obtenu grâce à PLAINE. • Dépôt d'une nouvelle demande au 3e appel PLAINE. • Dépôt de demande de deux projets postdoctoraux au programme Jeunes chercheurs et chercheuses de PLAINE.	**Effet levier confirmé**, démontrant la capacité du projet à générer des suites structurantes et à prolonger la recherche appliquée au-delà du financement initial.

Statut du projet : Terminé
Durée : 2021-2024
Budget : 261 605 $

Développement d'un outil d'aide à la décision pour la gestion de la vitesse des navires sur le Saint-Laurent

Équipe de recherche : Cynthia Bluteau (IMAR), Grant McKenzie (Université McGill), David Didier (UQAR), Dany Dumont (ISMER-UQAR), Pascal Matte (ECCC), Jérémy Beaudry (Innovation maritime), Pascal Dubé (Innovation maritime) | **Collaborations et partenariats :** Administration de pilotage des Laurentides, Comité ZIP Les Deux Rives, Environnement et changement climatique Canada, Comité ZIP Lac Saint-Pierre

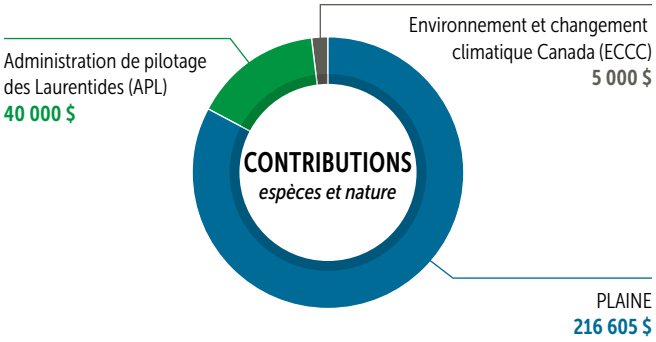
Le projet vise à créer un outil informatique afin d'estimer l'ampleur des vagues générées sur la rive par les navires sous diverses conditions de navigation (vitesse, niveau d'eau, forme de coque) sur un tronçon fluvial du Saint-Laurent. À terme, l'outil permettra de prendre des décisions quant au contrôle de la vitesse des navires en deçà de celles déjà existantes afin d'éviter des incidents tels que survenus lors de la crue printanière de 2017 concernant des dommages qui auraient été causés par des vagues de navires. Des activités de concertation sont aussi prévues avec la communauté afin de comparer leurs préoccupations et perceptions vis-à-vis l'impact des vagues générées par les navires.

« Le projet a permis d'initier une nouvelle collaboration académique entre les équipes de recherche de Rimouski (IMAR et UQAR) en sciences et génie et l'équipe de l'Université McGill dirigée par Grant McKenzie, spécialisée dans l'intégration des données non structurées issues des sciences sociales. Cette collaboration s'est faite en étroit partenariat avec les spécialistes de la navigation maritime (pilotes du Saint-Laurent par le biais de l'APL), des spécialistes en concertation autour d'enjeux socio-environnementaux locaux (Comité ZIP), ainsi que des chercheurs gouvernementaux (ECCC). »

— Cynthia Bluteau, chercheuse principale (Innovation maritime)

Réalisations principales

- NAVimpact : mise à disposition d'un outil décisionnel concret pour guider la réduction de vitesse des navires dans les zones sensibles
- Renforcement des capacités des gestionnaires de la navigation
- Données, expertises et besoins du milieu intégrés de façon conjointe (navigation, perceptions sociales, modélisation)



208
passages de navires analysés

2
étudiant·es formé·es

1
outil décisionnel disponible

10 000 $
en financements subséquents confirmés

Axe d'impact	Contributions structurantes et retombées du projet	Analyse de la portée des contributions
Intersectorialité	• Projet réunissant ingénierie, géographie, modélisation hydrodynamique, sciences sociales et concertation citoyenne. • Collaboration étroite entre UQAR, IMAR, McGill, APL, comités ZIP, ECCC et usagers du fleuve.	**Intersectorialité étendue et intégrée**, mobilisant de façon cohérente des expertises scientifiques, institutionnelles et citoyennes autour d'un enjeu commun.
Avancées scientifiques	• Collecte de données terrain : 208 passages de navires analysés (effectués par 135 navires différents) • Développement et calibration du modèle XBeach pour trois secteurs du Saint-Laurent. • Données, expertises et besoins du milieu intégrés de façon conjointe (navigation, perceptions sociales, modélisation).	**Avancées scientifiques appliquées et contextualisées**, combinant modélisation avancée et connaissances terrain.
Innovations dans les milieux preneurs	• NavImpact : mise à disposition d'un outil décisionnel concret pour guider la réduction de vitesse des navires dans les zones sensibles. • Renforcement des capacités des gestionnaires de la navigation.	**Innovation opérationnelle à forte valeur ajoutée**, traduisant les résultats de recherche en outils concrets de gestion sécuritaire et durable du trafic maritime.
Durabilité environnementale	• Potentiel direct de réduction des impacts d'érosion, de jet de rive et de dommages attribuables aux vagues de navires. • Données de terrain publiées en libre accès favorisant la transparence et la réutilisation.	**Contribution directe à la protection des milieux riverains.**
Formation et relève	• 1 étudiante à la maîtrise formée. • 1 stagiaire d'été formé à la collecte de données et à l'analyse hydrodynamique. • Formation interdisciplinaire (modélisation, terrain, sciences sociales, concertation).	**Contribution ciblée mais significative à la relève**, favorisant le développement de profils interdisciplinaires adaptés aux enjeux de gestion fluviale.
Mobilisation et transfert de connaissances	• Production de 2 rapports techniques (méthodologie et guide d'utilisation de l'application Web). • 1 article scientifique publié et 1 article en préparation. • Activités de concertation citoyenne : sondage diffusé auprès des riverains et usagers • 4 participations à des activités de transfert des connaissances et de maillage • 2 jeux de données *Open source* • 1 article de vulgarisation grand public • 1 affiche scientifique	**Rayonnement scientifique et opérationnel soutenu**, facilitant l'appropriation des connaissances par les milieux preneurs et le milieu navigant.
Perspectives et effet levier	• Obtention d'un financement Transport Canada (10 000 $) pour modélisation préliminaire de vagues de navires dans l'Arctique. • Intérêt accru d'ECCC et du Port de Montréal pour soutenir d'autres travaux liés au batillage.	**Effet levier confirmé et potentiel de déploiement élargi**, positionnant l'outil et l'approche comme références pour d'autres contextes de navigation.

Statut du projet : Terminé
Durée : 2021-2025
Budget : 231 735 $

MétaMan - Utilisation de métamatériaux pour la réduction du bruit lié à la machinerie des navires : évaluation objective et économique

Équipe de recherche : Olivier Robin (Université de Sherbrooke), Jie He (Université de Sherbrooke), Jean-Christophe Marquis (Innovation maritime), Kamal Kesour (Innovation maritime), Noureddine Atalla (Université de Sherbrooke), Amedin Celse (Université de Sherbrooke) | **Collaborations et partenariats :** Alliance Éco-Baleine, Société des Traversiers du Québec

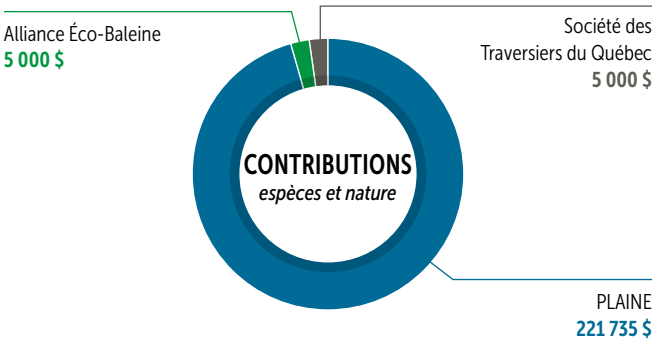
Ce projet vise à développer des solutions innovantes pour réduire le bruit sous-marin lié à la machinerie des navires, afin de réduire l'impact de ce bruit sur la faune sous-marine. La solution proposée, les métamatériaux résonants, a déjà été mise en œuvre dans les domaines aéronautique et automobile, mais son application au domaine maritime constitue une innovation. La pertinence de cette solution est évaluée sur des aspects objectifs, comme la réduction en termes de décibels des niveaux acoustique et vibratoire générés par la machinerie. Les volets économiques de la mise en œuvre de cette solution et de son gain sur le volet environnemental sont également pris en compte.

