



**Programmation triennale  
de la recherche  
et de la formation**

Version finale : 29 septembre 2011

Institut des sciences de la mer de Rimouski (ISMER)  
310, allée des Ursulines, C.P. 3300  
Rimouski (Québec) CANADA  
G5L 3A1

Courriel : [ismer@uqar.ca](mailto:ismer@uqar.ca)  
[www.ismer.ca](http://www.ismer.ca)

## Table des matières

---

L'Institut des sciences de la mer de Rimouski : une mission en évolution.....	1
La vision et les objectifs de l'ISMER.....	1
Les moyens préconisés .....	2
Les thématiques de recherche : arrimage aux enjeux mondiaux et nationaux actuels.....	3
Thème 1 : Fonctionnement des systèmes marins et impacts du changement climatique global.....	5
Thème 2 : Les impacts anthropiques sur les écosystèmes marins.....	8
Thème 3 : Les biosciences marines pour la valorisation des bioressources marines .....	11
Thème 4 : La géologie marine et les risques naturels.....	13
Services offerts en soutien à la recherche et à la communauté scientifique .....	17
Travaux de valorisation sur les microalgues.....	17
Collection de souches microbiennes indigènes.....	17
Bassins de production d'espèces marines et d'eau douce.....	17
Mésocosmes et benthocosmes de la station aquicole.....	18
Laboratoire de radioécologie marine .....	18
Laboratoire de paléomagnétisme sédimentaire et de géologie marine.....	18
Laboratoire de palynologie marine et d'étude du phytoplancton marin.....	19
Laboratoire de sédimentologie marine.....	19
Laboratoire d'écologie benthique et de taxonomie .....	19
Laboratoire de chimie marine et de spectrométrie de masse (LCMSM).....	20
Laboratoire d'analyse et de simulation des systèmes océaniques (LASSO).....	20
Laboratoire d'analyse des particules et des surfaces.....	20



## L'INSTITUT DES SCIENCES DE LA MER DE RIMOUSKI : UNE MISSION EN ÉVOLUTION

---

L'Institut des sciences de la mer de Rimouski (ISMER) se donne comme mission, depuis sa création en 1999, de contribuer significativement à la découverte et à l'avancement des connaissances fondamentales et appliquées des milieux côtier et marin, afin d'être en mesure d'évaluer les impacts de l'activité humaine sur l'environnement et ses ressources. L'Institut et ses chercheurs développent les outils scientifiques et techniques indispensables à l'utilisation durable et à la conservation de notre patrimoine marin. La formation universitaire de 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> cycles en océanographie et la diffusion des connaissances à la société font partie intégrante de cette mission. Les chercheurs de l'ISMER aspirent à ce que leurs activités de recherche et de formation puissent fournir du personnel hautement qualifié et des outils de gestion à une société qui a le devoir de protéger la diversité et l'abondance des écosystèmes et des espèces présentes en milieu marin.

L'ISMER est un institut de recherche en plein essor ayant acquis au cours des années une reconnaissance nationale et internationale. Ses thèmes de recherche généralement appliqués aux milieux côtiers du Québec et des régions de hautes latitudes sont en lien direct avec les grandes problématiques environnementales mondiales. Une des forces de l'ISMER réside dans l'expertise de son corps professoral, en constante croissance au cours des dernières années. L'ISMER a fait l'acquisition d'infrastructures de recherche lui permettant de se positionner comme chef de file dans le vaste domaine des sciences de la mer. En plus d'un parc d'instruments océanographiques hautement performants et d'ordinateurs puissants pour la modélisation, l'ISMER a acquis des équipements de pointe en géologie marine, en chimie analytique, en microscopie électronique et en analyse de particules, ce qui lui permet de développer son expertise dans les domaines prioritaires de l'océanographie moderne. Les chercheurs et les étudiants de l'ISMER disposent aussi de deux infrastructures majeures : le *CORIOLIS II*, un navire de recherche océanographique équipé des derniers développements technologiques et la station aquicole de Pointe-au-Père, la plus vaste station marine de recherche au Québec. De plus, l'ISMER bénéficie de structures administratives flexibles qui lui permettent de se donner un plan d'action et des objectifs de développement à long terme.

### LA VISION ET LES OBJECTIFS DE L'ISMER

---

Dans le respect de sa mission universitaire de formation et de recherche, les chercheurs et gestionnaires de l'ISMER ont la vision d'en faire *un des plus importants centres de recherche francophones au monde en matière d'environnements côtiers et marins*, un centre en mesure d'influencer les grandes orientations internationales de la recherche dans ce domaine et de conseiller les décideurs en matière de gestion environnementale face aux changements climatiques et de développement durable des biens et services d'écosystèmes marins.

Les objectifs généraux de l'ISMER et de ses chercheurs s'énoncent ainsi :

- Continuer à jouer un rôle mobilisateur dans la formation pluridisciplinaire d'experts en sciences marines au Québec et dans la francophonie et ainsi assurer une reconnaissance de la région de Rimouski comme pôle d'excellence en sciences de la mer ;
- Développer des programmes de recherche novateurs s'appliquant en particulier aux eaux côtières et marines de l'est du Canada et des régions arctiques ;

- Multiplier les échanges avec les chercheurs étrangers et participer aux grands programmes internationaux en lien avec les zones côtières et les marges continentales notamment sur la biodiversité, la productivité marine et le climat ;
- Contribuer à l'amélioration des biens et services d'écosystèmes par l'acquisition de nouvelles connaissances sur les causes et les effets des impacts anthropiques ;
- Développer des approches innovantes pour la valorisation des biomasses marines et pour le développement durable des ressources halieutiques ;
- Participer à l'élaboration des modèles hydrodynamiques et paléoclimatiques pour comprendre les bouleversements climatiques actuels et les risques associés.

## LES MOYENS PRÉCONISÉS

---

Pour atteindre les objectifs énoncés plus haut, l'ISMER et ses chercheurs se donneront comme mandat d'utiliser tous les moyens et outils déjà à leur portée et aussi de développer de nouvelles approches et expertises. Parmi les multiples actions à entreprendre, on note les suivantes :

- L'ISMER renforcera son action collective par l'intégration de sa programmation scientifique et des activités de ses chercheurs selon quatre thèmes prédéfinis;
- L'ISMER favorisera la concertation entre ses chercheurs et ceux d'autres institutions afin de permettre l'accès à plus de ressources financières et matérielles nécessaires à l'atteinte des objectifs fixés;
- L'installation d'un réseau d'observations océanographiques dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent sera mise à profit par l'ISMER afin de développer des nouvelles collaborations à l'international et permettre l'échange et la comparaison de données avec des environnements similaires à ceux du Saint-Laurent;
- La reconnaissance des chercheurs de l'ISMER en océanographie et biosciences marines sera renforcée par une plus grande diffusion de leurs réalisations dans les médias scientifiques et auprès du grand public et par la diffusion d'informations concernant la participation des chercheurs aux grands programmes nationaux et internationaux auprès des entités régionales, nationales et internationales;
- L'ISMER contribuera au développement de la chaire de recherche du Canada en géologie marine et la chaire UNESCO en analyse intégrée des systèmes marins pour permettre leur croissance et leur le développement de leur leadership international ;
- Les chercheurs de l'ISMER assureront leur leadership au sein de plusieurs programmes de recherche nationaux et internationaux dans les champs d'expertise de l'Institut comme la biodiversité génétique, spécifique et écosystémique marine, la paléoclimatologie, les risques environnementaux, les changements climatiques, l'aquaculture et la valorisation des bioressources. Plus particulièrement :
  - les chercheurs de l'ISMER continueront de s'impliquer dans le programme international GEOHAB (IOC-SCOR) touchant à l'écologie et l'océanographie des algues nuisibles, en développant le volet sur les fjords et les baies côtières,
  - les chercheurs de l'ISMER assureront, en collaboration avec l'Institut Antarctique Argentin, l'Université San Juan Bosco et le Conseil National de la Recherche Scientifique de l'Argentine (CONICET), la coordination des activités de recherche en régions australes : Antarctique, subantarctique et dans le golfe de San Jorge,

