

---

## PROGRAMME SCIENTIFIQUE D'ODYSSÉE SAINT-LAURENT

---



Crédits photo : Jean Cloutier

### INTRODUCTION

Programme phare du Réseau Québec maritime (RQM), Odyssée Saint-Laurent jette les bases d'une approche intersectorielle de laquelle s'inspireront les autres projets soutenus par le Réseau tout en répondant à plusieurs des objectifs identifiés dans la Stratégie maritime du Québec, dont le développement d'une croissance durable de l'économie maritime, la protection de l'intégrité des écosystèmes fluviaux et marins du Système Saint-Laurent (SSL) et l'amélioration du mieux-être des communautés côtières. Les effets leviers majeurs et les multiples collaborations initiées dans le cadre d'Odyssée Saint-Laurent serviront d'incubateurs pour de nouvelles initiatives en recherche au niveau national et international. Les actions initiées au sein d'Odyssée Saint-Laurent contribueront de façon significative à la formation d'une relève de qualité qui saura répondre aux enjeux de développement de la société québécoise en regard de son utilisation du SSL. Finalement, Odyssée Saint-Laurent met en valeur les richesses maritimes et l'important savoir-faire du Québec en matière de recherche et développement en milieu maritime, tout en établissant de façon encore plus concrète la qualité des compétences québécoises sur le devant de la scène internationale.

## PROGRAMME DE RECHERCHE

Le programme de recherche d'Odyssée Saint-Laurent, projet phare du Réseau Québec maritime, s'articule en trois grands chantiers : **un chantier Découverte** ayant pour objectif l'acquisition de connaissances stratégiques sur le SSL, **un chantier Applications** dont l'objectif est le développement d'outils, de technologies et de pratiques, et **un chantier Innovation ouverte** voué à la gouvernance, à l'innovation sociale et au transfert.

TABLEAU 1 : RÉSUMÉ DES OBJECTIFS DE RECHERCHE DES TROIS CHANTIERS

| Chantier                  | 1. Découverte                                                                                                                                                                            | 2. Applications                                                                                                                                                   | 3. Innovation ouverte                                                    |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| <b>Objectif principal</b> | Acquérir des connaissances stratégiques sur le Système Saint-Laurent                                                                                                                     | Développer des outils, des technologies et des pratiques                                                                                                          | Mettre en place des approches participatives                             |
| <b>Sous objectifs</b>     | Observation, échantillonnage et suivi pluriannuel                                                                                                                                        | Développement des systèmes de prévision environnementale du système Saint-Laurent                                                                                 | Renforcement des capacités des acteurs par une approche intersectorielle |
|                           | Fonds marins et côtes, glace et saison hivernale, ressources biologiques, biodiversité et stressseurs environnementaux, risques naturels, suivi des conditions sociaux-économiques, etc. | Développement des technologies d'acquisition de données en temps réel                                                                                             | Coconstruction des enjeux et des solutions                               |
|                           |                                                                                                                                                                                          | Surveillance et prévision des variations bathymétriques susceptibles d'affecter les communautés, les écosystèmes, les infrastructures et les opérations maritimes | Croissance de la participation active des partenaires                    |
|                           |                                                                                                                                                                                          | Optimisation de la gestion du transport maritime                                                                                                                  | Mise en place d'une culture participative                                |
|                           |                                                                                                                                                                                          | Amélioration de la résilience des infrastructures portuaires et du transport maritime                                                                             |                                                                          |
|                           |                                                                                                                                                                                          | Mesures d'atténuation et d'adaptation des systèmes de transport aux changements environnementaux                                                                  |                                                                          |
|                           |                                                                                                                                                                                          | Agrégation de métadonnées                                                                                                                                         |                                                                          |
|                           |                                                                                                                                                                                          | Optimisation des équipements de pêche et d'aquaculture                                                                                                            |                                                                          |
|                           |                                                                                                                                                                                          | Développement d'outils et de techniques en biotechnologie marine                                                                                                  |                                                                          |

## I. CHANTIER DÉCOUVERTE – ACQUISITION DE CONNAISSANCES STRATÉGIQUES

L'acquisition de connaissances de base et la découverte sont les pierres d'assise de la compréhension du fonctionnement des systèmes complexes. Le SSL est complexe et plusieurs aspects de son fonctionnement restent largement méconnus, voire inconnus. Les variations saisonnières extrêmes et la présence d'un couvert de glace hivernal représentent des éléments de cette complexité et rendent aussi difficile le monitoring continu. Grâce à son financement à long terme, Odyssée Saint-Laurent propose de soutenir un ambitieux chantier d'observation, d'échantillonnage et de suivi pluriannuel des conditions physiques, sociales, économiques et politiques afin de comprendre, modéliser et valider les processus responsables de la variabilité. De tels résultats ne peuvent émerger de projets de courte durée financés par les dispositifs actuels où le suivi saisonnier, pluriannuel et récurrent sont impossibles.

La codéfinition de zones spécifiques d'étude du SSL permettra d'optimiser la couverture spatiale et temporelle des campagnes d'acquisition des connaissances. Ces dernières seront conjointes, complémentaires et harmonisées avec les travaux des ministères québécois impliqués, mais aussi du Plan d'action Saint-Laurent, de Pêches et Océans Canada (MPO), du Service hydrographique du Canada (SHC), des compagnies de transport maritime (traversiers et navires marchands), de la Garde côtière canadienne (GCC) et des associations de plaisanciers. Ces différents navires couvriront les aires d'études identifiées pour toutes les saisons avec une attention particulière à la période hivernale là où des lacunes ont été clairement identifiées, en particulier en ce qui concerne la gestion des ressources halieutiques (il n'existe pratiquement aucune donnée sur la distribution des espèces en hiver ni sur les processus écologiques hivernaux), les risques liés à la navigation ou les effets potentiels de déversements de produits toxiques en présence de couvert de glace.