« Le financement du programme PLAINE a permis de développer au Québec une expertise unique en contrôle du bruit des navires et d'assurer la formation de 18 personnes hautement qualifiées, positionnant durablement le Québec comme un pôle de référence sur cet enjeu du transport maritime durable. »

— Olivier Robin, chercheur principal (Université de Sherbrooke)

Réalisations principales

- Développement et validation de résonateurs acoustiques, mécaniques et hybrides
- 18 PHQ formés
- Premiers prototypes testés en environnement réel



TRL 7 atteint
Prototype validé jusqu'en environnement réel

18
étudiant·es formé·es

1
prototype opérationnel

26
communications scientifiques et grand public

Axe d'impact	Contributions structurantes et retombées du projet	Analyse de la portée des contributions
Intersectorialité	• Intégration des milieux universitaire (UdeS – génie et gestion), collégial (IMAR) et industriel (STQ), à travers une collaboration pérenne (se poursuit dans le cadre de Metaman 2 et 3). • Expertise croisée en acoustique, matériaux, vibration et essais sur navire.	**Intersectorialité forte et opérationnelle**, réunissant plusieurs milieux autour d'un enjeu commun.
Avancées scientifiques	• Développement et validation de résonateurs acoustiques, mécaniques et hybrides. • Publication des méthodes pour réaliser des résonateurs sur le principe des métamatériaux. • Validation en laboratoire, en bassin (IMQ) et sur navire.	**Avancées scientifiques et technologiques majeures**, combinant innovation méthodologique et validation expérimentale complète, du laboratoire à l'environnement opérationnel.
Innovations dans les milieux preneurs	• Montée considérable du *Technology Readiness Level* (niveau de maturité technologique) : passage de TRL 3 – Fonction critique analysée et expérimentée ou preuve caractéristique du concept, à TRL 7 – Démonstration du système prototype en environnement opérationnel. • Premiers prototypes testés en environnement réel, créant une solution applicable aux flottes québécoises.	**Innovation technologique hautement mature**, traduisant la recherche en solutions directement transférables et exploitables par l'industrie maritime.
Durabilité environnementale	• Réduction démontrée du bruit de machinerie.	**Contribution directe et mesurable** pour la protection des écosystèmes aquatiques.
Formation et relève	• 18 PHQ formés (bac, maîtrise, doctorat) • Encadrement et mentorat interdisciplinaire • 4 prix étudiants (prix de présentation et du meilleur papier lors d'une session à une conférence)	**Contribution exceptionnelle au développement de la relève**, tant en nombre qu'en qualité de compétences acquises.
Mobilisation et transfert de connaissances	• 6 participations à des activités de transfert des connaissances et de maillage, dont deux présentations grand public (Nuit des chercheurs – 250 personnes et Soirée Bistrobrain – 200 personnes) et la production d'une planche de bande dessinée • 5 articles scientifiques, dont un en révision • 8 conférences • 2 présentations d'affiches scientifiques • 3 mémoires de maîtrise et 2 essaies (en cours)	**Rayonnement scientifique, industriel et public remarquable**, favorisant une large appropriation des connaissances et une visibilité accrue du programme.
Perspectives et effet levier	• Un financement lié au Fonds de la nature du Canada pour les espèces aquatiques en péril (FNCEAP) visant la réduction du bruit des bateaux de pêche a été obtenu avec un nouveau partenaire (MERINOV). • Développement d'un projet en lien avec le projet PLAINE de plateforme de tests en milieu contrôlé, financé par Transports Canada, Davie et l'UdeS. • Tests des résonateurs in situ sur des bateaux de pêche dans le cadre de la suite du projet (Metaman 2). • Dépôt d'une demande de subvention aux Fonds de recherche du Québec pour Metaman 3.	**Effet levier important et pérennité élevée**, démontrant la capacité du projet à générer des suites structurantes et à consolider un programme de recherche à long terme.

Statut du projet : Terminé
Durée : 2021-2025
Budget : 388 000 $

Solution mixte Végétalisée contre l'Érosion des berges induite par les vagues de Batillage : retour d'expériences, Innovation et Matériaux (VERBATIM)

Équipe de recherche : Jacob Stolle (INRS), Damien Pham Van Bang (ÉTS), Claudiane Ouellet-Plamondon (ÉTS) | **Collaborations et partenariats :** Administration portuaire de Montréal, Conservation de la nature Canada, Comité ZIP des Seigneuries

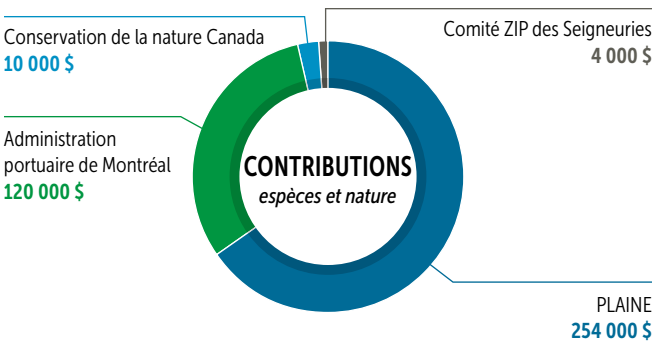
La protection du rivage de l'érosion côtière a traditionnellement consisté à ériger des fortifications telles que des murs, perrés maçonnés ou enrochements. Ces solutions, dites « grises » en raison de leur matériau de construction ou du bilan carbone lors de leur fabrication, ont parfois généré des nuisances au milieu physique (en érodant les zones adjacentes) et biologique (en artificialisant une interface riche en habitats). Les solutions, dites « douces », sont moins intrusives sur l'environnement : elles s'inspirent des processus naturels pour les reproduire ou les restaurer *in vivo*. La souplesse végétale, la porosité des canopées ou des récifs coralliens permettent d'atténuer les forces de vagues à la berge ou d'augmenter la résistance de ces dernières. Toutefois, en cas de fortes vagues, elles doivent être renforcées et conduire à des solutions hybrides. Le projet VERBATIM s'intéresse aux solutions mixtes, devant fonctionnellement être peu intrusives et opérationnellement efficaces pour de fortes vagues, notamment celles causées par le batillage. Il propose un état de l'art et un retour d'expérience bien documenté sur une optimisation de solution hybride de type enrochement-végétation.

« Ce projet a établi au Québec une collaboration stratégique entre le Laboratoire hydraulique environnemental et le laboratoire d'impression 3D à béton de l'ÉTS, combinant des expertises uniques pour développer des infrastructures côtières innovantes, plus performantes et intégrant l'économie circulaire ainsi que des solutions fondées sur la nature. »

Jacob Stolle, chercheur principal (Institut National de la Recherche Scientifique)

Réalisations principales

- Développement d'infrastructures poreuses pour lutter contre l'érosion liée au batillage des navires
- Preuve de concept de l'impression 3D dans les infrastructures côtières ➔ potentiel de colonisation benthique accrue et intégration écologique
- Travail conjoint sur l'économie circulaire, l'impression 3D béton et les infrastructures hybrides basées sur la nature



15 modules poreux imprimés en 3D

5 étudiant·es formé·es

1 Infrastructure développée

6 communications scientifiques

Axe d'impact	Contributions structurantes et retombées du projet	Analyse de la portée des contributions
Intersectorialité	• Projet réunissant hydraulique environnementale (INRS), génie civil et impression 3D béton (ÉTS) et partenaires du milieu (APM, Nature Conservancy, ZIP des Seigneuries). • Concertation entre ingénieurs, spécialistes côtiers, experts en matériaux, partenaires en conservation et gestionnaires de sites côtiers. • Travail conjoint : économie circulaire, impression 3D béton et infrastructures hybrides basées sur la nature.	**Intersectorialité forte et intégrée**, combinant recherche fondamentale, expertise technique et gestion côtière pour co-développer des solutions adaptées aux réalités du terrain.
Avancées scientifiques	• Étude expérimentale complète sur la performance de structures sous l'action des vagues. • Optimisation et développement d'infrastructures poreuses innovantes imprimées en 3D (15 modules). • Innovation technique portée sur les géométries minimales périodiques (formes naturelles complexes difficiles à obtenir sans impression 3D). • Analyse des données préliminaires et optimisations du protocole expérimental pour la poursuite des tests.	**Avancées scientifiques et technologiques ciblées**, ouvrant de nouvelles perspectives pour la conception d'infrastructures côtières innovantes difficilement réalisables par des méthodes conventionnelles.
Innovations dans les milieux preneurs	• Développement d'infrastructures poreuses pour lutter contre l'érosion liée au batillage des navires, protégeant ainsi les zones côtières des municipalités concernées par l'enjeu.	**Innovation appliquée en phase de démonstration**, traduisant la recherche en solutions concrètes.
Durabilité environnementale	• Compréhension accrue des interactions vagues-structures poreuses. • Données expérimentales nouvelles pour appuyer la mise en œuvre de solutions basées sur la nature. • Preuve de concept de l'impression 3D dans les infrastructures côtières → potentiel de colonisation benthique accrue et intégration écologique.	**Contribution environnementale élevée**, favorisant des infrastructures plus durables, écocompatibles et intégrées aux écosystèmes côtiers.
Formation et relève	• 1 PhD (INRS) et 2 postdocs (ÉTS) impliqué.es. • Approche interdisciplinaire exposant les PHQ à l'ingénierie, la modélisation, les infrastructures côtières et les principes d'économie circulaire. • 2 stagiaires ont pu poursuivre le travail entamé dans le cadre de ce projet à l'été 2025.	**Contribution pertinente à la relève**, développant des compétences spécialisées et interdisciplinaires en génie côtier.
Mobilisation et transfert de connaissances	• 4 présentations à des conférences scientifiques. • 1 article scientifique publié et 1 en préparation • Préparation des données pour diffusion publique d'ici un an.	**Rayonnement scientifique en consolidation**, avec un potentiel accru de transfert vers les milieux preneurs à court terme.
Perspectives et effet levier	• Possibilités futures d'extension vers : récifs artificiels, digues vivantes, carapaces de brise-lames imprimées sur mesure. • Expériences à grande échelle prévues en 2025 pour validation finale.	**Effet levier en émergence**, présentant un potentiel élevé de déploiement à plus grande échelle.