- l'ISMER sera impliqué au sein du groupe d'institutions qui dirigera la suite du programme Census of Marine Life In a Changing Ocean(LICO) - à l'échelle planétaire,
- Les chercheurs de l'ISMER seront impliqués dans les regroupements stratégiques FQRNT : Québec-Océan, Réseau Aquaculture Québec, Centre d'Études Nordiques, GEOTOP et INAF ;
- L'ISMER favorisera le développement de modèles numériques intégrés pour l'étude multidisciplinaire des milieux côtiers à diverses échelles, notamment en augmentant l'accès à une capacité de calcul adéquate, en bonifiant la formation en modélisation numérique et en consolidant des partenariats nationaux et internationaux;
- L'ISMER sera le maître d'œuvre pour la tenue des *États généraux du golfe du Saint-Laurent* ayant pour but de définir «un protocole du développement durable et de gestion intégrée du Saint-Laurent». Sous l'égide de la chaire UNESCO en analyse intégrée des systèmes marins, ces *États généraux* inciteront les intervenants de tous les paliers politiques, les intervenants économiques et sociaux locaux et régionaux ainsi que les intervenants scientifiques et techniques à venir partager leurs points de vue sur le sujet;
- L'ISMER augmentera la capacité et l'autonomie de ses chercheurs pour l'échantillonnage multidisciplinaire des milieux côtiers en se dotant de nouveaux instruments de terrain à la fine pointe de la technologie et en se dotant d'un nouveau bateau de recherche (8 m);
- L'ISMER poursuivra et intensifiera son soutien financier au programme de conférenciers invités et mettra sur pied un programme de chercheurs-visiteurs à l'ISMER;
- L'ISMER mettra sur pied un programme de reconnaissance du mérite scientifique de ses professeurs, chercheurs et étudiants pour stimuler et encourager les contributions scientifiques remarquables et ayant une portée significative sur le domaine concerné;
- L'ISMER poursuivra et développera son soutien technique et professionnel aux professeurs dans la réalisation de leurs travaux de laboratoire et de terrain.

## LES THÉMATIQUES DE RECHERCHE : ARRIMAGE AUX ENJEUX MONDIAUX ET NATIONAUX ACTUELS

---

Les objectifs de développement de l'ISMER s'arriment harmonieusement aux grands enjeux actuels liés aux effets des changements climatiques et aux modifications de la productivité et de la biodiversité des écosystèmes causés par les activités anthropiques. La fréquence des catastrophes naturelles a augmenté ces dernières décennies et cette fréquence semble en lien avec l'accélération du réchauffement de la planète. Le Québec et l'est du Canada ne sont pas épargnés et plusieurs zones géographiques sensibles ont déjà été touchées. En particulier, la hausse du niveau de la mer ainsi que la diminution de la couverture de glace accélèrent l'érosion un peu partout sur le littoral de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Les constats scientifiques relatifs aux changements globaux ont conduit l'ISMER et ses chercheurs à porter une attention particulière au fonctionnement des systèmes estuariens et marins relatif à l'évolution passée et présente du climat et du cycle des gaz à effets de serre. Les risques naturels qui en découlent sont analysés sous toutes leurs facettes, en conditions extrêmes ou évolutives en fonction des événements actuels ou antérieurs. Les travaux visent à analyser leurs impacts, entre autres, sur la diversité biologique (augmentation ou diminution du nombre d'espèces, migration vers les zones polaires, augmentation de la

compétition interspécifique), l'érosion des berges et les fluctuations des niveaux d'eau. D'autres travaux visent l'étude des floraisons d'algues nuisibles et la propagation d'espèces aquatiques envahissantes dans les eaux côtières canadiennes qui sont des phénomènes en expansion à l'échelle mondiale.

Par ailleurs, les besoins alimentaires de la planète sont sans cesse croissants et les écosystèmes naturels ont atteint ou dépassé leur capacité à y répondre. L'épuisement des ressources halieutiques traditionnelles pose également de nouveaux défis, du point de vue de l'écologie (quelles sont les modifications induites dans l'écosystème?) et du point de vue de la technologie (comment tirer le meilleur parti des ressources existantes?). L'aquaculture, sous toutes ces formes, est devenue un incontournable dans notre façon de penser notre utilisation des bioressources marines que ce soit en soutien, en complément ou en remplacement des prélèvements traditionnels. Les chercheurs de l'ISMER s'intéressent non seulement à l'étude zootechnique d'espèces adéquates et performantes (poissons et invertébrés) pour des élevages intensifs, mais aussi aux aspects reliés au recrutement, à la physiologie, à la nutrition, à l'identification et à la sélection de traits d'intérêt, ainsi qu'à l'identification de souches ou de stocks plus appropriés pour la production. Ici aussi, les changements climatiques auront un impact sur les choix d'espèces, de souches ou de types de production, un aspect encore peu étudié, mais qui devrait dès maintenant nous interpeller. La qualité des installations de la station aquicole de Pointe-au-Père joue un rôle crucial dans la capacité des chercheurs de l'ISMER à réaliser des projets à la fine pointe du secteur. De façon globale, l'ISMER veut se donner la capacité d'établir des diagnostics sur l'état des écosystèmes, avec le souci majeur de les protéger tout en permettant une utilisation et une valorisation des potentialités du patrimoine québécois et canadien des ressources naturelles renouvelables dans le respect de la capacité de support environnementale.

La programmation scientifique de l'ISMER s'inscrit dans quatre grands thèmes de recherche :

1. Le premier thème est relié à ***l'étude des systèmes marins et du changement climatique global***. L'objectif général de ce thème est de comprendre et modéliser (modèles conceptuels, mathématiques, probabilistes, etc.) les interactions entre les différentes composantes des systèmes marins (faune, flore, biogéochimie, environnement physique) afin de prédire leur évolution dans un contexte de changements climatiques;
2. Le deuxième thème touche ***l'étude des impacts anthropiques sur le milieu marin***, afin d'évaluer les conséquences des pressions anthropiques exercées sur les biens et services d'écosystèmes marins et proposer des moyens de protéger les ressources malgré l'intensification du stress anthropique partout sur la planète;
3. Le troisième thème est relié à ***la conservation et à la valorisation des bioressources marines***. Il s'intéresse à la place de ces bioressources dans leur écosystème, à leur potentiel halieutique et aquicole et à leur capacité à fournir des aliments sains, ainsi que des substances bioactives tout en préconisant une exploitation durable.;
4. Le quatrième thème porte sur ***la géologie marine et les risques naturels***. À partir de l'étude des fonds marins, de la dynamique sédimentaire et de la stratigraphie des séquences sédimentaires quaternaires, il permet de déterminer la variabilité naturelle du climat et des risques naturels ainsi que de traiter de problèmes comme l'érosion côtière.



## THÈME 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTÈMES MARINS ET IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE GLOBAL

---

Il existe un vaste consensus au sein de la communauté scientifique voulant que les émissions des gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub> et méthane) aient sensiblement contribué à la modification du climat de notre planète depuis le début de l'ère industrielle. Ce consensus est fondé non seulement sur des modélisations numériques, mais est renforcé par des résultats d'analyse de séries chronologiques provenant de longues séries temporelles. L'étude concertée des changements climatiques à l'échelle planétaire a mis en évidence l'existence de liens étroits et complexes entre les différentes sphères du système climatique (hydrosphère, lithosphère, atmosphère, biosphère, cryosphère). Les modèles prévoient notamment :

- Des modifications importantes de la stratification des bassins océaniques aux moyennes et hautes latitudes ;
- Une décroissance spectaculaire du couvert de glace estival dans les régions polaires et une disparition de la glace pluriannuelle dans la première moitié du XXI<sup>e</sup> siècle ;
- Des changements notables dans la trajectoire et la fréquence des tempêtes arctiques et subarctiques ;
- Une modification importante du régime des vagues, avec des conséquences sur la stratification des eaux polaires et subpolaires ainsi que l'érosion côtière ;
- Un changement important de la radiation solaire atteignant la surface du globe, avec des conséquences importantes pour tous les organismes vivants sur et sous l'eau et une modification des réactions photochimiques impliquant des molécules comme le diméthyle sulfure (DMS) et le gaz carbonique dissout (CO<sub>2</sub>) ;
- L'acidification des océans due à la dissolution croissante de CO<sub>2</sub> dans l'eau de mer, avec des conséquences néfastes pour de nombreuses espèces planctoniques et benthiques dues entre autres à la dissolution des structures calcaires.