L'acquisition de données stratégiques pour la gestion des zones visées améliorera la précision de nombreux processus essentiels à la compréhension et à la prise de décision dont la sédimentation, l'érosion des berges, les inondations côtières, l'hypoxie (baisse d'oxygène dissous en milieu aquatique), les courants, la formation et la dynamique de la glace, la distribution des espèces, les variations des niveaux d'eau, l'augmentation des rayonnements ultra-violets, la productivité biologique et l'acidification des eaux salées. L'efficacité du Québec à concevoir les mesures à prendre touchant les zones côtières, les infrastructures, les ressources, les risques et les menaces pour la diversité biologique, les services écologiques et les communautés côtières s'en trouvera d'autant améliorée.

Les effets cumulés de l'activité humaine et des changements environnements et climatiques (CEC) sur les écosystèmes ont des répercussions sur la santé de ces écosystèmes. Une meilleure connaissance du devenir des rejets, des contaminants et des fertilisants provenant des eaux et des bassins versants devient un incontournable dans un écosystème soumis aux aléas des impacts anthropiques et des CEC. Odyssée Saint-Laurent permettra ici encore de pallier l'absence de données hivernales sur la demande en oxygène dissous ou le devenir de contaminants ayant une chimie sensible aux modifications du pH.

*Un programme d'échantillonnage et d'observation innovateur.* À l'aide des navires de recherche québécois *Lampsilis* et *Coriolis II*, le RQM favorisera des projets ayant comme objectif la collecte de données de base en milieu fluvial et marin ainsi que le prélèvement d'échantillons d'eau et de sédiments, d'ADN environnemental, de phyto et de zooplancton, d'invertébrés et de poissons. Ces données et ces résultats, de nature ouverte et accessible, sont des outils essentiels pour une meilleure connaissance des écosystèmes, de la structure des habitats, des risques et des opportunités de prospection. Ces travaux seront réalisés en collaboration avec les partenaires (ministères provinciaux, GCC, SHC, traversiers, navires marchands, plaisanciers) et leurs plateformes afin de couvrir l'ensemble du continuum du SSL de sa portion fluviale jusqu'à son golfe. De façon complémentaire aux travaux réalisés par les ministères provinciaux, le MPO, le SHC et la GCC, Odyssée Saint-Laurent pourra coordonner des campagnes océanographiques multidisciplinaires dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent ainsi que dans sa portion fluviale durant les mois libres de glace au printemps, à l'été et en automne, offrant ainsi du temps navire aux différents projets soumis. Des missions pourront être réalisées l'hiver sur des brise-glaces de la GCC. Des travaux de cartographie et d'échantillonnages variés le long des côtes en milieu moins profond seront aussi réalisés à partir de plus petites embarcations (p. ex. Louis-Edmond-Hamelin et navires de pêche) pour des besoins qui seront ciblés par les partenaires et les appels à projets. La Flotte Opérationnelle de Recherche en Sciences Côtières et Environnementales (FORSCÉ) dont la demande de subvention a récemment obtenu un avis favorable de la Fondation canadienne pour l'innovation (FCI) sera conçue en grande partie par Bombardier et permettra de réaliser des études sur les zones côtières peu profondes, difficiles d'accès avec des moyens standards, des régions tempérées aux régions polaires, et ce en toute saison. Les navires de pêche seront aussi utilisés pour la récolte de poissons de fonds ou de poissons pélagiques. Odyssée Saint-Laurent établira aussi des liens solides avec le secteur maritime privé (Coopérative de Transport Maritime et Aérien (CTMA), Groupe Desgagnés, Fednav, *Canada Steamship Lines* (CSL). Des instruments (caméras, systèmes de pompage ou instruments pour échantillonnage d'eau) pourront être installés sur des traversiers faisant des trajets quotidiens dans la portion fluviale, l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. Ce type de partenariat pourra être étendu aux traversiers de *Maritime Atlantic* entre la Nouvelle-Écosse et Terre-Neuve et Labrador. En combinant ces données et celles des partenaires, dont les ministères du Québec et le MPO, des séries chronologiques de résolution inégale seront obtenues sur une vaste étendue spatiale et temporelle. Des levés héliportés et aéroportés pourront également être réalisés en partenariat avec le SHC, le ministère de la Sécurité publique du Québec (MSP), Environnement et changement climatique Canada (ECC) et la GCC. Odyssée Saint-Laurent soutiendra l'acquisition de telles images à haute résolution de la côte et de données de télédétection par laser (LiDAR) qui sont essentielles pour cartographier, caractériser et gérer les écosystèmes côtiers, le transport maritime, les infrastructures et l'utilisation du territoire, en plus de servir à évaluer les impacts associés aux aléas côtiers et environnementaux (ex. : déversements d'hydrocarbures, effets du batillage sur les rives).

*Ressources biologiques, biodiversité et stress environnementaux.* Les pêches commerciales au Québec sont concentrées dans le SSL, alors que ses eaux reçoivent les effluents des régions parmi les plus urbaines et industrialisées d'Amérique du Nord. Ces mêmes écosystèmes accueillent également plusieurs espèces emblématiques en termes de biodiversité. La préservation et l'exploitation durable des ressources biologiques ainsi que la prévision des modifications des écosystèmes dans un contexte de CEC seront au cœur des enjeux couverts dans les appels à projets avec un intérêt tout particulier pour ceux favorisant l'acquisition des données en période hivernale, en complémentarité avec le Programme de monitoring de la zone atlantique (PMZA) du MPO et les programmes du Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP). Assurer la durabilité de l'exploitation des ressources biologiques aquatiques nécessite de mieux connaître la répartition des espèces exploitées, des poissons fourrages, la structure des réseaux trophiques et leur réponse aux pressions anthropiques et changements du SSL. Bien que des missions en mer soient effectuées durant l'hiver, la cueillette d'échantillons biologiques demeure un véritable défi d'innovation technologique. Trois stratégies d'acquisition de données biologiques pourront être soutenues : 1) l'utilisation des données acoustiques, 2) le marquage satellitaire et 3) la richesse des opportunités offertes par les nouveaux développements en génomique environnementale. Ces stratégies seront mises en place

afin d'étudier la dynamique d'espèces à grande valeur commerciale comme la perchaude, l'anguille, l'esturgeon, le flétan atlantique et le flétan du Groenland ainsi que leurs patrons de migrations saisonnières ou zones de ponte. L'utilisation de l'ADN environnemental offre également de multiples opportunités d'application dans les secteurs de la biodiversité, de l'étude de la connectivité entre les habitats et le développement d'outils visant l'amélioration de la gestion durable des stocks de poissons à des fins commerciales ou récréatives, de la détection d'espèces envahissantes (p. ex. gobie à taches noires, carpe asiatique, phragmite) ou rares, ou encore du suivi d'espèces sentinelles en présence de gradients environnementaux. Ces connaissances aideront à déterminer les conséquences des CEC sur la structure des communautés.