Statut du projet : Terminé
Durée : 2021-2024
Budget : 127 141 $

Impact du bruit sous-marin de la navigation commerciale sur l'abondance de bélugas dans le Saguenay :

évaluation à l'aide de l'intelligence artificielle, de l'acoustique passive et de l'imagerie par drone et pistes d'atténuation

Équipe de recherche : Clément Chion (UQO), Sébastien Gambs (UQAM), Jérome Dupras (UQO), Angélique Dupuch (UQO), Véronique Lesage (Pêches et Océans Canada), Robert Michaud (Groupe de recherche et d'éducation sur les mammifères marins [GREMM]), Valeria Vergara (*Raincoast Conservation Foundation*), Samuel Turgeon (Parc marin du Saguenay–Saint-Laurent) | **Collaborations et partenariats :** GREEM, Parc marin du Saguenay–Saint-Laurent (Parc Canada), Université du Québec en Outaouais

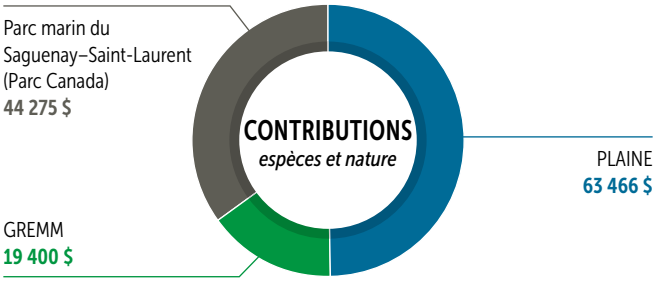
Ce projet a développé des outils pratiques pour caractériser automatiquement et en continu l'utilisation spatio-temporelle de l'habitat et l'abondance locale des populations de bélugas dans le Saguenay. Notre travail est le premier à avoir développé un pipeline complet capable non seulement de détecter et classer le comportement acoustique du béluga, mais aussi d'estimer l'abondance des bélugas sur la base de données acoustiques, le tout avec des scores de précision élevés. Des estimations continues et précises de l'abondance et de l'activité vocale des bélugas de la baie Sainte-Marguerite pourraient fournir des informations précieuses pour quantifier l'utilisation de l'habitat et élucider la relation fonctionnelle entre la diminution observée du temps de présence des bélugas et le passage des navires. La compréhension de cette relation est cruciale pour la co-construction de mesures d'atténuation des impacts du trafic maritime qui soient efficaces pour le rétablissement du béluga et réalistes pour l'industrie.

« Le financement du RQM au programme PLAINE a joué un rôle déterminant dans le déploiement du projet, en catalysant des collaborations intersectorielles et interdisciplinaires et en permettant le recrutement de talents hautement spécialisés, dont une stagiaire postdoctorale en bio- et éco-acoustique marine et deux étudiants de 2e cycle en intelligence artificielle, des domaines stratégiques et hautement pertinents pour le développement du Québec maritime. »

— Clément Chion, chercheur principal (Université du Québec en Outaouais)

Réalisations principales

- Développement d'un pipeline d'apprentissage automatique à partir d'une base de données acoustiques
- Caractérisation inédite de l'effet du trafic maritime sur la présence acoustique des bélugas
- Fondement pour un réseau de détecteurs autonomes de béluga le long du Saguenay et du Saint-Laurent, afin de fournir des informations en temps réel aux principaux acteurs de la navigation



1
pipeline IA-acoustique développé

3
étudiant·es formé·es

1
institutions internationales collaboratrices

7
communications scientifiques

Axe d'impact	Contributions structurantes et retombées du projet	Analyse de la portée des contributions
Intersectorialité	• Collaboration interinstitutionnelle : UQAM, UQO, GREMM, Raincoast Conservation Foundation, Pêches et Océans Canada, Parc marin du Saguenay–Saint-Laurent. • Maillage interdisciplinaire : bioacoustique, écologie, IA, télémétrie, science des données.	**Intersectorialité très forte et intégrée**, réunissant recherche, ONG, gouvernements et partenaires internationaux autour d'enjeux de conservation et de gestion maritime.
Avancées scientifiques	• Développement d'un pipeline d'apprentissage automatique à partir d'une base de données acoustiques : détection, classification des comportements acoustiques du béluga, estimation de l'abondance avec une précision élevée. • Caractérisation inédite de l'effet du trafic maritime sur l'activité acoustique des bélugas, montrant une diminution de cette activité le jour suivant le passage de deux navires ou plus, comparativement aux jours suivant le passage d'un seul navire ou l'absence de trafic. Ces résultats s'inscrivent dans une relation encore en cours d'investigation entre activité acoustique et abondance des bélugas, reconnue comme complexe et influencée par d'autres facteurs tels que la composition des groupes et les comportements observés, justifiant la poursuite des travaux afin d'améliorer la performance du suivi d'abondance.	**Avancées scientifiques et méthodologiques majeures**, positionnant le projet comme une référence en bioacoustique assistée par IA pour le suivi des espèces.
Innovations dans les milieux preneurs	• Fondement pour un réseau de détecteurs autonomes temps réel le long du Saguenay et du Saint-Laurent, afin de détecter automatiquement leur présence, leur activité vocale et leur abondance, ainsi que de fournir des informations en temps réel aux acteurs de la navigation.	**Innovation appliquée à fort potentiel opérationnel**, ouvrant la voie à des outils de gestion dynamique et préventive du trafic maritime.
Durabilité environnementale	• Base scientifique solide pour les mesures d'atténuation du bruit en zones critiques. • Nouvelles connaissances essentielles pour la protection d'une espèce en voie de rétablissement.	**Contribution environnementale majeure**, soutenant directement la conservation du béluga et l'élaboration de mesures de protection adaptées.
Formation et relève	• PHQ formé.es : 1 postdoc (bioacoustique) et 2 MSc (IA). • Exposition interdisciplinaire : acoustique, IA, navigation, éco-informatique.	**Contribution à la formation d'une relève hautement spécialisée**, dotée de compétences stratégiques.
Mobilisation et transfert de connaissances	• 3 articles scientifiques (2 publiés et 1 en préparation) • 2 présentations aux symposiums : Béluga 2023 et Avenir maritime 2023. • 2 affiches scientifiques	**Rayonnement scientifique et opérationnel soutenu**, favorisant l'appropriation des résultats par les milieux concernés.
Perspectives et effet levier	• Développement du projet Beluforecast du programme du Corridor économique intelligent du MTMD. • Ce projet a suscité l'intérêt et la collaboration de chercheurs et d'institutions académiques internationaux (Mines Paris, Mines Ales, Telecom Paris, Université de Maastricht). • Potentiel d'adoption à grande échelle du pipeline pour surveillance acoustique du Saint-Laurent et déploiement des mesures de conservation dynamiques et inclusives.	**Effet levier très élevé et forte pérennité**, positionnant le projet comme une infrastructure de référence pour la surveillance acoustique et la conservation adaptative.



© Benoit - stock.adobe.com



Appel 2 – 2023-2025

Corridor maritime vert : un agenda de décarbonation du transport maritime et portuaire du système Saint-Laurent
Par Claude Comtois (UdeM)

Bruit subaquatique de la navigation et poissons d'eau douce dans le Saint-Laurent : exposition, impacts et pistes de solution
Par Clément Chion (UQO)

Caractérisation, essais et lignes directrices pour l'utilisation de mélanges d'e-méthanol et de diésel marin comme solution « drop in » à bord des navires opérant sur le Saint-Laurent
Par Mareen Thiboutot-Rioux (IMAR)

Statut du projet : En cours
Durée : 2023-2026
Budget : 546 000 $

Corridor maritime vert : un agenda de décarbonation du transport maritime et portuaire du système Saint-Laurent

Équipe de recherche : Claude Comtois (Université de Montréal, CIRRELT), Brian Slack (Université Concordia), Jacques Roy (HEC Montréal, Université de Montréal, CIRRELT), Suzanne Lalonde (Université de Montréal), Sara Teitelbaum (Université de Montréal), Pierre-Olivier Pineau (HEC Montréal, Université de Montréal), Jean-François Audy (UQTR), Sylvain Lafrance (Innovation maritime) | **Collaborations et partenariats :** Administration portuaire de Montréal, Administration portuaire de Québec, Administration portuaire de Saguenay, Administration portuaire de Sept-Îles, Administration portuaire de Trois-Rivières, Alliance Verte, *American Bureau of Shipping*, Centre d'expertise en logistique portuaire, *Global Maritime Forum*, Groupe de travail sur la décarbonation de l'industrie maritime, Transports Canada, Transports Desgagnés, *Global Spatial Technology Solutions* (GSTS), Société Portuaire du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie, Port de Baie-Comeau, Société du parc industriel et portuaire de Bécancour