Cet ensemble de conséquences documentées des changements climatiques comporte son lot d'inconnus pour chacune des composantes du système, à travers des boucles de rétroaction et des effets non linéaires ou des processus encore inexplorés. Les chercheurs de l'ISMER notamment en physique, en écologie et en sédimentologie sont en mesure de mettre en commun leurs expertises et leurs moyens pour contribuer de façon très importante aux progrès des connaissances dans ce secteur en ébullition dans le monde scientifique. Afin de mieux représenter leurs activités de recherche, celles-ci sont regroupées en trois catégories selon qu'elles étudient le climat passé, les processus ayant cours dans le climat présent ou qu'elles s'intéressent à ce qu'il adviendra dans le futur. Plus spécifiquement :

- **Les études du passé** visent à comprendre les processus climatiques et leurs effets sur le biote à de longues échelles de temps, à partir d'observations paléoclimatiques et de l'utilisation de modèles de reconstitution. Elles fournissent un excellent aperçu du contexte climatique actuel;
- **Les études du présent** cherchent à comprendre la dynamique des processus en cours en prenant avantage des techniques modernes d'échantillonnage pour la récolte de données qui permettent de tester et valider les théories et les modèles de manière exhaustive;

- **L'étude du futur** utilise les modèles élaborés et validés pour faire des prédictions concernant le devenir des systèmes marins. Le développement de méthodes statistiques et probabilistes devient nécessaire pour quantifier les incertitudes et les niveaux de risques associés à un changement prévu.

### **1.1 Le passé : réchauffement de la planète - causes anthropiques et variabilité naturelle?**

Bien que de plus en plus d'évidences scientifiques démontrent que les activités industrielles causent l'accélération du réchauffement de la planète telle qu'observée au cours du xx<sup>e</sup> siècle (rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat - GIEC 2007), l'étude du climat passé procure de précieuses informations concernant le fonctionnement du système climatique. Pour faire progresser cette démarche, les chercheurs de l'ISMER ont lancé des recherches spécifiques utilisant la stratigraphie et la magnétostratigraphie quaternaires pour reconstituer les paléoenvironnements et paléoclimats des régions polaires et subpolaires. Le **thème 4** reprend et décrit plus en détail ces études.

### **1.2 Le présent : étude des processus fondamentaux en cours**

Une étude exhaustive des processus fondamentaux en cours implique l'observation de différents types d'écosystèmes à partir des systèmes côtiers (estuaire et golfe du Saint-Laurent, fjord du Saguenay, baie d'Hudson) jusqu'aux environnements polaires en incluant un effort particulier dans les zones côtières critiques (marais côtiers, lagunes, zones de protection marine, etc.). Un regard attentif est porté à l'évolution de la zone côtière, en particulier l'érosion littorale, afin de pouvoir prédire son impact sur les écosystèmes et les infrastructures littorales. L'évaluation de la fréquence de certains risques naturels tels que les crues, les tempêtes, les glissements de terrain et les tremblements de terre au cours des derniers millénaires est cruciale pour une modélisation juste de leurs impacts.

Dans ces études des processus fondamentaux, seront considérées les interactions entre les espèces composant les différents niveaux trophiques, des microorganismes jusqu'aux prédateurs apicaux. Les effets de la ressource nutritive et de l'eutrophisation dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent sont étudiés ainsi que la diversité des communautés bactériennes marines et leur dynamique dans le cycle de l'azote dans les marais côtiers. Les marais côtiers, hôtes d'une communauté benthique abondante, sont des zones critiques car les échanges d'eau demeurent limités et ils sont soumis à des apports importants d'azote anthropique provenant d'un développement intensif de l'agriculture et des rejets urbains et industriels. La prévision du devenir de ces marais face aux bouleversements climatiques en cours passe par la compréhension des échanges des espèces de l'azote entre l'estuaire du Saint-Laurent et les marais côtiers qui le bordent pour en déterminer l'impact sur l'ensemble du biogéocycle de l'azote dans le système Saint-Laurent.

Des études combinées de télédétection et la modélisation des données permettront de cerner les mécanismes océanographiques et biologiques contrôlant l'organisation spatio-temporelle et l'abondance des biomasses phytoplanctonique, macro-zooplanctonique et nectonique dans l'écosystème pélagique et leur influence sur les flux de carbone entre l'atmosphère et la mer. Les outils numériques tirés des mesures satellitaires de couleur de l'océan permettent de fournir de l'information à grande échelle spatiale et à haute fréquence temporelle sur le matériel en suspension et le matériel dissous dans l'eau, ainsi que sur la biomasse et la productivité dérivée du phytoplancton et certaines informations sur les communautés algales dont le détail augmentera avec le développement des senseurs hyperspectraux. Les outils développés à l'ISMER en télédétection aideront à détecter les changements subis par les populations algales à la base des réseaux trophiques depuis les dernières décennies et influencées soit par les impacts anthropiques ou les changements climatiques.

De plus, les modifications des composantes biologiques dans le milieu pélagique ont une incidence sur le milieu benthique. Nos études permettront de caractériser la dynamique de couplage physique/biologique structurant les relations prédateurs/proies à tous les niveaux de la chaîne alimentaire tout en considérant la variabilité des habitats benthiques en terme de diversité fonctionnelle et de résistance aux impacts anthropiques. L'étude des effets combinés de la hausse du CO<sub>2</sub>, de la température et l'augmentation dans l'exposition à la lumière seront une priorité pour comprendre comment le changement climatique affecte l'écosystème et comment à son tour l'écosystème peut affecter le climat. Des outils clés comme les mésocosmes développés à l'ISMER serviront notamment à l'étude des réponses des communautés naturelles à ce type de stress multiple.

Selon l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) et le Census of marine life (réseau de recherche auquel participe activement l'ISMER, dont un de ses membres siège sur le comité directeur), le rythme de disparition des espèces est actuellement inquiétant. Au cours de la dernière décennie, cette disparition s'est accentuée de telle sorte que le rythme auquel les espèces disparaissent est maintenant supérieur au rythme de découvertes de nouvelles espèces. Dans ce contexte, les chercheurs de l'ISMER tentent de mieux comprendre et de prédire l'effet de cette perte de biodiversité sur le fonctionnement des écosystèmes. De plus, les différentes campagnes de prélèvement permettent l'acquisition de connaissances taxonomiques, incluant à l'occasion la découverte de nouvelles espèces.

Le système benthique sera analysé en termes de diversité spécifique et fonctionnelle selon la variabilité des habitats. Ces études permettront de modéliser l'évolution des habitats et des peuplements et de vérifier la résistance de ce système aux impacts anthropiques. De plus, les modifications côtières portent atteinte à la biodiversité marine entraînant des pertes de fonctions de l'écosystème. Tout changement de biodiversité aura des effets par exemple, sur le cycle de l'azote et sur la résilience du milieu aux perturbations.

### **1.3 Le futur : intégration des composantes biologique, géologique et chimique aux modèles climatiques**

Cette approche holistique permettra l'intégration des composantes biologique, géologique et chimique aux modèles climatiques et est conforme aux problématiques de recherche définies dans les grands programmes nationaux et internationaux, comme SOLAS, ARTICNET et Past4Future, et inclue l'effet global de l'activité humaine sur les écosystèmes. La production des écosystèmes pélagiques et benthiques marins (structures et abondance de la biomasse) et des flux de carbone associés aux mers glacées de l'est du Canada (golfe du Saint-Laurent, baie d'Hudson) seront étudiés dans le contexte des changements climatiques à l'aide des outils de modélisation et de l'expertise disponible à l'ISMER. La connaissance des variations des conditions physiques et dynamiques du milieu (température, stratification, courants, glaces, éclaircissements, intensité de la lumière réfléchie), de la concentration du carbone organique dissous (COD), du flux de CO<sub>2</sub>, de la pénétration des rayons ultraviolets, etc., permettront de caractériser les couplages étroits qui existent entre les processus physiques et biologiques.

Une composante essentielle de la dynamique complexe du carbone organique marin et des éléments nutritifs est la photochimie du carbone organique chromophorique dissous et particulaire (CDOM et CPOM). Les systèmes marins nordiques, incluant l'océan Arctique et le système estuarien du Saint-Laurent, sont des environnements propices pour étudier la photochimie de la matière organique en relation avec les changements climatiques. Ceux-ci provoquent entre autres un accroissement des apports en eau douce et en matière organique à la surface des mers nordiques, augmentant ainsi la stratification de la colonne d'eau et la concentration des substrats organiques. L'accroissement combiné des rayons ultraviolets (UV), de l'apport de matière organique, et de la stratification de la colonne d'eau amplifie de façon synergique la possibilité d'oxydation de la matière organique chromophorique. L'objectif des recherches à l'ISMER dans

ce domaine est d'évaluer comment la photochimie de la matière organique peut affecter le fonctionnement des écosystèmes marins nordiques dans un contexte de changements climatiques. Entre autres, l'ISMER cherchera à comprendre l'influence de la photochimie du CDOM sur le cycle des gaz en traces (comme le monoxyde de carbone (CO) et le sulfure de diméthyle (DMS)) et sur le cycle de l'azote. Les implications de l'activité photochimique dans la glace de mer sur le cycle du carbone océanique seront aussi examinées.