Les habitats côtiers du SSL sont fréquentés par des millions d'oiseaux migrateurs. Les changements qui surviennent le long du Saint-Laurent, la perte d'habitat et les perturbations d'origine anthropiques peuvent avoir des conséquences non seulement sur les espèces aquatiques, mais aussi sur les populations aviaires dont des espèces associées à des retombées économiques importantes (p. ex. l'oie blanche dont l'observation et la chasse génèrent près de 20 M\$/an ou les colonies de fous de Bassan mises à mal par le déplacement des bancs de maquereau) ou encore des espèces au statut préoccupant ou menacées de disparition (p. ex. le bécasseau maubèche et le garrot d'Islande). Il importe de connaître la sensibilité de ces écosystèmes face aux multiples stressseurs environnementaux (contaminants, fertilisants en provenance des eaux usées et des zones agricoles, hypoxie, acidification, identification de gènes sous l'effet de sélection<sup>1</sup> en présence de combinaisons de polluants environnementaux) chez des espèces sentinelles.

---

<sup>1</sup> Haasl, R.J. et Payseur, B.A. 2016. *Fifteen years of genomewide scans for selection: trends, lessons and unaddressed genetic sources of complication*. *Molecular Ecology* 25, 5-23.

## II. CHANTIER APPLICATIONS

Les applications coconstruites avec les usagers leur permettent d'avoir un accès rapide et efficace à l'information nécessaire à la prise de décisions assurant la sécurité et la pérennité de l'environnement, des communautés et des activités maritimes. En développant des applications à partir des connaissances et des données du chantier Découverte, Odyssée Saint-Laurent ouvre la porte à de nombreux développements dans des domaines variés tels que la logistique du transport maritime, les navires et les ports du futur, la navigation sans papier, l'optimisation des routes pour la navigation et le transport maritime hivernal, l'évaluation du risque d'érosion, de submersion et de déversement d'hydrocarbures, la consolidation d'un système d'alerte pour les aléas côtiers, la prévision de l'occurrence d'espèces envahissantes et d'efflorescences d'algues toxiques, l'étude de l'influence des rivières et de la pollution sur le milieu estuarien, la détermination des routes de migration des espèces d'intérêt, la connectivité des habitats ou le déplacement d'espèces commerciales et nouvelles, la validation des méthodes basées sur l'ADN environnemental, les projections climatiques, ou encore, la liaison avec les communautés éloignées. Plusieurs pistes de développements élaborées avec les partenaires sont proposées et décrites ci-dessous. Cette liste n'est pas exhaustive et pourra être bonifiée tout au long du programme de recherche.

*Développer les systèmes de prévision environnementale du système Saint-Laurent.* La prévision des conditions environnementales dans le SSL est assurée par plusieurs systèmes distincts opérant de manière indépendante. Les niveaux d'eau du tronçon fluvial sont prédits par un modèle 1D alors que la thermie, l'écoulement et les habitats sont simulés grâce à un modèle hydrodynamique 2D. Les courants de l'estuaire supérieur, forcés uniquement par la marée, sont simulés par un modèle d'une résolution spatiale de 400 m. Ce modèle a servi à produire l'atlas des courants de marée pour l'estuaire supérieur du Saint-Laurent et sert de base à des applications d'optimisation du temps et des coûts de navigation dans cette portion. Les conditions météo-océaniques de l'estuaire maritime et du golfe sont obtenues quant à elles d'un modèle couplé glace-océan-atmosphère, une première mondiale dans le domaine de l'océanographie opérationnelle. Deux autres modèles assurent la prévision des vagues et des ondes de tempête dans les portions estuaire et golfe. Malgré la grande utilité et la performance de ces outils pour les applications pour lesquelles ils ont été spécifiquement développés (p. ex. estimation du dégagement sous-quille dans le chenal maritime, climat de l'estuaire et du golfe, atlas des courants dans l'estuaire supérieur), ces systèmes sont présentement incapables de répondre à certains enjeux émergents. Notamment, l'absence de glace dans le modèle de la portion fluviale et la pauvre représentation de la dynamique de la banquise côtière dans les modèles de l'estuaire et du golfe limitent la capacité de ces outils à répondre à des impératifs de planification des opérations en conditions hivernales. Les connaissances stratégiques (chantier I) acquises sur le SSL serviront de fondation pour l'amélioration et le développement de systèmes opérationnels d'observation, d'analyse et de prévision. Par exemple, le couplage des modèles hydrodynamiques couvrant les tronçons fluvial et estuarien permettrait de mieux représenter et simuler les processus dynamiques (courants, niveaux d'eau, glace) dans tout le continuum du SSL. Les nouvelles données acquises par le chantier I permettront de valider la performance des systèmes dans tout le SSL. Les avancées attendues en analyse et en prévision opérationnelles, réalisées à moindre coût dans le SSL, pourront être applicables à beaucoup d'autres régions du monde, incluant l'Arctique et les zones marginales englacées où il y a intensification des opérations maritimes.