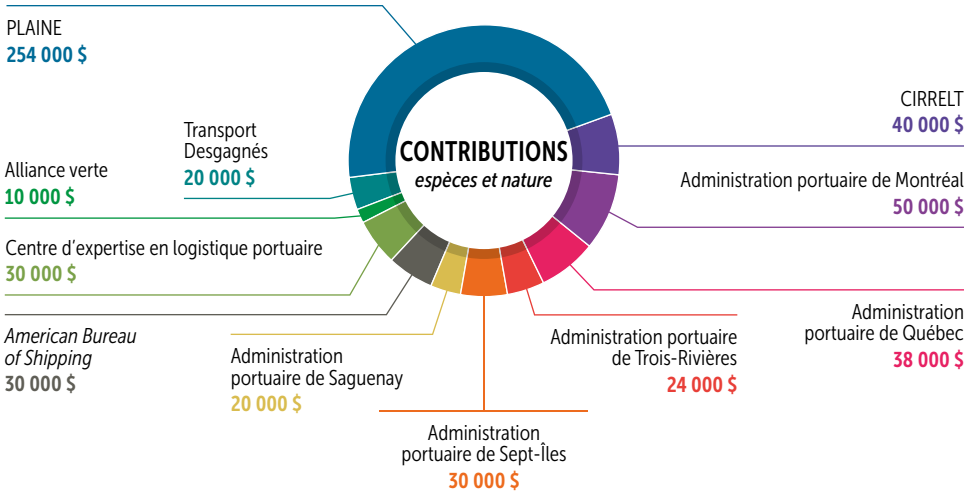
Le projet porte sur la mise en place d'un corridor maritime vert comme agenda de décarbonation de l'industrie maritime et portuaire du Saint-Laurent–Saguenay. Le projet compte : 1) effectuer une analyse des conditions réglementaires à la décarbonation pour comprendre l'habileté de l'industrie maritime et portuaire du Saint-Laurent–Saguenay à répondre aux objectifs et aux impacts de la transition énergétique ; 2) mesurer la consommation énergétique et les émissions de GES de l'industrie maritime et portuaire au Québec afin d'extraire une structure d'information et de connaissances ; 3) entreprendre une analyse comparative des meilleures pratiques à l'international sur les technologies de substitution et carburants de remplacement afin de focaliser sur les innovations les plus prometteuses ; 4) identifier les conditions de l'offre du portefeuille d'énergies vertes disponible au Canada et la structure de la demande permettant d'identifier les besoins futurs requis pour atteindre la carboneutralité des ports et des transporteurs maritimes sur le système Saint-Laurent–Saguenay ; 5) paramétrer les enjeux de mise en œuvre d'un corridor maritime vert afin d'obtenir une compréhension des attentes réalistes et des capacités à obtenir une excellente performance en matière de décarbonation ; et 6) élaborer différents scénarios de la transition énergétique afin d'identifier une série d'actions prioritaires en termes de mise en œuvre des solutions de décarbonation de l'industrie maritime et portuaire du Québec.

« Le programme PLAINE du RQM structure des synergies durables entre les milieux universitaire, gouvernemental et industriel, tout en formant une nouvelle génération de spécialistes qui assurent la pérennité des expertises et des partenariats stratégiques à travers le Québec maritime. »

— Claude Comtois, chercheur principal (Université de Montréal, CIRRELT)

Réalisations principales

- Élaboration de la première base factuelle intégrée sur la consommation énergétique et les émissions de GES du système maritime et portuaire du Saint-Laurent–Saguenay
- Construction d'un cadre stratégique et normatif inédit pour la décarbonation maritime adapté au contexte québécois
- Définition d'une feuille de route concrète pour un corridor maritime vert laurentien



6
étudiant·es formé·es

292 000 $
de cofinancement initial externe

62
corridors maritimes verts internationaux analysés

42
recommandations structurantes pour la décarbonation


© Benoit - stockadobe.com
© Pascal Huot - stockadobe.com

Axe d'impact	Contributions structurantes et retombées du projet	Analyse de la portée des contributions
Intersectorialité	• Intégration des milieux universitaires, collégiaux et industriels à travers une collaboration pérenne • Expertises croisées en droit, géographie, sciences politiques, économie, transport maritime, systèmes portuaires, énergie, technologies vertes, géomatique.	**Intersectorialité stratégique et structurante**, réunissant des acteurs qui interagissent rarement et permettant une lecture intégrée des enjeux réglementaires, technologiques, économiques et opérationnels liés à la transition énergétique maritime.
Avancées scientifiques	• 1re analyse exhaustive de la réglementation internationale et nationale sur la décarbonation des activités de l'industrie maritime (OMI, MARPOL, Canada, Québec, EU, USA). • Collecte de données sur la consommation énergétique et les émissions de GES d'installations portuaires et du transport maritime sur le Saint-Laurent–Saguenay. • Évaluation comparative complète des carburants de remplacement (GNL, méthanol, biocarburants, hydrogène, ammoniac). • Géographie de la production des carburants de remplacement au Canada et dans les régions des États-Unis en bordure des Grands Lacs • Évaluation de quatre technologies et mesures opérationnelles de réduction des émissions de GES : l'amélioration de l'ingénierie et de la conception des navires ; l'augmentation de l'efficacité des services et des opérations des navires ; le captage du carbone ; et l'exploitation de l'énergie éolienne. • Examen du potentiel des batteries comme substitut au carburant pour le transport maritime. • Construction d'une base de données internationale de 15 ports et de 10 armateurs sur l'électrification à quai et les corridors verts et analyse des enjeux liés à l'alimentation électrique à quai des navires. • Examen approfondi de 62 corridors maritimes carboneutres internationaux. • Analyse comparative de 12 études récentes qui proposent des trajectoires précises qui permettent à l'industrie maritime d'atteindre les objectifs de décarbonation.	**Avancées scientifiques et analytiques majeures**, produisant des outils conceptuels, comparatifs et factuels inédits au Québec, essentiels à la planification de la décarbonation du système maritime.
Innovations dans les milieux preneurs	• 42 recommandations sur la décarbonation des ports et des navires sur le système Saint-Laurent–Saguenay.	**Innovation stratégique et décisionnelle**, traduisant la recherche en cadres opérationnels directement mobilisables par les gestionnaires et les décideurs pour orienter les choix d'investissement et de transition.
Durabilité environnementale	• Production d'un socle décisionnel pour la transition énergétique maritime au Québec.	**Contribution environnementale structurante**, influençant déjà les orientations politiques et les stratégies portuaires.

Axe d'impact	Contributions structurantes et retombées du projet	Analyse de la portée des contributions
Formation et relève	• 6 étudiant·es (1 M.L. Droit, 2 MSc - Environnement et développement durable et Géographie, 1 M.A, Science de la gestion, 2 BSc (Géographie) • Intégration d'un étudiant gradué au CIRRELT où il participe à titre de mentor.	**Contribution significative à une relève hautement spécialisée**, dotée de compétences directement mobilisables par les milieux de la recherche, de l'industrie et des politiques publiques.
Mobilisation et transfert de connaissances	• Participation à la Communauté de pratique sur la décarbonation maritime. • Données non encore publiées (confidentialité), mais prévues • 5 activités de transfert des connaissances et de maillage • 25 conférences • 21 entrevues grand public (télé, radio, etc.) • 4 chapitres de livre • 6 rapports techniques • 1 article scientifique en révision	**Mobilisation soutenue et multicanal**, avec un fort transfert interne vers les partenaires, malgré des délais de diffusion publique liés à la sensibilité de certaines données.
Perspectives et effet levier	• Haut potentiel de structuration pour une feuille de route québécoise de décarbonation.	**Effet levier durable et structurant**, établissant les bases d'un cadre institutionnel et technologique appelé à orienter la décarbonation du Saint-Laurent à long terme.