L'outil intégrateur par excellence de la majorité de ces travaux est la modélisation numérique qui représente mathématiquement les différents processus (physique, biologique, biogéochimique) et les intègre numériquement dans l'espace et le temps, dans des régions d'intérêt particulier et sur des périodes plus ou moins longues, passées ou futures. La complexité des modèles est typiquement adaptée selon la question de recherche. Parmi les modèles opérés par l'équipe de chercheurs de l'ISMER, il y a les modèles de circulation tridimensionnelle appliquée au golfe du Saint-Laurent, à la baie d'Hudson et à la baie de Baffin. Par le fruit des études de processus, les modèles sont constamment améliorés et testés avec les données récoltées sur le terrain ou provenant des bases de données opérationnelles. En intégrant un grand nombre de processus différents, les modèles permettent de mieux comprendre les interactions entre les différentes composantes et dans diverses situations idéalisées qu'on ne peut obtenir en réalité. Ultimement, les modèles servent à faire des prédictions à court, moyen ou long terme et des efforts seront déployés afin de les rendre opérationnels, et ce en travaillant de concert avec des partenaires nationaux et internationaux impliqués dans ces recherches.

## THÈME 2 : LES IMPACTS ANTHROPIQUES SUR LES ÉCOSYSTÈMES MARINS.

---

Un nouvel organisme international a été créé en décembre 2010 lors de la 65<sup>e</sup> Assemblée générale des Nations Unies (IPBES – Plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services d'écosystèmes) visant à organiser une riposte mondiale face à la perte de la biodiversité et à la destruction des écosystèmes. Les changements de biodiversité, la protection, la conservation et la valorisation sont devenus les mots clés qui orientent les activités des chercheurs universitaires et gouvernementaux dans le vaste domaine de connaissance que constituent l'écotoxicologie marine et l'évaluation des risques environnementaux. Les effets parfois brutaux des changements climatiques apportent aux milieux côtiers toute une panoplie de nouveaux stressors physiques et climatiques qui s'ajoutent aux menaces qui pesaient déjà sur ces milieux à cause des intenses activités anthropiques à partir du transport maritime jusqu'aux eaux usées toxiques.

### 2.1 Biens et services d'écosystèmes

La notion de «biens et services d'écosystèmes» est une approche économique de l'environnement qui tente d'estimer et même de calculer une valeur aux divers processus biologiques produisant des bénéfices retirés par l'Homme de son environnement immédiat et de l'écosystème global. Une telle approche est controversée et les scientifiques peuvent contribuer très positivement au débat parfois virulent qui s'en dégage. Il faut répondre non seulement à la question : «comment protéger et conserver un écosystème ?» mais aussi expliquer «comment fonctionne ce système et identifier les bénéfices d'un fonctionnement équilibré ?» et dire «pourquoi il faut le préserver et à quel prix ?». Les données scientifiques sur la qualité des eaux et des sédiments, sur les effets toxiques de substances anthropiques et sur les risques environnementaux entrent directement dans l'équation de ce débat de fond de notre société.

La chaire UNESCO en analyse intégrée des systèmes marins est au cœur de cette problématique des « biens et services » rendus par les écosystèmes. En faisant le lien entre les démarches écologiques, économiques et sociales, elle abordera la question selon une vision interdisciplinaire. Ses activités s'organiseront selon

deux volets. Un volet formation qui visera, d'une part, à développer un programme de type DESS (Diplôme d'études supérieures spécialisées) unique par son contenu et par son format, puisqu'il s'agira d'un enseignement « en ligne » utilisant les techniques actuelles de communication. D'autre part, il cherchera à mettre sur pied des séminaires et ateliers sur les approches écosystémiques. Un volet recherche, développé en collaboration étroite avec les chercheurs de Pêches et Océans Canada, visera le développement de projets pilotes et d'études de cas permettant d'aborder de façon concrète les notions de gestion intégrée.

## 2.2 Substances toxiques et réponse des écosystèmes

De son côté, la chaire de recherche du Canada en écotoxicologie moléculaire en milieux côtiers œuvre à une meilleure compréhension de l'impact des stress anthropiques et naturels sur l'évolution à court et long terme des écosystèmes côtiers des hautes latitudes et contribue à la conservation et la protection des milieux côtiers froids et au développement durable des ressources halieutiques. De façon plus spécifique, les travaux de la chaire porteront d'abord sur *le devenir des substances toxiques et leurs effets en milieu froid*, un volet qui regroupe l'ensemble des travaux effectués en zones polaires, notamment sur la bioremédiation et la toxicité des hydrocarbures pétroliers et de combustion ainsi que les travaux sur les interactions multiples comme les rayons UVB, les organométaux et les hydrocarbures dissous. Le deuxième volet sur *la réponse des écosystèmes côtiers froids* a pour objectif de procéder à une caractérisation biogéochimique et écologique approfondie des zones littorales de l'estuaire du Saint-Laurent et sur l'évaluation des risques environnementaux notamment dans le Parc marin Saguenay-Saint-Laurent en fonction des effets des changements climatiques et de l'accroissement constant de la pression anthropique. Le troisième volet portera sur *la nanotoxicologie aquatique*, une discipline naissante qui incorpore les études sur le devenir environnemental et les effets toxiques des nanoparticules anthropiques sur les espèces aquatiques. Les chercheurs de l'ISMER sont parmi les tout premiers à s'intéresser aux nanoparticules dans le milieu côtier même si la production industrielle des nanoparticules et nanomatériaux se développe à une vitesse exponentielle. Enfin, le quatrième volet portera sur *la radiochimie appliqués aux milieux côtiers* où la chaire développera des outils et des techniques pour détecter la présence de substances radioactives dans les zones côtières pour des fins de datation ( $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , etc.) ou pour évaluer des risques environnementaux liés à des accidents nucléaires. Certains noyaux radioactifs sont aussi utilisés comme traceurs pour suivre la bioaccumulation et les cinétiques de transfert des métaux dans les organismes marins incluant plusieurs invertébrés et poissons.

Au cours des dernières années, l'amélioration des techniques d'analyse chimique a permis de mettre en évidence la présence d'une multitude de nouvelles molécules présentes en milieu aquatique. Parmi celles-ci, les chercheurs de l'ISMER s'intéressent en particulier aux *drogues et médicaments* comme contaminants émergents en milieu côtier. Selon l'Office des Nations Unies contre la drogue et le crime (ONUDC), 200 millions de personnes dans le monde consomment des drogues illicites annuellement. Ces drogues, tout comme les médicaments, sont des contaminants similaires aux autres polluants organiques quant à leur devenir dans l'environnement et leur potentiel d'accumulation dans les organismes ou les sédiments. Les drogues, les médicaments et leurs métabolites sont excrétés par les utilisateurs et sont en bonne partie transférés dans les bassins récepteurs et finalement transportés vers les milieux côtiers. Ainsi, l'introduction de drogues et médicaments et leur action dans l'environnement représentent un risque environnemental émergent dont il faut quantifier l'importance. Pour éclairer les gestionnaires et les décideurs environnementaux, les chercheurs de l'ISMER, disposant de techniques analytiques de pointe, tenteront de répondre à plusieurs questions qui se posent quant au comportement de ces substances en milieu estuarien et côtier : Quelles sont les concentrations en drogues présentes dans l'environnement ? Quelle est la persistance des drogues dans les milieux récepteurs ? Comment ces substances représentent-elles un risque pour les organismes aquatiques ?

### 2.3 Matière organique et algues nuisibles

La matière organique dissoute, telles que les substances humiques, contrôle en partie la lumière pénétrant la zone photique, en affectant l'intensité et la composition spectrale du rayonnement photosynthétiquement actif (PAR) ainsi que le rayonnement UV. Ces substances, produites par une grande diversité de réactions biogéochimiques conduisent à une « mutation chimique » des biopolymères naturels (lipides, protéines, sucres) synthétisés par les organismes. Les molécules transformées forment les substances humiques. Elles ouvrent un nouveau champ de formes et de réactivités chimiques qui réécrit le devenir de la matière organique dans l'environnement. Comme l'abondance de ces substances est reliée au bon fonctionnement des écosystèmes, les chercheurs de l'ISMER s'efforceront de comprendre les effets des changements globaux sur les services d'écosystèmes associés à ces substances. Par exemple, un réchauffement climatique produira, sous nos latitudes, des climats plus chauds et secs entraînant moins de drainage de substances humiques vers les écosystèmes aquatiques, ce qui affectera les caractéristiques physicochimiques de l'eau. L'effet de filtre solaire associé à la présence des substances humiques en sera modifié. Parmi les perturbations indésirables suggérées pour les substances humiques on peut noter que ces dernières pourraient favoriser le développement d'efflorescences d'algues nuisibles ou toxiques comme *Alexandrium tamarense*.