*Développer des technologies d'acquisition de données en temps réel.* L'acquisition et l'accès aux données en temps réel sont cruciaux pour assurer la gestion, la planification, l'intervention et la sécurité des opérations maritimes. C'est par l'assimilation des données disponibles en temps réel que les systèmes de prévision arrivent à modéliser les conditions environnementales sur lesquelles s'appuient un grand nombre d'applications existantes. Ces systèmes sont toutefois perfectibles et les applications potentielles sont nombreuses. Mentionnons par exemple le développement de flotteurs autonomes de type Argo dans les mers côtières englacées, dont un premier flotteur a été déployé dans le golfe du Saint-Laurent via un partenariat initié en 2015 avec le gouvernement fédéral (*Canadian operational network of coupled environmental prediction systems*, une entente entre ECCC, MPO et le Ministère de la Défense nationale – MDN) et l'industrie (MetOcean Data Systems Inc.). Cette technologie exportable aux milieux côtiers du globe permet d'échantillonner en continu les propriétés de la colonne d'eau et, grâce à la transmission en temps réel des données, d'améliorer la qualité des prévisions océaniques. Un second exemple est le développement d'applications faisant usage des radars haute fréquence (HF), des antennes qui émettent et reçoivent des ondes électromagnétiques se propageant le long de l'interface air-eau et qui mesurent, en temps réel, les courants de surface et les vagues sur une zone s'étendant au-delà de l'horizon. Ce sont des instruments extrêmement utiles pour le monitoring de la dynamique océanique côtière, mais ils peuvent aussi être utilisés pour la détection de navires et pour la transmission d'informations sur de longues distances et à haut débit. Le Québec possède et opère l'un des seuls réseaux d'antennes radar HF au monde situé dans une zone couverte de glace de manière saisonnière. Ces radars, situés sur les rives de l'estuaire maritime du Saint-Laurent, fournissent des données depuis l'automne 2012 qui sont accessibles en temps réel via l'Observatoire global du Saint-Laurent (OGSL). Dans le cadre d'Odyssée Saint-Laurent, ce réseau de radar HF pourra être étendu pour couvrir la zone fluviale. Enfin, le développement d'applications faisant usage de la télédétection satellitaire présente un potentiel énorme pour le secteur maritime du Québec. Mentionnons par exemple la mission SWOT (*Surface Water and Ocean Topography*), à laquelle l'Agence spatiale canadienne contribue et dont le lancement est prévu en 2020, qui permettra de mesurer l'élévation du niveau d'eau avec une résolution spatiale allant de 1 km dans l'océan à 70 m près des côtes et sur les plans d'eau plus petits (lacs, fleuves, rivières, fjords). Des collaborations avec la firme e-GEOS et les agences spatiales canadienne et européenne permettraient également de développer des applications à partir des images de radar à synthèse d'ouverture (*Synthetic Aperture Radar - SAR*) fournies en temps réel par les constellations RADARSAT, Sentinel et COSMO-SkyMed, respectivement.

*Surveiller et prévoir les variations bathymétriques susceptibles d'affecter les communautés, les écosystèmes, les infrastructures et les opérations maritimes.* L'érosion et la submersion côtières associées aux aléas météo-océaniques et à la géomorphologie des côtes sont des enjeux colossaux de par leurs impacts socio-économiques. L'acquisition de données utiles représente également un défi énorme que les services publics doivent relever afin d'assurer la sécurité des personnes, des communautés et des infrastructures, mais celle-ci est souvent fastidieuse et coûteuse. De plus, les modèles simulant les aléas avec suffisamment de précision sont inexistants. Odyssée Saint-Laurent propose de soutenir la modernisation des méthodes d'observations et de cartographie du fond et des côtes, que ce soit par télédétection ou par le développement de méthodes d'acquisition *in situ*, ainsi que le développement de modèles de transport sédimentaire et de submersion mieux adaptés aux conditions du SSL, autant en été qu'en hiver.

*Optimiser la gestion du transport maritime.* La collecte de données sur les flux d'information, de fret, de personnes et de navires est de plus en plus complexe et onéreuse. Odyssée Saint-Laurent est fortement interpellé par les besoins de données pour l'analyse prospective des systèmes de transport maritime et des réseaux logistiques. L'objectif consiste à combiner différentes approches de modélisation (p. ex. études de marché, modèles économétriques, analyse tendancielle, prévision par scénario) sur des données massives et hétérogènes dans le but d'isoler l'influence de certains facteurs qui affectent le système de transport maritime et d'identifier les relations de cause à effet. Les résultats permettront de fournir des outils pour estimer la demande et effectuer des analyses sur la provision de services et les futures infrastructures de transport maritime et portuaire.

**TABEAU 2. EXEMPLES D'APPLICATIONS POTENTIELLES FAISANT USAGE DES SYSTÈMES OPÉRATIONNELS DE SURVEILLANCE ET DE PRÉVISION DE L'ENVIRONNEMENT ET DES ACTIVITÉS MARITIMES.**

|                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ▪ Évaluation des stocks de poissons en tenant compte de l'évolution des conditions environnementales   |
| ▪ Optimisation de la logistique du transport maritime                                                  |
| ▪ Diminution de l'empreinte carbone des systèmes de transport                                          |
| ▪ Assurer la sécurité et améliorer la planification de la navigation hivernale                         |
| ▪ Minimisation des risques de collisions et du dérangement des mammifères marins, incluant les bélugas |
| ▪ Mobilité des personnes et du fret et programmation de l'entretien des équipements et des navires     |
| ▪ Consolidation d'un système d'alerte pour les aléas côtiers                                           |
| ▪ Prévision des efflorescences d'algues toxiques                                                       |
| ▪ Intervention en cas de déversement ou de recherche et sauvetage                                      |
| ▪ Évaluation du risque d'érosion et de submersion                                                      |