Statut du projet : En cours
Durée : 2023-2026
Budget : 351 500 $

Bruit subaquatique de la navigation et poissons d'eau douce dans le Saint-Laurent : exposition, impacts et pistes de solution

Équipe de recherche : Clément Chion (Université du Québec en Outaouais), Jean-François Bissonnette (Université Laval), Hervé Glotin (Centre national de la recherche scientifique, France), Raphaël Proulx (Université du Québec à Trois-Rivières), Benjamin de Montgolfier (Aquasearch, Bio-Laurentia, Université du Québec à Rimouski) | **Collaborations et partenariats :** Administration portuaire de Trois-Rivières, Alliance Verte, ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP), Ressources aquatiques Québec, Université de Toulon, Université du Québec à Rimouski

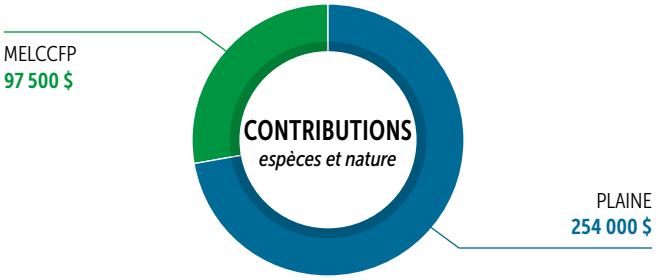
Le bruit subaquatique produit par les activités humaines a doublé tous les 10 ans depuis les années 1950, particulièrement à proximité des routes de navigation. Les impacts du bruit de la navigation sur les poissons incluent des changements de comportement tels que l'évitement, l'altération des comportements antiprédation ou encore la diminution des soins parentaux aux nouveau-nés, ainsi que des impacts physiologiques comme l'augmentation du niveau de stress. Ces impacts sont toutefois très peu documentés en eau douce et les mécanismes sous-jacents mal compris. Ce projet vise à évaluer l'exposition et la vulnérabilité des communautés de poissons d'eau douce et de larves au bruit de la navigation dans la réserve mondiale de la Biosphère du lac Saint-Pierre et le Saint-Laurent, notamment en étudiant les sons produits par des espèces à statut précaire (p. ex. esturgeon noir, esturgeon jaune). Le projet repose sur l'analyse d'enregistrements inédits de sons de poissons, des expériences en milieu naturel et en aquarium. Le projet vise également à développer des outils d'aide à la décision pour la mise en place de mesures d'atténuation du bruit de la navigation et des méthodes de suivi des activités de navigation. L'implication des communautés riveraines et usagers du lac Saint-Pierre permettra d'évaluer l'acceptabilité sociale de mesures visant à réduire l'empreinte acoustique des plaisanciers et pêcheurs récréatifs dans les habitats d'espèces de poissons d'eau douce sensibles au bruit subaquatique.

« Le financement du RQM a permis d'initier une collaboration internationale entre des chercheurs du Québec et de la France sur l'enjeu des impacts du bruit de la navigation sur les poissons d'eau douce, un domaine encore peu étudié. Le soutien et la disponibilité de l'équipe du RQM ainsi que la souplesse du programme PLAINE sont de précieux atouts dans la conduite de recherches ambitieuses, novatrices et appliquées. »

— Clément Chion, chercheur principal (Université du Québec en Outaouais)

Réalisations principales

- Structuration d'un nouveau champ de recherche appliquée sur le bruit subaquatique en eau douce au Québec
- Création d'un effet levier institutionnel par l'accès à des données stratégiques inédites
- Mise en place d'un socle opérationnel pour de futures mesures de mitigation et décisions de gestion



x400
accélération du modèle acoustique haute fréquence

3
étudiant·es formé·es

1
accès à des données stratégiques de haute valeur

1
projet en découlant

Axe d'impact	Contributions structurantes et retombées du projet	Analyse de la portée des contributions
Intersectorialité	• Collaboration interdisciplinaire : biologie, physique acoustique, IA, géographie, sciences sociales. • Implication des milieux universitaires (à l'échelle nationale et internationale), gouvernementales et industriels. • Participation du port de Trois-Rivières, du port de Québec (données) et de l'Alliance Verte.	**Intersectorialité solide et en consolidation**, combinant expertises scientifiques complémentaires et collaborations internationales.
Avancées scientifiques	• Analyse des co-occurrences navires-esturgeons → changement comportemental potentiel jusqu'à 10 km. • Développement d'un simulateur numérique complet de propagation acoustique. • Accélération du modèle haute fréquence (x400). • Caractérisation des signatures acoustiques de plaisanciers. • Construction de la première typologie automatisée des vocalises d'esturgeons.	**Avancées scientifiques et méthodologiques majeures**, générant des outils de modélisation et d'analyse inédits en eau douce, à fort potentiel pour la recherche et la gestion environnementale.
Innovations dans les milieux preneurs	• Développement potentiel d'outils permettant d'évaluer différentes mesures de mitigation : réduction de vitesse, modification des routes/ plaisance, gestion spatiale des activités humaines.	**Innovation appliquée en phase d'émergence**, posant les bases pour de futurs outils de gestion adaptative des activités de navigation et de plaisance.
Durabilité environnementale	• Meilleure estimation du bruit généré par les plaisanciers et la navigation marchande. • Identification de refuges acoustiques naturels (zones marécageuses, herbiers). • Caractérisation de la vulnérabilité acoustique des larves de poisson, étape clé pour la gestion de la biodiversité.	**Contribution environnementale déterminante**, fournissant des connaissances clés pour la protection de la biodiversité en eau douce et la réduction des pressions anthropiques.
Formation et relève	• 3 étudiant·es (1 MSc et 2 PhD) • Développement de compétences interdisciplinaires : acoustique, télémétrie, IA, système d'information géographique, sciences sociales.	**Contribution qualitative à la relève**, favorisant l'émergence de profils interdisciplinaires spécialisés.
Mobilisation et transfert de connaissances	• 4 activités de transfert des connaissances et de maillage • 3 conférences • 1 article scientifique et 1 affiche scientifique • 1 reportage grand public (*La vie secrète des animaux, Radio-Canada*)	**Mobilisation soutenue et rayonnement en croissance**, tant auprès de la communauté scientifique que du grand public.
Perspectives et effet levier	• Recrutement planifié : 2 MSc sur les larves et l'acceptabilité sociale, 1 étudiant ingénieur pour la modélisation haute fréquence et 1 étudiant associé au CIRRELT pour la géomatique. • Développement d'un partenariat avec l'autorité portuaire du Port de Québec pour avoir accès à des données haute-résolution de positionnement d'esturgeons (VEMCO). • Recrutement d'un ingénieur (Toulon) sur les travaux de typologie automatique par IA de vocalises d'esturgeons. • Construction éventuelle d'un jumeau numérique des scènes acoustiques.	**Effet levier institutionnel en développement**, renforçant les capacités de recherche et ouvrant la voie à des projets structurants.

Statut du projet : En cours
Durée : 2023-2026
Budget : 300 000 $

Caractérisation, essais et lignes directrices pour l'utilisation de mélanges d'e-méthanol et de diésel marin comme solution « drop-in » à bord des navires opérant sur le Saint-Laurent

Équipe de recherche : Mareen Thiboutot Rioux (Innovation maritime), Faiçal Larachi (Université Laval), Nathalie de Marcellis-Warin (Polytechnique de Montréal), Nicolas Auclair (Innovation maritime) | **Collaborations et partenariats :** Administration portuaire de Montréal, Alliance Verte, Greenfield Global Québec, Groupe Océan, Société de développement économique du Saint-Laurent

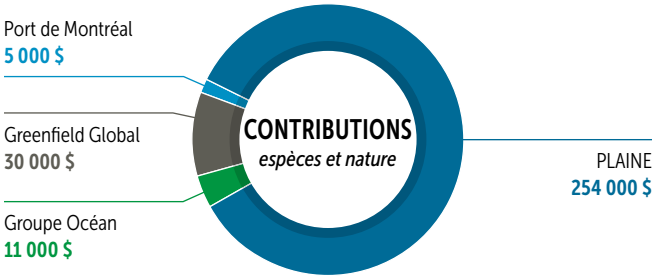
Le projet propose de développer et tester une solution misant sur l'e-méthanol pour contribuer de façon significative à la décarbonation de l'industrie maritime. Il répond à une volonté des acteurs de l'industrie de s'engager dans la transition énergétique en faisant intervenir un producteur de carburant alternatif, un armateur et un port. L'objectif général est d'identifier, caractériser et tester les mélanges optimaux d'e-méthanol et de diésel marin qui satisferont les normes pour être utilisés comme solutions dites *drop-in*, soit avec peu ou pas de modifications des systèmes à bord, par les navires opérant sur le Saint-Laurent. Le projet propose également de réaliser une analyse de risques et de préciser les lignes directrices quant à l'utilisation de tels mélanges dans le contexte spécifique du Québec. Si les résultats sont probants, le projet pourrait contribuer à réduire d'environ 206 000 tonnes par an les émissions de CO_2 issues du transport maritime.

« La question des carburants faibles en CO_2 ressemble souvent au dilemme de l'œuf et de la poule : quel carburant un armateur devrait-il choisir pour ses navires futurs si aucune infrastructure n'existe ? Et dans quelle ligne de production un producteur devrait-il investir si aucun client n'est encore présent ? Avec ce projet, nous souhaitons développer un carburant capable de générer la confiance des producteurs et des utilisateurs, stimulant ainsi un co-développement qui favorise une transition graduelle d'un mélange utilisable dans la flotte existante à des navires fonctionnant uniquement à l'e-méthanol, à mesure que les volumes de production augmentent. »

— Mareen Thiboutot Rioux, chercheuse principale (Innovation maritime)

Réalisations principales

- Structuration d'une capacité de recherche appliquée unique au Québec sur les carburants alternatifs maritimes
- Pérennisation d'infrastructures et d'outils stratégiques pour la recherche maritime
- Génération d'un effet levier financier et institutionnel majeur pour le secteur maritime