L'utilisation abondante d'engrais artificiels pour la culture à grande échelle, les rejets industriels et urbains et l'utilisation accrue des zones côtières à des fins récréotouristiques et pour l'aquaculture constituent les principaux facteurs responsables de l'eutrophisation des régions côtières. Cette eutrophisation entraîne une augmentation de la fréquence des floraisons d'algues nuisibles ou toxiques, telle que celle survenue dans l'estuaire du Saint-Laurent à l'été 2008 et causée par le dinoflagellé *Alexandrium tamarense*. De tels événements ont des effets importants sur la chaîne alimentaire marine (mortalité de poissons, d'oiseaux et de mammifères marins) qui peuvent se répercuter sur la santé humaine. Il importe donc de connaître les causes de tels événements, l'écologie des espèces impliquées, ainsi que les mécanismes de développement, de maintien des lits de kystes de dormance et de réensemencement des masses d'eau de surface la saison suivante.

Les impacts anthropiques ne s'articulent pas seulement autour de composés chimiques : l'augmentation en nombre et en taille des navires servant au commerce mondial a comme conséquence un transport accru de nombreux organismes aquatiques qui voyagent dans les réservoirs de ballast (eau et sédiment de fond) ou sur les coques de navires. Ces « espèces aquatiques envahissantes » peuvent parfois causer des dommages considérables aux environnements récepteurs (le cas de la moule zébrée dans les Grands Lacs est un exemple célèbre) en déplaçant des populations locales (affectant leurs prédateurs) ou à travers d'autres effets nocifs (Ex. : colmatage de prises d'eau dans le cas de la moule zébrée). Des chercheurs de l'ISMER s'intéressent au transport d'algues nuisibles par l'eau et le sédiment de ballast des navires, particulièrement pour les dinoflagellés dont plusieurs espèces sont toxiques. Leurs travaux s'insèrent dans le cadre du réseau de recherche canadien Canadian Aquatic Invasive Species Network (CAISN). Les premiers résultats montrent la présence d'algues nuisibles dans plus de 80% des navires qui visitent des ports de l'est du Canada. Ces travaux contribueront à la mise en place de mesures de contrôle et de mitigation des eaux de ballast déversées dans les zones côtières canadiennes.

## THÈME 3 : LES BIOSCIENCES MARINES POUR LA VALORISATION DES BIORESSOURCES MARINES

---

L'ISMER par ses activités de recherche s'inscrit dans le courant du développement technologique qui utilise les percées réalisées en biotechnologie et en génomique dans les secteurs de la santé et de l'agriculture pour diversifier l'utilisation des matières premières biologiques. L'exploitation des ressources vivantes aquatiques et la consommation des produits marins ont connu un développement spectaculaire au cours des cinquante dernières années, mais les besoins augmentent sans cesse et les données de la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) indique que la majeure partie de ces ressources sont surexploitées ou exploitées au maximum de ce que permettent les écosystèmes. La raréfaction des ressources halieutiques et la demande croissante de nos sociétés industrialisées pour les huiles d'origine marine, dont les effets bénéfiques sur la santé cardio-vasculaire sont reconnus, exercent une pression considérable pour le développement de techniques d'aquaculture de plus en plus sophistiquées. Cependant, le nombre d'espèces pour lesquels le cycle de production est bien documenté demeure extrêmement limité, particulièrement en milieu froid, et les besoins en connaissances nouvelles sont considérables.

Dans cette thématique, le terme *bioressources* comprend les espèces marines issues de tous les niveaux trophiques et à tous les stades de leur développement ainsi que toute molécule ou toute substance pouvant être extraite d'un organisme, un tissu ou une cellule et ayant un potentiel nutraceutique ou pharmaceutique. Les progrès scientifiques et les techniques dans la maîtrise de la reproduction et de l'élevage des espèces marines et continentales, ainsi que dans le développement des procédés de conservation et de transformation des bioressources prélevées ou produites, ont fait émerger un très important secteur d'activité dans lequel l'aquaculture devient, à l'échelle mondiale, un complément significatif à la pêche. Enfin, les prélèvements de ces bioressources associés au développement de systèmes de production intensifs ou hyper-intensifs provoquent des déséquilibres et des perturbations des écosystèmes productifs. Ils engendrent des risques dont la non-maîtrise hypothèque toute perspective de développement durable en raison des conséquences écologiques et socio-économiques désastreuses. Compte tenu de la forte expansion et constante des marchés de la consommation vivrière ou autre (pharmaceutique, paramédicale, etc.), les activités de production contrôlée des bioressources aquatiques se développent avec rapidité depuis une trentaine d'années, s'additionnent et même se substituent dans certains cas aux activités de captures, donc de prélèvement dans le milieu.

Face à cette expansion, les chercheurs de l'ISMER œuvrent dans plusieurs secteurs clés pour répondre aux impératifs générés par la diminution des stocks naturels de poissons et autres espèces marines : 1) la production aquicole ; 2) la connaissance des conditions critiques explicatives du maintien de la biodiversité au tour des sites aquacoles ; 3) le développement de bioproduits tirés des ressources marines et la valorisation de la biomasse marine.

### 3.1 La production aquacole

Un volet « aquaculture » vise à développer la production aquacole dans l'est du Québec en tenant compte des impératifs de durabilité et de responsabilité pour la conservation des écosystèmes. Ce secteur de recherche répond aux impératifs de besoin en protéines pour l'alimentation humaine et pour un succès durable de l'aquaculture. L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) estime qu'en 2030, ce mode de production devrait assurer près de la moitié des besoins en poisson à l'échelle mondiale. Des défis doivent cependant être relevés. C'est une activité primaire très sensible à un ensemble de facteurs biologiques, sanitaires ou climatiques qui peuvent influencer les performances des animaux,

aussi bien au niveau de la reproduction que du grossissement. Tout en couvrant les aspects fondamentaux d'acquisition de connaissances, les recherches effectuées à l'ISMER sont fortement orientées vers les priorités de développement identifiées par l'industrie québécoise et ses partenaires. La synergie créée par la concertation et la collaboration entre chercheurs de compétences diverses permet à l'ISMER de jouer un rôle prépondérant au sein du Réseau aquaculture Québec (Regroupement stratégique FQRNT) et du programme de formation FONCER (CRSNG) assurant ainsi le leadership de l'Institut dans ce domaine.

Les chercheurs de l'ISMER continueront à utiliser les progrès de la génétique en appui au développement de l'aquaculture. Le défi est d'utiliser la sélection et l'identification de marqueurs génétiques pour améliorer les traits de performances identifiés par l'industrie tant pour des espèces bien établies que pour des espèces ciblées pour la diversification. La sélection de souches résistantes aux stress et le développement d'indicateurs de vitalité sont des secteurs très dynamiques de la recherche en cours et à venir à l'ISMER et utilisent des outils comme l'immunocompétence, la vitalité, le potentiel reproducteur, les réserves énergétiques chez les mollusques bivalves et les poissons. Différents aspects nutritionnels et microbiologiques en éclosion sont également étudiés à l'ISMER.

### **3.2 Les conditions du maintien de la biodiversité autour des sites aquacoles**

L'étude de la structure des assemblages d'invertébrés benthiques est une approche commune permettant d'évaluer les impacts environnementaux, tels les impacts liés à une production aquacole. En effet, les peuplements benthiques, de par la sédentarité des organismes qui le composent, sont considérés comme de bons indicateurs de l'état de santé d'un écosystème. Les structures physiques installées dans le milieu pour la culture d'organismes (bivalves, poissons) influencent les communautés benthiques, d'une part en modifiant la dynamique hydrosédimentaire, mais également en agissant comme récif artificiel. De plus, les bio-dépôts produits et rejetés par les organismes cultivés accroissent l'eutrophisation et les processus biogéochimiques, modifiant les flux à l'interface eau/sédiment ainsi que la composition des assemblages endo-fauniques. Le changement de communauté benthique aura aussi un effet sur le fonctionnement d'autres compartiments de l'écosystème. Dans un contexte de développement durable, il importe donc de qualifier et de quantifier l'influence de l'aquaculture sur l'environnement.