*Améliorer la résilience des infrastructures portuaires et du transport maritime.* Dans le contexte des systèmes de transport maritime et réseaux logistiques portuaires, la résilience se réfère à la capacité de répondre à la demande dans des conditions perturbées. Évaluer la résilience des systèmes de transport maritime et des chaînes logistiques portuaires implique l'étude des nœuds qui produisent les flux de fret, de passagers et d'information, des corridors qui concentrent les axes de communications et des seuils qui limitent la circulation. Odyssée Saint-Laurent propose de développer de nouveaux outils méthodologiques en établissant des ponts entre recherche opérationnelle, ingénierie des systèmes, science de la gestion, développement régional et écologie dans le but de trianguler les problèmes d'incertitude, de risque et de capacité. Les retombées se traduiront par une amélioration de la sécurité des personnes, de la sûreté des approvisionnements, du rendement et de la fiabilité des équipements dans le domaine des transports maritimes. La structuration et la mutualisation des activités de recherche d'Odyssée Saint-Laurent visent à révolutionner les approches de développement durable appliquées aux réseaux logistiques et de transport maritime. Les travaux devraient porter sur la conception et l'opération des chaînes logistiques. Il s'agit d'augmenter l'efficacité, l'utilisation et la capacité des réseaux maritimes que ce soit par la conception, la gestion et l'opération des réseaux et terminaux, la gestion optimisée en termes d'affectation des ressources, équipements, personnel et flottes, et la confection des routes et des horaires. Les résultats permettront d'améliorer l'accessibilité des chaînes d'approvisionnement maritime afin de répondre à un contexte de demande flexible, de coordonner les différentes chaînes logistiques afin d'assurer la compétitivité de l'ensemble des entreprises partenaires, et d'identifier les maillons faibles des chaînes logistiques afin d'identifier la direction des investissements aux endroits stratégiques sur le SSL.



*Mesures d'atténuation et d'adaptation des systèmes de transport aux changements environnementaux.* Les coûts associés aux problèmes environnementaux sont devenus significatifs. Le besoin de mettre en œuvre des mesures d'atténuation (p. ex. bruit) et d'adaptation est potentiellement un des enjeux les plus importants qui confronte la croissance, la performance et l'organisation des systèmes de navigation. L'objectif consiste à développer les moyens de satisfaire les besoins d'accès des marchandises des communautés riveraines en s'appuyant sur une sécurité des approvisionnements compatible avec les écosystèmes marins et côtiers et de contribuer à la réduction des risques de la navigation maritime en apportant une expertise dans la régularisation de la navigation. Concrètement, il s'agit de réaliser des avancées sur la dépollution environnementale avec des applications sur la mobilité des personnes et du fret. Odyssée Saint-Laurent devrait permettre des avancées scientifiques significatives en ingénierie des processus de logistique verte sous trois axes : 1) le développement des architectures logicielles permettant de diminuer l'empreinte carbone des systèmes de transport; 2) la programmation des travaux d'entretien afin de réduire la consommation énergétique et prolonger la durée de vie des équipements et des navires; et 3) l'augmentation de la compétitivité des entreprises locales et nationales dans le domaine des sciences des réseaux en écho à la réglementation environnementale. Les résultats permettront de contribuer à réduire les externalités environnementales négatives des activités de transport et de logistique, d'améliorer la fluidité des trafics et d'intégrer l'environnement comme actif concurrentiel pour les corporations privées et les organismes publics.

Dans un SSL déjà fragilisé par les polluants et le bruit sous-marin et où plusieurs espèces de mammifères marins, incluant sa population de bélugas, se reproduisent et mettent bas, des outils d'observation et de gestion des risques pour l'écosystème et les communautés humaines côtières seront soutenus par Odyssée Saint-Laurent. Ainsi, on pourrait envisager des projets permettant de densifier le réseau d'hydrophones mis en place par la Chaire du MPO en acoustique marine, en particulier le long de la voie principale de navigation du SSL. Par ailleurs, en cas de déversements pétroliers, aucune donnée n'est disponible quant à la capacité et la rapidité de dégradation de pétroles bruts conventionnels et non conventionnels (dilbit) par les communautés bactériennes tant dans la colonne d'eau que sur le fond du SSL. De plus, les déversements (surface, sous-surface et profond) en période hivernale restent un sujet particulièrement préoccupant et peu étudié à l'échelle mondiale. Il importe ainsi de mieux caractériser le devenir des différents types d'hydrocarbures et d'élaborer méthodes et processus d'intervention et de récupération. Cet aspect sera développé en étroite collaboration avec le Centre d'expertise en gestion des risques d'incidents maritimes (CEGRIM). En outre, les effets appréhendés sur les communautés côtières d'un déversement et leur capacité de résilience devraient également être pris en compte.

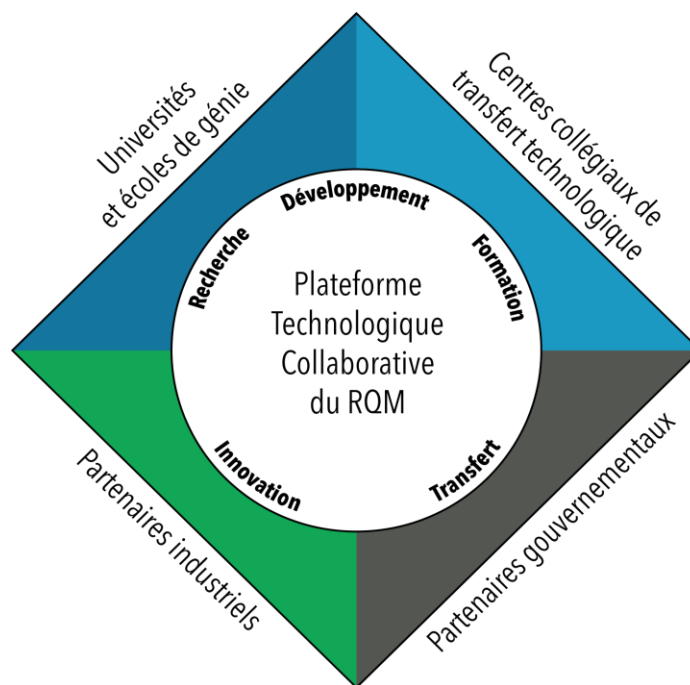
*Agrégation de métadonnées.* Pour le développement des outils et des applications, Odyssée Saint-Laurent générera de grandes quantités de données numériques, cartographiques et littérales dont la complexité et la fragmentation défient les procédures d'harmonisation. Ces bases de données émaneront de différentes sources et revêtiront plusieurs formes que seuls les formalismes mathématiques permettent d'appréhender. Il importe donc d'apporter une réflexion critique sur les sources et la qualité des données, d'innover les procédures de traitement de l'information et de concevoir un corpus d'algorithmes et un système de visualisation des variables à échelle micro et macro numérique dans un environnement multimédia. Odyssée Saint-Laurent s'intéressera aux problèmes des métadonnées, eu égard aux systèmes de représentation, aux plateformes de partage et au processus de traitement des données. Premièrement, il s'agit de développer des méthodes permettant d'extraire de l'information, de construire des grilles de lecture et de réunir les outils méthodologiques et informatiques dont le mode opératoire sera défini en fonction de problèmes de recherche. Les résultats permettront de produire des connaissances et développer des outils pour répondre aux demandes croissantes d'utilisation des données à des fins d'analyse. Deuxièmement, Odyssée Saint-Laurent cherchera à construire des approches intégrées permettant d'expliquer et de modéliser les différents enjeux liés au développement, à la protection et à l'exploitation du SSL. L'objectif est de faire des percées scientifiques majeures dans la mise au point de méthodes visant l'amélioration de la prise de décision par un partage de l'information et l'intégration de modèles.