299
formulations évaluées

5
étudiant·es formé·es

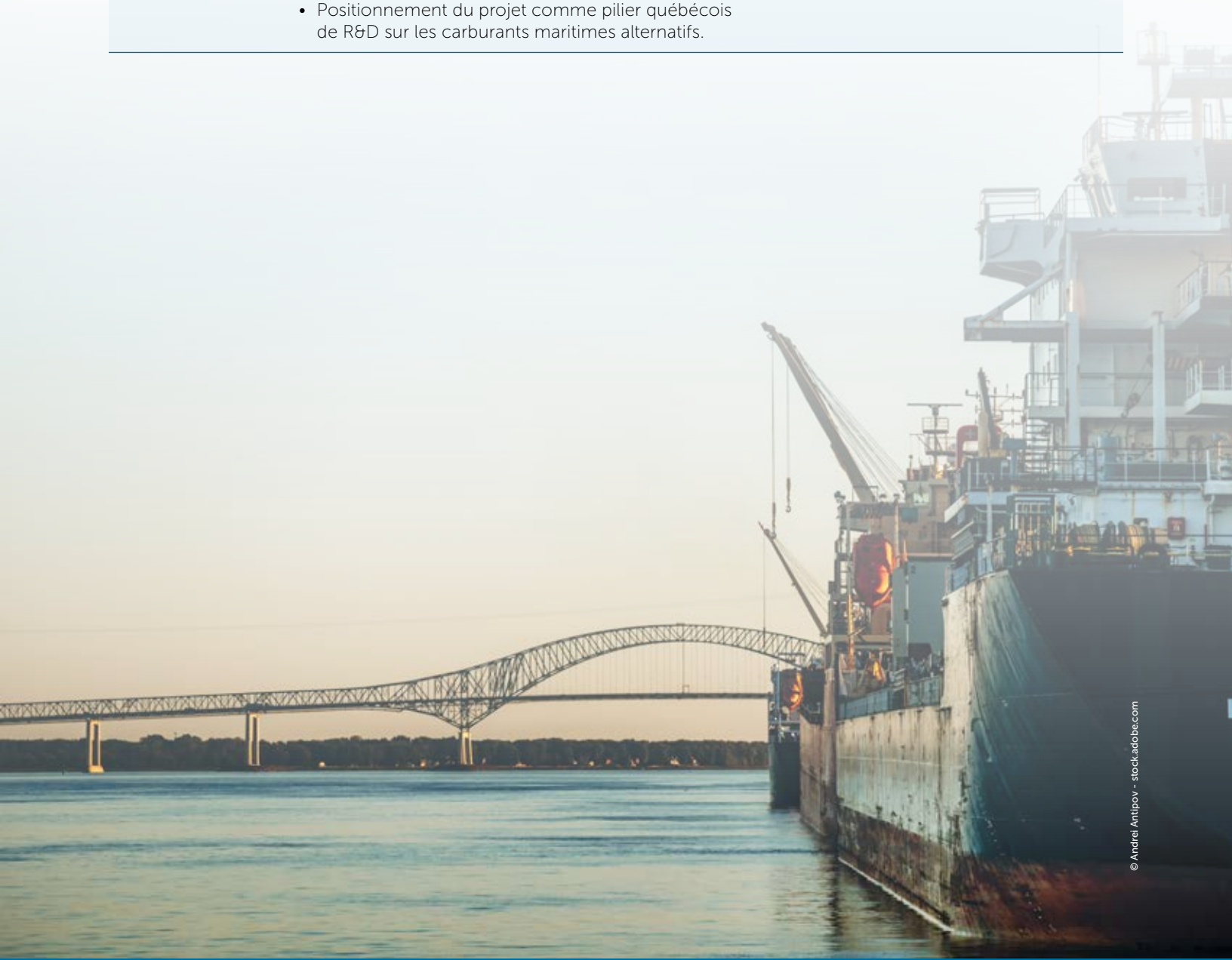
1
équipement de recherche stratégique transféré et pérennisé

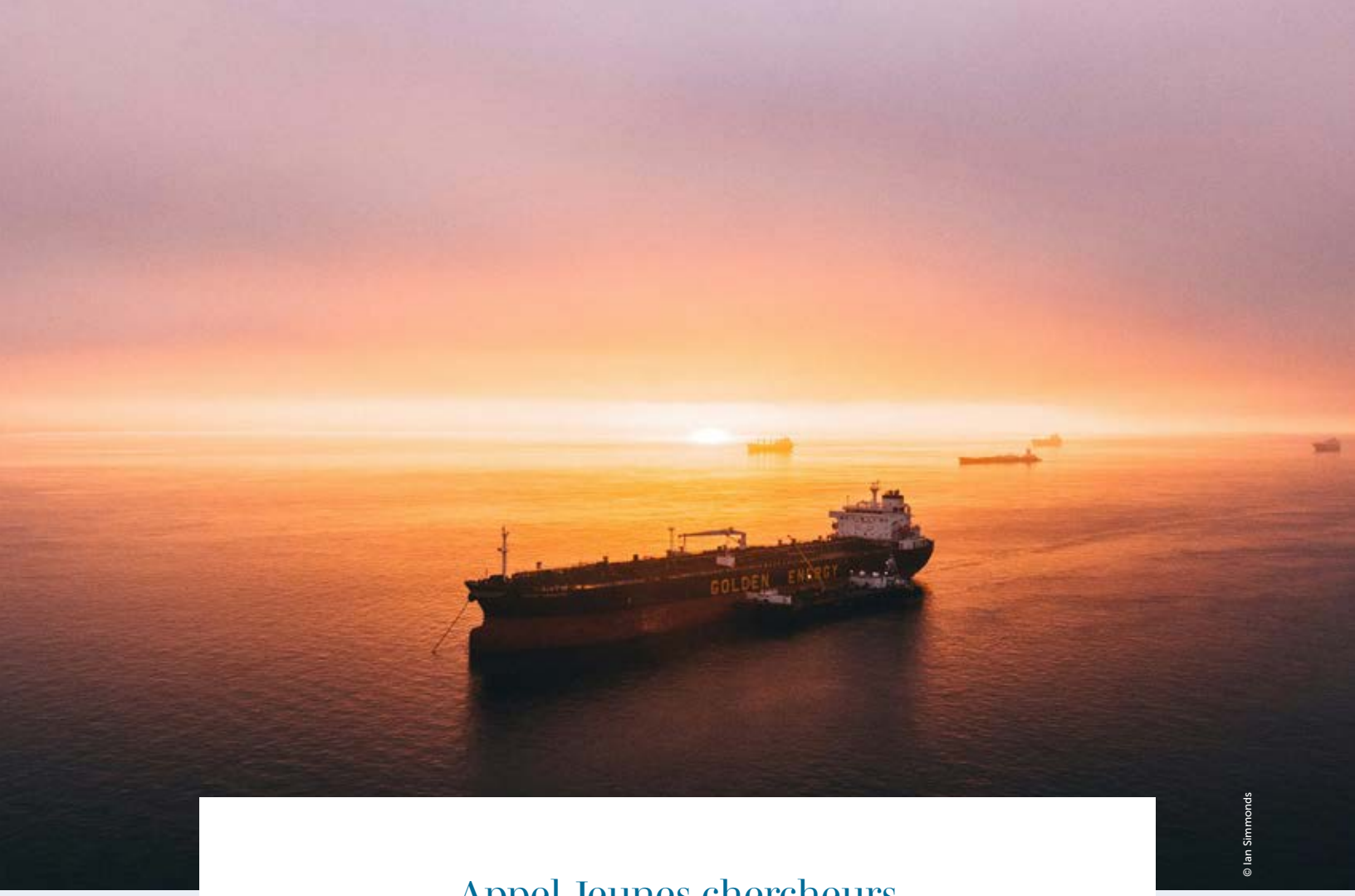
366 242 $
en financements subséquents confirmés

Axe d'impact	Contributions structurantes et retombées du projet	Analyse de la portée des contributions
Intersectorialité	• Collaboration étroite entre recherche appliquée (IMAR), universités (Université Laval, Polytechnique Montréal), et industrie maritime (Groupe Océan, Greenfield Global Québec et Administration portuaire de Montréal). • Expertise croisée en génie chimique, analyse de risques, santé et sécurité au travail (SST), réglementation maritime et opérations navales. • Implication de personnes expertes reconnues en gestion de risques et transport de matières dangereuses.	**Intersectorialité structurante et indispensable**, intégrant science, réglementation et industrie dans un secteur fortement normé, condition essentielle à l'adoption sécuritaire de carburants alternatifs.
Avancées scientifiques	• Évaluation de la stabilité de 299 formulations, dont 39 ont été analysés en détail (TAN, viscosité, densité, point d'éclair, intensité carbone). • Développement d'une cellule automatisée de mesure du point de trouble ultra-précise. • Analyses de corrosion et de vieillissement sur 3 métaux et 4 matériaux d'étanchéité. • Examen exhaustif des cadres réglementaires internationaux, fédéraux et provinciaux sur l'utilisation de carburants à bord des navires. • Essais de combustion réussis d'un mélange contenant du méthanol, avec caractérisation des performances et des émissions de gaz d'échappement dans un moteur marin.	**Avancées scientifiques et techniques majeures**, produisant des connaissances inédites et des outils de mesure de pointe, directement applicables à l'évaluation sécuritaire des carburants maritimes alternatifs.
Innovations dans les milieux preneurs	• Élaboration de lignes directrices et de protocoles d'essais pour l'usage de mélanges e-méthanol/diésel « drop-in ». • Structuration d'une méthodologie d'analyse de risques répondant aux exigences des armateurs, sociétés de classification et autorités réglementaires. • Combustion d'un mélange de carburants dans un moteur marin commercial.	**Innovation appliquée à fort potentiel d'adoption**, réduisant les barrières techniques, réglementaires et opérationnelles à l'expérimentation industrielle.
Durabilité environnementale	• Potentiel de réduction d'environ 206 000 tonnes de CO_2 par an, soit l'équivalent de 2 000 camions. • Première analyse systématique de performance, stabilité et sécurité des mélanges. • Base scientifique pour décisions d'avitaillement (notamment pour le Port de Montréal). • Transfert permanent de la cellule de mesure à IMAR. • Réduction des risques de vieillissement via l'évaluation de compatibilité des matériaux.	**Impact environnemental majeur et directement actionnable**, positionnant le projet comme une référence québécoise pour la décarbonation maritime sécuritaire et mesurable.
Formation et relève	• Formation d'une étudiante à la maîtrise à Polytechnique Montréal, 3 étudiant·es au doctorat et 1 au BSc à l'Université Laval. • Encadrement interdisciplinaire en laboratoire (viscosimétrie, point d'éclair, vieillissement accéléré, corrosion), analyse de risques et réglementation. • Participation d'étudiant·es de 2e cycle (UL, Polytechnique). • Formation technologique conjointe IMAR-Groupe Océan.	**Formation hautement qualifiante et professionnalisante**, alignée sur les besoins immédiats de l'industrie maritime et des organismes réglementaires.