### **3.3 La valorisation des ressources marines selon différentes approches**

L'un des défis actuels dans la gestion des écosystèmes marins est la détermination de zones prioritaires à protéger. Pour ce faire, il importe d'abord d'identifier les zones de grande biodiversité et de localiser les zones habitées par des espèces rares et ou menacées. La création de cartes continues de prédiction d'habitat potentiel est l'une des stratégies disponibles; ces cartes illustrent la présence de communautés d'espèces, en fonction de l'habitat physique et biologique optimal à ces dernières. Une fois le modèle initial de prédiction établi, il devient plus facile de mettre à jour les données de distribution spatiale en fonction des variables environnementales disponibles (Chl a, sédiment, courant, topographie, etc.). Il est aussi possible d'inclure dans le modèle les sources de stress, que celles-ci soient d'origine anthropique (pression de pêche, aquaculture, pollution, etc.) ou naturelle (modification du niveau de la mer, de la température de l'eau, etc.). Ainsi, la réunion sur une même carte de l'ensemble des paramètres environnementaux et des activités anthropiques présents dans une zone d'étude permet dans un second temps de créer une carte continue de prédiction de la distribution spatiale des organismes benthiques et de la biodiversité. En outre, ce type de modèle tient compte de l'état dynamique des communautés spécifiques répondant aux changements environnementaux. Cette approche permet d'anticiper les conséquences d'éventuels



changements globaux sur la distribution des espèces favorisant la prise de décisions éclairées des gestionnaires pour une saine gestion de l'environnement marin. Les chercheurs de l'ISMER modélisent les habitats benthiques dans les trois océans bordant le Canada.

Un volet « **conservation** » examine les conditions naturelles qui contribuent au maintien de la biodiversité par l'étude de l'adaptabilité des organismes à leur environnement et l'étude de l'écologie et la dynamique des populations de poissons et d'invertébrés dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. Ce volet contribuant au choix des espèces exploitables par la pêche commerciale ou en fermes aquacoles. Les chercheurs y étudient les conditions optimales et critiques qui explique l'évolution spatio-temporelle de la diversité spécifique des poissons démersaux dans le nord du golfe du Saint-Laurent et des invertébrés benthiques dans l'estuaire du Saint-Laurent soumis aux conditions d'hypoxie ou d'apports de contaminants. Un intérêt particulier est également porté aux espèces anadromes et catadromes qui utilisent les habitats côtiers durant certaines portions de leur cycle de vie et qui supportent des activités socio-économiques d'importance pour plusieurs communautés côtières du Québec et de l'est du Canada. Des études poussées sur la reproduction d'invertébrés benthiques mettent également en relief les ressemblances et dissemblances des processus fonctionnels entre les espèces dans différents écosystèmes de hautes latitudes. Les résultats obtenus sont donc d'intérêt autant pour le volet conservation que pour le volet de production aquacole.

Le volet de la «**valorisation**» de la biomasse marine fait partie intégrante du vaste domaine des sciences marines en développement à l'ISMER et constitue l'un des points forts des nouvelles stratégies gouvernementales à l'effet de favoriser davantage la croissance économique des régions où l'on pratique la pêche en diversifiant la base des ressources halieutiques tout en respectant l'environnement. Cette diversification passe par l'aquaculture d'une part, mais aussi par la recherche de nouvelles espèces encore sous-exploitées et par la valorisation des résidus d'usines pour les espèces déjà exploitées. La science des produits naturels se trouve avantagée par l'augmentation des capacités de séparation et de caractérisation des molécules marines naturelles développées à l'ISMER pour valoriser et trouver une activité nutraceutique ou pharmaceutique.

La station aquicole de Pointe-au-Père avec ses capacités de production massive de microalgues, d'élevage de poissons et d'invertébrés ainsi que son nouveau laboratoire pour l'utilisation des radiotraceurs sera le principal outil de ce développement du volet de la valorisation de la biomasse marine. Cette valorisation implique des travaux de recherche appliqués à la découverte de nouvelles propriétés nutritionnelles, nutraceutiques et pharmaceutiques pour des tissus ou des fractions biologiques qui autrement n'auraient pas de valeur commerciale. Les travaux consistent à rechercher des molécules ou encore des familles de composés montrant des activités biologiques bien spécifiques comme la cytotoxicité envers des lignées cellulaires cancéreuses ou au contraire une activité probiotique favorisant la régénération de cellules de la peau ou de la flore intestinale.

## THÈME 4 : LA GÉOLOGIE MARINE ET LES RISQUES NATURELS

---

Certaines planètes telles que la Lune ou Mars sont aujourd'hui mieux cartographiées que les fonds marins de notre propre Terre. Le Canada est d'ailleurs bordé de trois océans dont les fonds marins méritent d'être étudiés en détail, car leurs sédiments renferment de précieuses informations sur les risques naturels, les changements climatiques et l'histoire géologique du Canada. Au cours des dernières années, l'ISMER est devenu un chef de file en géologie marine et continuera son développement dans cet axe. En plus de

l'attribution récente d'une chaire de recherche du Canada en géologie marine, l'ISMER possède des infrastructures parmi les plus complètes et sophistiquées au monde pour des travaux aussi bien en mer qu'en laboratoire.

Les travaux de recherche réalisés à l'ISMER en géologie marine visent l'étude détaillée des fonds marins et des zones littorales ainsi que de leurs sédiments à l'aide de techniques de pointe, qui sont employées aussi bien en laboratoire que lors de campagnes océanographiques dans le fjord du Saguenay, l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent, mais aussi le long de la côte est canadienne, dans l'Arctique et dans l'hémisphère Sud. L'objectif est de cartographier, d'analyser et de comprendre les processus qui façonnent les sédiments des fonds marins et des zones côtières. Les chercheurs de l'ISMER espèrent ainsi remonter plusieurs milliers, voire centaines de milliers d'années dans le temps, afin d'apporter des informations précieuses sur les catastrophes naturelles, l'érosion côtière, le transport sédimentaire, les changements climatiques et l'histoire géologique du Canada au-delà des enregistrements historiques. Les activités de recherche se déroulent selon plusieurs axes : (1) la reconstitution du paléoclimat à partir de carottes de sédiment; (2) la stratigraphie des sédiments marins quaternaires; (3) les risques naturels; et (4) le transport sédimentaire en zone littorale.

#### **4.1 Les changements climatiques durant le Quaternaire.**

Les projections du climat futur et de ses paramètres réalisées à partir de modèles numériques ont fait l'objet d'une compilation récente par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). L'ensemble des modèles simule une diminution de l'étendue de la glace de mer dans l'Arctique au cours des prochaines décennies. Toutefois, les résultats illustrent une grande dispersion des données et aucune simulation ne prédit la diminution du couvert de glace de mer telle qu'elle a été observée au cours des dernières années. De surcroît, les simulations sont réalisées sans prendre en compte le risque de fonte des calottes glaciaires actuelles, celle du Groenland notamment. Il s'avère donc indispensable de développer des outils de validation des modèles de simulation numérique du climat et de la cryosphère. Une solution pour tester des hypothèses sur la dynamique climatique et de valider les modèles développés à des fins prédictives est l'utilisation des variations climatiques passées, accessibles à partir des archives géologiques. Ce travail est réalisé, entre autre, dans le cadre des projets internationaux *ArcticNet*, *Malina* (derniers 2000 ans dans la mer de Beaufort) et *Past4Future*. Ce dernier projet s'inscrit dans le 7<sup>e</sup> Programme-cadre européen et implique 19 institutions de 10 pays européens et des partenaires étrangers, dont l'ISMER. Les chercheurs de l'ISMER sont aussi impliqués dans les programmes internationaux de forages océaniques ou continentaux tels que *l'Integrated Ocean Drilling Program* et *l'International Continental Scientific Drilling Program*. À l'ISMER, les chercheurs tenteront de reconstruire des variations climatiques passées à l'aide de carottes sédimentaires prélevées dans les zones d'accumulation des fonds marins et des marais côtiers en étudiant les propriétés sédimentologiques, physiques, magnétiques, géochimiques et micropaléontologiques des sédiments. Une expertise de pointe dans l'analyse des assemblages de kystes de dinoflagellés et en magnétostratigraphie s'est développée au cours des dernières années et continuera d'être à l'avant-garde alors que de nouvelles méthodes géochimiques seront développées et appliquées à l'étude des changements climatiques passés au cours des prochaines années.