Les innovations envisagées ne peuvent se concrétiser sans une collaboration étroite avec les acteurs du génie, des technologies maritimes et des biotechnologies (Tableau 3). Pour ce faire, le RQM mettra en place une **plateforme technologique collaborative** (PTC, Figure 1) basée sur approche créative et ouverte. La PTC contribuera à établir les bases d'une nouvelle culture d'innovation technologique maritime au Québec. Centrée sur les utilisateurs, la PTC prendra en compte le potentiel d'appropriation du produit, les mécanismes d'apprentissage et de transfert des pratiques.

La PTC supportera des travaux de recherche fondamentale et appliquée. Elle collaborera avec les partenaires dans les activités de recherche, d'innovation et de transfert technologique. Elle offrira des services techniques, une veille technologique et favorisera le réseautage avec l'industrie pour traiter de problématiques allant des télécommunications à l'élaboration d'ouvrages de protection des côtes ou le développement de structures industrialo-portuaires.

La PTC prendra en charge l'ensemble des défis de développements technologiques que rencontreront les chercheurs d'Odyssée Saint-Laurent et leurs partenaires (ex. : identification des besoins, transfert des résultats aux bénéficiaires, conception et gestion des projets de recherche et d'innovation, valorisation des connaissances produites). Formée des membres universitaires et collégiaux du RQM actifs dans le secteur des technologies maritimes, la PTC contribuera à bonifier l'excellence, l'originalité et l'impact des programmes d'acquisition de connaissance (chantier I) et de développement d'applications (chantier II).

À travers la PTC, Odyssée Saint-Laurent contribuera à élaborer les bases d'une nouvelle culture d'innovation technologique maritime au Québec en : (i) rassemblant une masse critique de compétences et en favorisant la mise en commun des ressources matérielles et humaines de plusieurs institutions, départements et unités de recherche (physiciens, chimistes, géologues, biologistes, géographes, ingénieurs, spécialistes des sciences humaines et sociales, développement régional, etc.); (ii) intensifiant les collaborations avec l'industrie maritime; et (iii) unifiant les efforts des chercheurs pour réaliser des projets d'envergure et obtenir du financement en recherche, innovation et infrastructure, le tout dans un contexte intersectoriel.