Axe d'impact	Contributions structurantes et retombées du projet	Analyse de la portée des contributions
Mobilisation et transfert de connaissances	• 2 activités de transfert des connaissances et de maillage • 1 article scientifique publié • Formation conjointe avec Groupe Océan → transfert opérationnel réel. • Échanges continus avec armateurs, experts SST et autorités.	**Transfert technologique et scientifique efficace et progressif**, avec appropriation directe par les partenaires et diffusion académique planifiée.

Perspectives et effet levier	• Effets leviers financiers confirmés :
	  • 150 000 $ du Réseau québécois sur l'énergie intelligente (RQEI), Projet de supervision de recherche interordre.
	  • 150 000 $ du programme Mitacs, Accelerate Proposal.
	  • 66 242 $ du Développement économique Canada (DEC), Programme de croissance économique régionale par l'innovation.
	• Dépôt conjoint RQEI-Mitacs (≈ 300 k$ potentiel).
	• Acquisition d'équipements structurants.
	• Positionnement du projet comme pilier québécois de R&D sur les carburants maritimes alternatifs.
		Effet levier exceptionnel et forte pérennité, consolidant un pôle stratégique en carburants alternatifs au Québec et amplifiant l'investissement initial de PLAINE.


© Andrei Antipov - stock.adobe.com



© Ian Simmonds

Appel Jeunes chercheurs et chercheuses – 2024

Établissement d'un état de référence des concentrations de gaz à effet de serre (GES) dans les eaux du Fjord du Saguenay. Vers une comparaison avec les émissions de GES par le transport maritime.
Par Ludovic Pascal (UQAR)

Étude multi-omique de l'impact acoustique du trafic maritime sur les populations de moules : Vers la détermination de seuils acoustiques pour la prévention des effets biologiques indésirables : AUDITIF 2,1
Par Stéphane Beauclercq (UQAM)

Évaluation du bruit produit par le transport maritime et les activités portuaires et de ses effets sur la connectivité acoustique entre les habitats de croissances et les sites de reproduction du chevalier cuivré (Moxostoma hubbsi), une espèce endémique au Québec et en voie de disparition
Par Irene Roca (UQO)

Statut du projet : En cours
Durée : 2024-2025
Budget : 33 450 $

Établissement d'un état de référence des concentrations de gaz à effet de serre (GES) dans les eaux du Fjord du Saguenay. Vers une comparaison avec les émissions de GES par le transport maritime.

Équipe de recherche : Ludovic Pascal (Université du Québec à Rimouski), Alice Very (Université du Québec à Rimouski) | **Collaborations et partenariats :** Gwénaëlle Chaillou (Université du Québec à Rimouski), Programme TCA - Uncertain Sea (Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada)

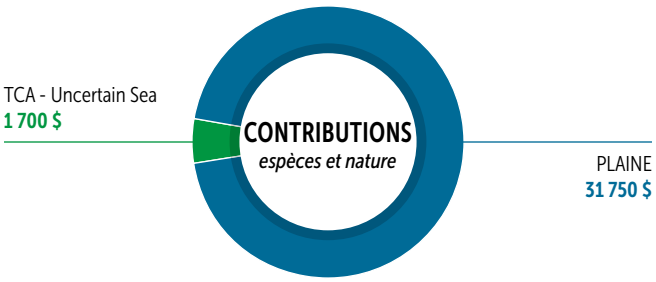
Le projet établit un premier état de référence des concentrations de CO_2, CH_4 et N_2O dans les eaux du fjord du Saguenay, un écosystème sensible soumis à un trafic maritime croissant. En combinant mesures dans la colonne d'eau et flux benthiques, il caractérise la variabilité spatiale et saisonnière des gaz à effet de serre et identifie leurs principales zones de production. Les flux vers l'atmosphère observés seront comparés aux émissions issues du transport maritime afin de quantifier l'importance relative de cette activité dans le bilan de GES du fjord. Ce cadre servira de référence pour guider la gestion maritime et anticiper les impacts dans d'autres fjords.

« Le financement PLAINE constitue un levier déterminant pour les chercheurs en début de carrière. Il m'a permis de diriger un projet sur les gaz à effet de serre dans le fjord du Saguenay, d'embaucher du personnel de recherche et d'exercer un leadership scientifique autonome. Par ce programme, le RQM investit concrètement dans la relève en lui donnant les moyens de gérer des fonds, d'encadrer des étudiants et de contribuer activement au développement de la recherche maritime appliquée au Québec. »

— Ludovic Pascal, chercheur principal (Université du Québec à Rimouski)

Réalisation principale

- Modélisation des flux de GES vers l'atmosphère dans le Fjord du Saguenay



1
communication scientifique

2
étudiant·es formé·es

Axe d'impact	Contributions structurantes et retombées du projet	Analyse de la portée des contributions
Intersectorialité	• Projet ancré principalement dans une dynamique de recherche universitaire. • Retombées potentielles pour les communautés scientifiques spécialisées en biogéochimie et climatologie côtière.	**Intersectorialité limitée mais pertinente**, le projet étant centré sur la production de données fondamentales appelées à alimenter des travaux interdisciplinaires et des usages futurs en gestion environnementale.
Avancées scientifiques	• Obtention, pour la première fois, d'une série de mesures hivernales de CO_2, CH_4 et N_2O dans le fjord du Saguenay. • Production de données inédites sur les dynamiques biogéochimiques hivernales des fjords et comblement d'une lacune majeure dans la caractérisation saisonnière des gaz à effet de serre dans ce système nordique.	**Avancée scientifique fondamentale et structurante**, apportant des données inédites essentielles à la compréhension des dynamiques biogéochimiques hivernales en milieu fjordique nordique.
Innovations dans les milieux preneurs	• Génération d'une base scientifique nouvelle pour la modélisation future des flux de GES. • Données susceptibles d'alimenter des évaluations environnementales des milieux côtiers nordiques. • Apport méthodologique pour l'intégration des périodes hivernales dans les bilans climatiques.	**Innovation scientifique en amont**, posant les bases nécessaires au développement ultérieur d'outils d'aide à la décision et de cadres d'analyse appliqués.
Durabilité environnementale	• Contribution directe à l'amélioration des connaissances sur les flux hivernaux de GES dans le fjord du Saguenay. • Intégration d'un angle saisonnier jusqu'ici absent des bilans environnementaux régionaux. • Renforcement des bases scientifiques nécessaires aux inventaires climatiques côtiers.	**Contribution environnementale structurante**, renforçant la capacité du Québec à produire des bilans climatiques plus complets et scientifiquement robustes pour les écosystèmes côtiers.
Formation et relève	• Formation de deux étudiantes impliquées dans les analyses d'échantillons. • Acquisition de compétences analytiques spécialisées en biogéochimie marine.	**Contribution ciblée à la formation de la relève**, permettant le développement de compétences techniques avancées dans un domaine clé pour la recherche climatique.
Mobilisation et transfert de connaissances	• 1 affiche scientifique au congrès Avenir maritime. • Valorisation des nouvelles données auprès des partenaires du milieu.	**Mobilisation scientifique ciblée**, assurant une première diffusion des résultats dans les réseaux de recherche maritime québécois.
Perspectives et effet levier	• Intégration directe des données dans les travaux d'une doctorante. • Contribution à la structuration d'une équipe de recherche sur les GES en milieux côtiers. • Consolidation d'une expertise émergente sur les GES hivernaux.	**Effet levier scientifique et humain confirmé**, le projet servant de socle à la poursuite des travaux de recherche et à la consolidation d'une expertise émergente sur les GES hivernaux.