#### **4.2 La stratigraphie quaternaire**

Les travaux réalisés au cours des dernières années en collaboration avec la Commission géologique du Canada dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent mettent en évidence la présence de deux fosses sédimentaires importantes agissant comme d'importants pièges à sédiments. Ces deux fosses ont notamment permis l'accumulation d'une séquence sédimentaire de plus de 450 m d'épaisseur par endroits,

dont plus de 250 m ont été déposés seulement au cours des derniers 12 000 ans. Les 200 m de sédiments à la base de la séquence sont encore d'âge inconnu, mais pourraient dater de la dernière glaciation à 12 000 ans ou être plus anciens et contenir une séquence de plusieurs cycles glaciaires/interglaciaires. Dans un cas ou dans l'autre, la compréhension de ce système est importante puisqu'il est situé à la marge de l'ancienne calotte de glace laurentidienne et que les fluctuations et les instabilités de cette calotte sont préservées dans les sédiments. Les chercheurs de l'ISMER poursuivront des travaux dans le but de déterminer la stratigraphie des sédiments de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent, mais aussi ceux de la baie d'Hudson et de l'Arctique canadien. Ceci a pour but non seulement de reconstituer l'histoire glaciaire de façon plus complète et détaillée, mais aussi d'étudier les processus qui gouvernent les interactions inlandsis/océans. Il s'agit de comprendre les mécanismes et les interactions entre plusieurs processus agissant de concert (dynamique des courants glaciaires, apports d'eaux de fonte sous-glaciaire, processus de vêlage, augmentation du niveau marin relatif, tendance au réchauffement, etc.), processus qui pourraient jouer un rôle critique dans les prochains siècles.

### **4.3 Les risques naturels**

Les quatre séismes catastrophiques récents survenus à Haïti et au Chili en 2010 ainsi qu'en Nouvelle-Zélande et au Japon en 2011 nous rappellent à quel point nous vivons sur une planète dynamique. Au Canada, on reconnaît diverses zones sismiques, dont une zone importante dans l'est du pays, la zone sismique de Charlevoix/Bas-Saint-Laurent. Plusieurs séismes d'une magnitude supérieure à 6 sur l'échelle de Richter s'y sont produits au cours des 350 dernières années dont celui du 5 février 1663 qui ébranla l'ensemble du nord-est de l'Amérique du Nord et causa d'énormes glissements de terrain tant terrestres (Saint-Jean-Vianney, Shawinigan, Betsiamites, mont Éboulé) que sous-marins (fjord du Saguenay, estuaire du Saint-Laurent). Aujourd'hui, un tel séisme causerait des dommages considérables, tant sur le plan de la stabilité des infrastructures (viaducs, routes, ponts, etc.) que sur la sécurité des populations. Une bonne compréhension des séismes de cette région et de leurs impacts est essentielle pour déterminer l'aléa et pour établir la période de retour de tels événements. Or, le milieu marin préserve les traces des événements catastrophiques majeurs comme les séismes, les glissements de terrain, les crues et même les tsunamis. Ces traces sont notamment visibles dans la nature, dans la composition ainsi que dans la stratigraphie et l'architecture des sédiments. Les chercheurs de l'ISMER tenteront donc d'identifier, de caractériser, de dater et de déterminer les mécanismes responsables du dépôt des glissements sous-marins dans le fjord du Saguenay, mais aussi de l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent afin de connaître la fréquence et la magnitude de ces événements pour des régions particulièrement exposées, comme les régions du Québec situées dans la zone sismique de Charlevoix/Bas-Saint-Laurent. De façon similaire, les travaux des chercheurs de l'ISMER porteront aussi sur des glissements sous-marins et des crues majeures identifiés dans l'hémisphère Sud, la baie d'Hudson et l'Arctique canadien.

### **4.4 Le transport sédimentaire en zone littorale et l'érosion côtière**

La mobilité des sédiments en zone littorale représente différents risques pour les populations côtières, le trafic maritime et les exploitants de ressources marines. Au Québec, il existe en particulier de sérieux problèmes d'érosion côtière et des risques de submersion. Les chercheurs de l'ISMER, en collaboration avec plusieurs partenaires incluant le ministère de la Sécurité civile du Québec, étudient les processus responsables de l'érosion côtière pour relier celle-ci aux conditions hydrodynamiques (vagues et courants) et aux caractéristiques sédimentaires et géomorphologies locales. Les objectifs sont de prédire des taux d'érosion et l'évolution de ceux-ci en fonction des changements climatiques futurs, en particulier les variations du climat des vagues, du niveau marin relatif et de la couverture de glace hivernale, ainsi que

d'évaluer l'adéquation d'interventions de génie côtier contre l'érosion littorale. Les chercheurs explorent aussi le rôle des canyons sous-marins dans le transfert des sédiments de la dérive littorale de la côte jusqu'à leur dépôt plus en profondeur dans le Chenal laurentien.

Les marais côtiers, qui sont des écosystèmes particulièrement riches, sont étudiés pour déterminer leur évolution passée et future ainsi que pour comprendre les processus hydrodynamiques et sédimentaires et leurs relations avec les différentes communautés végétales. Il s'agit de déterminer les conditions sédimentaires pour la préservation de ces zones humides actuellement menacées d'érosion, surtout dans un contexte de hausse du niveau marin global. Les travaux portent sur les variations saisonnières des processus, notamment de l'influence de la végétation, qui réduit les courants et pièges les sédiments, ainsi que de l'érodabilité des sédiments cohésifs, qui est fortement influencée par des biofilms recouvrant la surface des sédiments. Les marais jouent aussi un important rôle de zone tampon pour dissiper l'énergie marine frappant la côte. C'est pourquoi l'atténuation de l'énergie des vagues par la végétation et par d'autres éléments morphologiques est mesurée et la propagation des vagues dans la zone littorale modélisée. Une attention particulière est portée aux processus hivernaux avec (1) la quantification de la capacité des glaces flottantes de transporter des sédiments et de modifier la morphologie; et (2) l'influence du couvert de glace sur la dynamique sédimentaire avec des mesures *in situ* du transport sédimentaire sous la banquise dans la zone intertidale et la zone subtidale peu profonde

## SERVICES OFFERTS EN SOUTIEN À LA RECHERCHE ET À LA COMMUNAUTÉ SCIENTIFIQUE

---

### TRAVAUX DE VALORISATION SUR LES MICROALGUES

---

Au cours des dernières années, le développement des biocarburants est devenu une priorité pour plusieurs gouvernements nationaux avec pour objectif à long terme de remplacer les carburants fossiles par une proportion toujours croissante de biocarburants issus surtout d'une production végétale. Parmi les options actuellement privilégiées, la filière des microalgues marines est considérée avec un grand intérêt. L'ISMER s'implique activement depuis de nombreuses années dans le secteur de la valorisation des microalgues notamment par le développement de techniques de production industrielle de microalgues et d'extraction des composés bioactifs. Les chercheurs de l'ISMER développent en collaboration étroite avec l'industrie de nouvelles méthodes de production de biomasses algales (sélection des espèces, conditions optimales de croissance, optimisation de bioréacteurs) et pour l'extraction de produits bioactifs (lipides à forte teneur en oméga-3 et -6, pigments, phénols, et autres antioxydants).

### COLLECTION DE SOUCHES MICROBIENNES INDIGÈNES

---

Le récent développement du domaine des biotechnologies marines requiert le criblage de nombreuses souches bactériennes d'origine marine afin de déceler d'éventuelles potentialités de ces microorganismes (nutraceutiques, production de nouveaux antibiotiques, etc.) Très peu de collections de microorganismes marins existent au Canada et encore moins concernant les microorganismes marins résidents de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Un des axes de développement du Laboratoire d'écologie microbienne de l'ISMER sera de développer une collection de souches microbiennes indigènes issues de cet environnement afin de la rendre disponible pour les différentes industries, tant régionales, nationales qu'internationales. L'existence d'une telle collection à l'ISMER sera un atout important pour le développement de nouvelles collaborations entre le milieu universitaire et l'industrie.

### BASSINS DE PRODUCTION D'ESPÈCES MARINES ET D'EAU DOUCE

---

La station aquicole de Pointe-au-Père dispose de toutes les infrastructures nécessaires à la poursuite de travaux en aquaculture et sur la production des divers stades de vie des invertébrés et des poissons à l'étude, des infrastructures et qui répondent aux exigences du Conseil canadien de protection des animaux. L'approvisionnement en eau douce et en eau de mer permet la réalisation de travaux d'importance tant sur les espèces anadromes que marines.

## MÉSOCOSMES ET BENTHOCOSMES DE LA STATION AQUICOLE

---

La station aquicole de Pointe-au-Père est équipée d'une série de 5 grands mésocosmes d'un volume de 3 500 litres chacun. Chaque grand réservoir cylindrique (3,5 m de haut et 1,4 m de diamètre) est équipé de multiples sondes pour mesurer des paramètres physiques et chimiques de l'eau contenue dans le réservoir. De multiples applications en chimie, en écologie et en écotoxicologie ont été développées par les chercheurs de l'ISMER et l'Institut Maurice-Lamontagne de Pêches et Océans Canada. Parmi les projets en développement on compte des travaux en écologie sur la dynamique du carbone organique et en chimie environnementale sur la mobilité et la dynamique des nanoparticules à l'interface eau douce / eau de mer.