**Figure 1.** Plateforme technologique collaborative (PTC) du Réseau Québec maritime.

**TABEAU 3. EXEMPLES DE PROJETS ENVISAGÉS EN INNOVATION TECHNOLOGIQUE ET PARTENAIRES POTENTIELS.**

| PROJETS POTENTIELS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | PARTENAIRES POTENTIELS                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Biotechnologies marines et technologies maritimes</b> (valorisation de la biomasse marine, télécommunication, véhicules autonomes ou télécommandés, aide à la navigation, à l'observation, SIG, etc.) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ culture, collecte, transformation et valorisation de la biomasse marine, détection et récupération des matières plastiques et organiques dérivantes.</li> <li>■ adaptation, développement et valorisation des équipements de recherche et stations flottantes avec instrumentation, des véhicules sous-marins et des instruments de mesure et d'observation, développement d'instruments océanographiques et côtiers pour l'étude des milieux avec couvert de glace, des équipements et méthodes pour les essais non destructifs sur des constructions submergées, etc.</li> </ul> | <p>Merinov,<br/>CRBM,<br/>Innovation maritime,<br/>Bombardier,<br/>MPO, SHC, GCC,<br/>CAE, CIDCO, ASL,<br/>Hydro-Québec,<br/>Kongsberg</p>                                                                                                    |
| <p><b>Navires du futur</b> (progrès technologique, outils de navigation, technologies de communication, pilotage automatique) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ technologies liées à la réduction de l'empreinte environnementale incluant la gestion des eaux de lest, aux traitements de surface des navires, à la modernisation des arbres de propulsion, l'usage de carburant alternatif, la récupération de chaleur, les techniques de réduction de la vitesse, le routage météo, l'électrification à quai, l'adoption d'un système d'hivernisation, le développement de navires bivalents, les nouvelles technologies d'embarquement et de débarquement.</li> </ul>                                                                                                                                                        | <p>Fednav, Desgagnés, CSL,<br/>SODES, Forum de<br/>concertation maritime,<br/>Alliance verte, Comité de<br/>concertation de navigation,<br/>Association des pilotes du<br/>Saint-Laurent, Transport<br/>Canada, Logiste, Groupe<br/>Ocean</p> |
| <p><b>Ports du futur</b> (design physique, intelligence embarquée, internet physique, infonuagique, écosystème industriel, économie du savoir, corridor multimodal intelligent) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ infrastructures modulables, senseurs intégrés, matériel d'absorption de CO<sub>2</sub>, matériaux adaptatifs, matériaux autorégénérants, suivi des opérations portuaires, principe d'économie circulaire, échange résiduel de ressources, réseau électrique intelligent, entretien prédictif des machines, budget carbone, développement de système anti-aléas.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                     | <p>Administrations portuaires<br/>Cargo M,<br/>Transport Canada,<br/>Transport Québec,<br/>Innovation maritime</p>                                                                                                                            |
| <p><b>Construction et réparation d'infrastructures</b> (ex. : portuaires, navires, embarcations plaisance, pêche, récolte en aquaculture, transport, plateforme de forage) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ développement de critères de conception et réparation pour les infrastructures portuaires tenant compte des CEC et des fluctuations du débit d'eau douce et la hausse du niveau marin, développement et amélioration des équipements, des méthodes d'essais et d'infrastructures submergées, etc.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <p>MPO,<br/>ACPG,<br/>GCC<br/>Port de Québec<br/>Port de Sept-Îles<br/>Port de Montréal</p>                                                                                                                                                   |
| <p><b>Développement de solutions innovantes pour réduire les risques côtiers</b> (adaptation des populations et infrastructures côtières face aux CEC et aléas côtiers) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ modélisation, conception en laboratoire et suivi d'efficacité pour réduire les risques et les impacts environnementaux, éco-ingénierie, intégration du savoir traditionnel et de la démarche d'acceptabilité sociale dans l'analyse de solutions, etc.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <p>MSP<br/>MTQ<br/>CEGRIM<br/>Hydro-Québec<br/>SIMA +</p>                                                                                                                                                                                     |
| <p><b>Équipements de pêche et d'aquaculture</b> (capture, valorisation, exploitation) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ développement de mouillages équipés de sonars spécialisés pour le suivi de l'abondance de plancton ou le déplacement de poissons d'intérêt commercial, réingénierie et optimisation des filières flottantes, dével. de filets biodégradables et pour la récupération d'objets flottants, optimisation des équipements de production, perfectionnement des installations maricoles, développement de systèmes de bassins terrestres et marins pour la polyculture d'organismes marins, adaptation aux conditions côtières et climatiques des structures d'élevage en mer, développement d'équipements de transformation, etc.</li> </ul>                                                                  | <p>ASL<br/>Merinov<br/>ACPG</p>                                                                                                                                                                                                               |

**Note** : CRBM : Centre de recherche sur les biotechnologies marines, CIDCO : Centre Interdisciplinaire de Développement en Cartographie des Océans, ASL : Armateurs du Saint-Laurent, SODES : Société de développement économique du Saint-Laurent, ACPG : Association des capitaines-propriétaires de la Gaspésie. Cette liste de projets et partenaires n'est pas exhaustive.

### III. CHANTIER INNOVATION OUVERTE<sup>2</sup>

L'innovation ouverte découle d'un processus de cocréation des enjeux impliquant tous les acteurs. En plus des activités de recherche scientifique avec les différents partenaires, le chantier III d'Odyssée Saint-Laurent explorera et mettra en place différentes approches participatives afin de recueillir des données, ainsi que pour valoriser les résultats, les pratiques et les innovations issues des trois chantiers. Ces approches permettront d'améliorer les processus de prise de décisions, des modes de gouvernance et des mécanismes de transfert. Par exemple, dans le but d'accroître les retombées économiques<sup>3</sup> et sociales auprès des Québécois, les approches de recherche et de transfert envisagées s'inspireront de l'innovation par les utilisateurs pilotes (*lead user innovation*), par les communautés de pratique (*user-community innovation*), par les laboratoires vivants (*Living Labs*)<sup>4</sup> ou par la production participative (*crowdsourcing*)<sup>5</sup>, ce qui permettra de croiser des préoccupations sectorielles essentielles pour le développement durable du domaine maritime.

Odyssée Saint-Laurent innovera en mobilisant les sciences naturelles, le génie, les sciences humaines et sociales, l'éducation, la gestion et le développement régional dans l'élaboration conjointe des activités de recherche. L'originalité d'Odyssée Saint-Laurent s'exprime par le recours à des méthodes de type laboratoires vivants dans lesquels les acteurs vont identifier et expérimenter conjointement des formes et des manières de faire favorisant l'émergence de questions de recherche et différentes options de solutions. Ce dispositif assurera un transfert des connaissances et un accompagnement des acteurs adéquat pour favoriser leurs engagements, plutôt que d'effectuer une simple réunion ou juxtaposition de plusieurs disciplines et secteurs. Odyssée Saint-Laurent travaillera en étroite collaboration avec les organismes de concertation déjà en place, dont les organismes de bassins versants et leur réseau (ROBVQ), les comités de zones d'intervention prioritaire (ZIP) et leur réseau (Stratégies Saint-Laurent) ainsi que les Tables de concertation régionales.

*Renforcer les capacités des acteurs avec une approche intersectorielle.* Odyssée Saint-Laurent misera sur la collaboration de partenaires de secteurs d'activités différents (p. ex. économie, pêcheries, transport maritime, tourisme, exploration des ressources non renouvelables, éducation, histoire, archéologie maritime, mise en valeur patrimoniale, gestion du risque ou adaptation) lors d'ateliers de travail sur les processus d'innovations ouvertes. L'objectif de ces ateliers visera à renforcer les capacités des acteurs pour œuvrer dans des cadres intersectoriels et interdisciplinaires sur l'ensemble du processus scientifique, allant de la recherche à l'utilisation des résultats par les acteurs. Le terme de secteur peut aussi évoquer un programme spécialisé ou référer à des catégories d'acteurs et des organisations spécifiques à l'intérieur d'une sphère d'activités particulières (secteur agroalimentaire des produits aquatiques, secteur des aires de protection marine, secteurs des changements climatiques, secteurs des innovations technologiques, etc.).

<sup>2</sup> Chesbrough, H.W. 2006. *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*. Harvard Business Press. 227p.