Statut du projet : Terminé
Durée : 2024-2025
Budget : 31 750 $

Étude multi-omique de l'impact acoustique du trafic maritime sur les populations de moules : Vers la détermination de seuils acoustiques pour la prévention des effets biologiques indésirables.

Équipe de recherche : Stéphane Beauclercq (Université de Québec à Montréal), Isabelle Marcotte (Université de Québec à Montréal), Delphine Veillard (Université du Québec à Rimouski) | **Collaborations et partenariats :** Réjean Tremblay (Université du Québec à Rimouski)

Le trafic maritime transforme progressivement le paysage sonore des océans, faisant du bruit sous-marin une pression environnementale croissante pour les organismes côtiers. Ce projet visait à mieux comprendre comment ce stress acoustique affecte la moule bleue (*Mytilus edulis*), une espèce emblématique et essentielle des écosystèmes et de l'aquaculture au Québec. En exposant des moules adultes à des niveaux réalistes de bruit de navires et en analysant leurs réponses moléculaires grâce à une approche multi-omique innovante, l'objectif principal était d'identifier des marqueurs biologiques du stress acoustique et de déterminer à partir de quel niveau sonore des effets mesurables apparaissent. Ces résultats contribuent à poser les bases scientifiques nécessaires à une gestion durable du bruit maritime.

« Le soutien reçu dans le cadre de l'appel à projets PLAINE - Jeunes chercheurs du Réseau Québec maritime a été déterminant pour la réalisation de mon projet portant sur l'impact du bruit des navires sur le métabolisme des moules bleues, un enjeu clé pour la durabilité des écosystèmes côtiers. Ce financement m'a offert, en tant que postdoctorant, une occasion rare de piloter de façon autonome un projet de recherche, tout en développant des compétences essentielles en gestion scientifique, en encadrement étudiant et en coordination d'analyses biochimiques complexes. Cette expérience a joué un rôle clé dans la construction de mon autonomie scientifique et dans l'orientation de mes travaux futurs. »

— Stéphane Beauclercq, chercheur principal (Université de Québec à Montréal)

Réalisations principales

- Un seuil d'effet biologique à 127 dB re 1 µPa (trafic maritime régulier) et un effondrement métabolique à partir de 151 dB re 1 µPa (proximité immédiate d'un gros navire) ont été identifiés chez la moule adulte
- Des réponses dose-dépendantes et tissu-spécifiques au bruit, incluant des modifications des voies énergétiques, du stress oxydant et de la synthèse protéique ont été mises en évidence
- Les résultats sont présentés lors d'événements scientifiques et auprès du RQM comme base au développement d'indicateurs biologiques et de recommandations pour la gestion du bruit sous-marin

5 communications scientifiques	**2** niveaux acoustiques critiques identifiés	**1** étudiant·e formé·e

Axe d'impact	Contributions structurantes et retombées du projet	Analyse de la portée des contributions
Intersectorialité	• Projet principalement ancré dans un cadre académique universitaire. • Expertise mobilisée en biologie marine, écologie physiologique et analyses -omiques (métabolomique et protéomique).	**Intersectorialité volontairement limitée**, cohérente avec les objectifs du projet, qui privilégiait la production de connaissances de base comme préalable à de futures collaborations appliquées.
Avancées scientifiques	• Identification de réponses physiologiques fines associées à l'exposition au bruit. • Caractérisation de biomarqueurs métaboliques et protéiques liés au stress acoustique. • Contribution à une meilleure compréhension des impacts non létaux du bruit marin sur les invertébrés. • Développement et validation d'une méthodologie intégrée combinant métabolomique et protéomique appliquée à l'écologie marine.	**Avancée scientifique fondamentale et originale**, comblant une lacune importante dans la compréhension des impacts sublétaux du bruit marin sur les invertébrés.
Innovations dans les milieux preneurs	• Méthodologie transposable à d'autres espèces d'intérêt économique ou écologique (pétoncles, crabes, homards, etc.). • Base scientifique pour l'élaboration future de seuils réglementaires ou de lignes directrices en matière de bruit sous-marin.	**Innovation méthodologique à fort potentiel de transfert**, posant des bases scientifiques solides pour des applications futures en aquaculture, en écotoxicologie et en gestion environnementale.
Durabilité environnementale	• Apports scientifiques alimentant les réflexions sur la cohabitation entre transport maritime et protection de la biodiversité. • Soutien indirect à la résilience des activités aquacoles face aux pressions acoustiques.	**Contribution environnementale structurante**, fournissant des éléments objectifs pour éclairer les décisions publiques et les stratégies de mitigation du bruit marin.
Formation et relève	• Formation d'une étudiante au (volets expérimentaux et analytiques). • Formation interdisciplinaire à l'interface biologie-pollution acoustique-enjeux maritimes.	**Contribution ciblée mais significative à la formation de la relève**, favorisant le développement d'une expertise pointue à l'interface entre biologie marine et pollution acoustique.
Mobilisation et transfert de connaissances	• 3 présentations dans le cadre de congrès • 1 article scientifique en préparation • 1 affiche scientifique	**Mobilisation en développement**, avec un potentiel de diffusion accru à mesure que les résultats seront consolidés et publiés.
Perspectives et effet levier	• Potentiel de transfert des résultats vers les secteurs du transport maritime, de l'aquaculture et de la gestion environnementale. • Méthodologie mobilisable comme outil de suivi environnemental en milieux côtiers. • Possibilité d'élargissement à d'autres espèces et à des contextes expérimentaux variés.	**Effet levier scientifique et méthodologique en émergence**, ouvrant la voie à des projets appliqués et intersectoriels ultérieurs.

Statut du projet : En cours
Durée : 2024-2026
Budget : 31 750 $

Évaluation du bruit produit par le transport maritime et les activités portuaires et de ses effets sur la connectivité acoustique entre les habitats de croissances et les sites de reproduction du chevalier cuivré (*Moxostoma hubbsi*), une espèce endémique au Québec et en voie de disparition

Équipe de recherche : Irene Roca (Université de Québec en Outaouais)

La pollution sonore soulève d'importantes préoccupations à l'échelle mondiale. Le chevalier cuivré, une espèce endémique et menacée du Québec, dont les seules aires de reproduction connues sont situées en amont de la rivière Richelieu (affluent du fleuve Saint-Laurent), est une espèce particulièrement sensible aux sons en raison de sa fine acuité auditive. Pour se reproduire, le chevalier cuivré doit traverser la confluence de diverses sources de bruits (terminal maritime de Sorel, traversier, etc.). Les bruits de la navigation peuvent augmenter les niveaux de stress chez les poissons et les désorienter. Il est primordial de caractériser la dimension acoustique des principaux habitats utilisés durant le cycle de vie du chevalier cuivré, incluant les voies migratoires, et d'évaluer les impacts potentiels du bruit pour proposer des pistes de solutions adaptées.



Un programme indispensable pour l'avenir du Québec maritime

PLAINE s'impose aujourd'hui comme un **programme transformateur et indispensable** pour le développement du Québec maritime. En réunissant plus d'une centaine d'acteurs issus des milieux de la recherche, de l'industrie, des communautés, des organisations gouvernementales et du secteur associatif, en formant une relève hautement qualifiée et en générant des avancées scientifiques et appliquées majeures, le programme démontre sa capacité unique à structurer l'écosystème maritime québécois autour d'enjeux stratégiques. Les projets financés contribuent de manière tangible à la décarbonation du transport maritime, à la protection de la biodiversité, à la réduction du bruit sous-marin, à l'innovation technologique, à la transition énergétique et à l'amélioration de la sécurité de la navigation.

Au-delà de la diversité des thématiques abordées, l'impact global des projets témoigne de la **robustesse du modèle PLAINE** et de la valeur exceptionnelle de ses retombées. Le programme agit comme un levier de convergence, transformant des défis complexes en opportunités concrètes de recherche appliquée, de prise de décision éclairée et de développement de solutions adaptées aux réalités du Saint-Laurent et de ses communautés.



Le Réseau Québec maritime tient à **saluer le travail remarquable des équipes de recherche, des étudiantes et étudiants, ainsi que l'engagement soutenu des partenaires** qui ont contribué au succès des projets présentés dans ce rapport. Leur rigueur, leur créativité et leur capacité à collaborer au-delà des silos disciplinaires et sectoriels constituent le socle même de l'impact généré par PLAINE. Nous leur souhaitons une poursuite fructueuse de leurs travaux et des projets à venir.

Dans une perspective de continuité et de consolidation, le renouvellement du programme PLAINE apparaît essentiel afin de maintenir et d'amplifier ces retombées, de soutenir un plus grand nombre d'équipes et de renforcer durablement la capacité du Québec à se positionner comme un leader en sciences, technologies et innovations maritimes. PLAINE représente un investissement structurant pour l'avenir du Québec maritime — un levier stratégique qu'il importe de pérenniser et de renforcer.



RÉSEAU QUÉBEC MARITIME
PROGRAMME PLAINE

www.rqm.quebec

Université du Québec à Rimouski
300, allée des Ursulines, bureau K-316, Rimouski (Québec) G5L 3A1
Tél. : 418-723-1986 poste 1383 | plaine-rqm@uqar.ca

En partenariat avec

Québec

© Anne Richard - stock.adobe.com