La station aquicole est également équipée de benthocosmes et d'un nouveau système de mésocosmes permettant l'étude de l'écosystème benthique. Les benthocosmes (45 x 45 x 42 cm de hauteur) sont des morceaux d'écosystème benthique de la zone intertidale jusqu'à des profondeurs de 400 m non modifiés prélevés en milieu naturel et ramenés en laboratoire où ils sont maintenus en milieu contrôlé (température, salinité, matière organique, etc.). Chacun des paramètres peut être l'objet d'une étude permettant d'observer le système benthique (simulation d'hypoxie, ajout de contaminants, augmentation de la température, changement de la quantité de matière organique, etc.). De plus, l'utilisation de benthocosmes favorise les études pluridisciplinaires (écologie, géochimie, chimie, etc.) et permet de mieux comprendre le fonctionnement de l'écosystème. Par ailleurs, les benthocosmes sont aussi bien adaptés aux expériences courtes qu'à celles de longues durées, car le système peut être maintenu pendant plusieurs mois en bassins.

## LABORATOIRE DE RADIOÉCOLOGIE MARINE

---

Le Laboratoire de radioécologie marine de Pointe-au-Père est unique au Canada par sa capacité d'exposer des organismes marins (invertébrés et poissons) à des radiotraceurs afin de suivre leur distribution dans les divers compartiments de l'écosystème et dans les tissus des organismes exposés directement ou par son alimentation. De nombreux travaux sont couramment menés sur la dynamique de métaux comme le cadmium, l'argent et l'étain ainsi que sur les nanoparticules métalliques et les nanotubes de carbone. Le Laboratoire de radioécologie est aussi équipé pour mesurer de très faibles quantités de radio-isotopes naturellement présents dans les sédiments (détermination du césium 137 et du plomb 210 sans extraction chimique) et les organismes ayant été exposés à des substances radioactives.

## LABORATOIRE DE PALÉOMAGNÉTISME SÉDIMENTAIRE ET DE GÉOLOGIE MARINE

---

Les travaux de recherche réalisés au Laboratoire de paléomagnétisme sédimentaire et de géologie marine de l'ISMER portent sur la mesure des diverses propriétés magnétiques des carottes sédimentaires. Ces propriétés servent à reconstruire les variations du champ magnétique terrestre, à établir la stratigraphie sédimentaire à haute résolution, à développer des traceurs des risques naturels et des changements climatiques au cours du temps. La pierre angulaire du laboratoire est un magnétomètre cryogénique. Ce magnétomètre permet de mesurer la magnétisation naturelle, anhystérétique et isothermale rémanente. Le laboratoire est aussi muni d'un magnétomètre à gradient alternatif pour déterminer la minéralogie et

granulométrie magnétique, de détecteurs pour déterminer la susceptibilité magnétique en fonction de la fréquence et de la température (20 à 800°C), d'un analyseur à multiples senseurs pour les carottes sédimentaires ainsi que d'un nouveau CAT-scan et micro CAT-scan. Le laboratoire est également outillé pour l'échantillonnage de carottes sédimentaires et pour la réalisation de relevés géophysiques (sonar à balayage latéral et interférométrique, sonar multifaisceaux, magnétomètre marin, relevés sismiques divers) aussi bien en mer qu'en milieu lacustre. Finalement, des analyses granulométriques peuvent être effectuées au laboratoire de particules.

## LABORATOIRE DE PALYNOLOGIE MARINE ET D'ÉTUDE DU PHYTOPLANCTON MARIN

Le Laboratoire de palynologie marine et d'étude du phytoplancton marin de l'ISMER est équipé de microscopes de recherche droits et inversés, de loupes binoculaires et de tout l'équipement nécessaire pour le traitement et l'analyse d'échantillons palynologiques de sédiments marins ou lacustres, de même que d'échantillons de plancton récoltés dans la colonne d'eau. Le laboratoire est également équipé d'une chambre environnementale (température, éclairage et humidité contrôlés) permettant la mise en culture de microalgues. Finalement, un système de déshydratation à point critique et un pulvérisateur cathodique permettent la préparation d'échantillons biologiques pour l'observation en microscopie électronique à balayage.

## LABORATOIRE DE SÉDIMENTOLOGIE MARINE

Le Laboratoire de sédimentologie marine possède un grand parc d'instruments pour étudier la dynamique sédimentaire et pour mesurer les courants, les vagues et le transport sédimentaire en zone côtière. Les équipements comprennent des courantomètres à effet Doppler, des profileurs acoustiques à effet Doppler avec différentes résolutions spatiales, des houlographes directionnels et non-directionnels, des capteurs de turbidités et des échantillonneurs d'eau automatiques. Un sous-marin téléguidé d'observation permet d'explorer visuellement les fonds marins. Un *Cohesive Strength Meter* permet de mesurer l'érodabilité des sédiments intertidaux. Enfin, une colonne de sédimentation sert à mesurer la vitesse de chute des grains et à effectuer des analyses granulométriques basées sur les propriétés hydrauliques des grains. Les autres analyses des sédiments sont effectuées dans le laboratoire général de géologie marine (voir ci-dessus).

## LABORATOIRE D'ÉCOLOGIE BENTHIQUE ET DE TAXONOMIE

D'après le plus récent rapport du comité d'experts sur les sciences de la biodiversité (Conseil des académies canadiennes, novembre 2010 et la création du IPBES par l'ONU), la taxonomie est au cœur de la recherche en biodiversité et la clé de voûte permettant de comprendre le fonctionnement des écosystèmes et d'établir des programmes de conservation. Cependant, le comité a relevé une perte d'expertise taxonomique pour plusieurs groupes taxonomiques très diversifiés et encore peu compris (plus de 250 000 espèces marines (> ½ mm) décrites et 750 000 autres à décrire). Le Laboratoire d'écologie benthique et de taxonomie de l'ISMER est l'un des rares laboratoires au pays qualifié pour l'identification des organismes benthiques (qui représentent 98% de la biodiversité marine avec les protistes) et en

mesure de découvrir de nouvelles espèces. Nos connaissances taxonomiques ont permis l'obtention de contrats et de subventions de recherches concernant plusieurs régions marines (Alaska, Arctique canadien, Guinée, Italie, France et de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent).

### LABORATOIRE DE CHIMIE MARINE ET DE SPECTROMÉTRIE DE MASSE (LCMSM)

Le Laboratoire de chimie marine et spectrométrie de masse (LCMSM) a pour mission d'offrir un service de chimie analytique à la communauté scientifique régionale, nationale et aux entreprises privées. Ce parc d'instruments de haute technologie permet de proposer une solution globale pour les clients qui désirent caractériser leurs échantillons. Le laboratoire a développé des protocoles analytiques pour identifier et quantifier les substances naturelles, les polluants organiques et inorganiques, les minéraux et la composition élémentaire, de même que les isotopes stables du carbone et de l'azote. Cette plate-forme technologique s'appuie sur quatre spectromètres de masse couplés à la chromatographie gazeuse et en phase liquide.

### LABORATOIRE D'ANALYSE ET DE SIMULATION DES SYSTÈMES OCÉANIQUES (LASSO)

Le Laboratoire d'analyse et de simulation des systèmes océaniques (LASSO) mène des programmes de recherche et de formation d'étudiants gradués axés sur la circulation estuarienne et côtière du Saint-Laurent et des régions subpolaires telle la baie d'Hudson. Dans le cadre de ces programmes, des expéditions sur des navires de recherche permettent de recueillir des données inédites sur la circulation et le climat des glaces et des masses d'eau. Ces observations sont incorporées aux simulateurs numériques de haute définition, développés au LASSO, qui permettent de reproduire la variabilité et les changements dans le climat et la productivité biologique depuis les cycles des marées, des saisons, et ce jusqu'aux décennies. On s'intéresse particulièrement aux grands bouleversements du climat et des habitats marins, incluant le réchauffement climatique et d'autres effets anthropiques comme la régulation des cours d'eau.

### LABORATOIRE D'ANALYSE DES PARTICULES ET DES SURFACES

Doté d'instruments de haute technologie, le Laboratoire d'analyse des particules et des surfaces offre aux chercheurs universitaires, aux organismes gouvernementaux et aux entreprises privées une expertise scientifique reconnue pour la caractérisation des spécimens biologiques, sédiments et matériaux. Les cinq principaux services offerts sont : la cytométrie en flux, la microscopie électronique à balayage ; l'analyse de la composition chimique par spectrométrie rayons X, l'analyse granulométrique par diffusion laser et la microscopie à épifluorescence confocale.