<sup>3</sup> MESI. Plan d'action de développement durable 2016-2020. *Créer de la valeur pour tous*. Gouvernement du Québec. 2016.

<sup>4</sup> Guzman, J.G. et al. 2013. *Living labs for user-driven innovation: A process reference model*. *Research-Technology Manag.* 56, 29-39.

<sup>5</sup> Estellés-Arolas, E. et G.-L.-de-Guevara, F. 2012. Towards an integrated crowdsourcing definition. *Journal of Information Science.* 38, 189-200

*Favoriser la coconstruction des enjeux et des solutions.* Portée par le RQM, la programmation d’Odysée Saint-Laurent deviendra le carrefour de l’intersectoriel et de l’interdisciplinaire à l’aide de l’innovation ouverte. Elle créera un dispositif scientifique dynamique et flexible pour débattre des enjeux et des controverses et un lieu où les partenaires pourront exprimer leurs besoins. Cet espace de dialogue et de rapprochement favorisera l’élaboration d’une vision globale des enjeux coconstruits. La définition conjointe permettra de tester des propositions de solutions à l’aide d’expérimentation. Cette façon de travailler sur les points de jonction (enjeux) entre les secteurs produira des avantages impossibles à atteindre autrement, et ce, en termes de création d’opportunités et d’innovations ouvertes et scientifiques. Les modèles intersectoriels de coordination des actions en termes de gouvernance adaptative serviront de base pour construire des modèles créatifs d’acquisition, d’intégration, d’évaluation et d’échange nécessaires pour que les partenaires et les acteurs du milieu puissent s’approprier les mécanismes de prise de décision. Ces décisions, associées aux processus d’innovations sociales, scientifiques et technologiques, pourront ainsi guider les conditions de réalisation de projets gouvernementaux ou industriels tels que l’installation et l’exploitation sécuritaires d’infrastructures aquacoles, côtières, portuaires, pétrolières et gazières afin d’éviter l’émergence de conflits d’usage. Le modèle pourra par exemple servir de base pour mieux documenter l’habitat et la structure des communautés aquatiques qui incluent des espèces d’intérêt pour les acteurs et les communautés humaines afin de contribuer à améliorer les processus de concertation dans la création et la gestion d’aires marines protégées et pour l’identification d’écosystèmes côtiers prioritaires à la conservation favorable à la mise en valeur de cet écosystème par l’industrie écotouristique.

*Encourager la participation active des partenaires.* Les préoccupations des partenaires entourant l’augmentation des capacités de collecte de données systématiques et de participation effective dans le développement d’outils permettront aux partenaires de prendre de meilleures décisions. Par exemple, il est prévu d’élaborer un modèle de *crowdsourcing* conjointement avec le SHC et les plaisanciers utilisateurs du SSL. Ce type d’innovation ouverte consiste à élaborer, avec les utilisateurs, des modèles d’affaires basés sur une acquisition ouverte de données par des acteurs non uniquement scientifiques (p. ex. pêcheurs, plaisanciers et public intéressé) et sur l’évaluation conjointe de leur qualité, de la gestion du risque et de la gouvernance participative. Le recours à la participation des partenaires pour la cueillette des données et l’élaboration d’une gouvernance collaborative est essentiel pour l’exploitation viable des ressources actuelles. De plus, les CEC modifieront les ressources exploitées et conséquemment demanderont d’explorer de nouveaux marchés pour les filières agroalimentaire et pharmaceutique avec des partenaires en exploitation, valorisation et transformation des ressources. Il en est également de même dans le domaine des croisières pour qui la connaissance des CEC est un enjeu majeur pour la planification de ses activités et son développement. Par ailleurs, pour soutenir la gestion des pêches, en plus de la réalisation d’un inventaire des données socio-économiques disponibles, il est envisagé d’élaborer des procédures d’acquisition collaborative pour obtenir des informations sur l’évaluation des services écologiques, les savoirs traditionnels autochtones ou encore, sur la pêche récréative en milieu marin, une activité qui demeure une industrie orpheline en termes de juridiction. En outre, certaines lacunes sur les enjeux d’écocertification et d’optimisation de la valeur des ressources pourraient être comblées avec l’implication des partenaires. Ce sera le cas concernant la capacité actuelle de traçabilité des produits de la pêche ou pour l’identification fiable des produits, autant au niveau de l’espèce (au moins 25 %-30 % des produits vendus en Amérique du Nord sont mal identifiés), que de la provenance.

*Développer une culture participative.* La participation des citoyens s'est récemment amorcée dans le domaine de l'adaptation aux CEC des municipalités et des territoires sis en bordure du SSL avec l'*Alliance de recherche universités-communautés - Défis des communautés côtières de l'estuaire du golfe du Saint-Laurent à l'heure des changements climatiques* (ARUC-DCC), le réseau de suivi de l'érosion côtière, le programme de bouées dérivantes ou encore dans la consolidation de certaines approches citoyennes (p. ex. *Rés-alliance: créer un réseau de communautés résilientes face aux changements climatiques et hydriques*, projet financé par le MDDELCC). Les aspects d'anticipation, de prospective, d'apprentissage mutuel et de concertation dans la prise de décision face à l'incertitude, seront des éléments clés qui seront approfondis. De plus, le modèle collaboratif d'Odyssée Saint-Laurent permettra au Québec de se positionner avantageusement dans les initiatives de recherche internationale telles qu'Horizon 2020 et son successeur ainsi que *Future Earth*. Les mécanismes d'intégration des connaissances stratégiques et des applications, respectivement issues des chantiers I et II, aux laboratoires vivants pourront être transposés dans d'autres contextes au Québec et dans d'autres régions du monde. Cette intégration de secteurs sera réalisée par l'animation d'ateliers et de travaux conjoints entre les scientifiques et partenaires visant à développer une culture de l'intersectoriel qui viendra soutenir la coconstruction des projets. Cette nouvelle culture fera également partie intégrante des appels à projets et sera déterminante pour l'obtention du financement.