

# **PROGRAMMATION SCIENTIFIQUE**

## **2015-2020**

**CENTRE EAU TERRE ENVIRONNEMENT**



## Table des matières

1	Centre Eau Terre Environnement.....	1
2	Recherche actuelle au Centre .....	3
2.1	Hydrologie.....	3
2.1.1	Hydrologie et hydraulique urbaine.....	3
2.1.2	Hydrologie des bassins versants.....	4
2.1.3	Hydraulique et suivi environnemental des rivières et des plans d'eau .....	4
2.1.4	Extrêmes météorologiques et climatiques.....	4
2.1.5	Suivi de la cryologie de l'eau .....	4
2.2	Biogéochimie aquatique.....	5
2.2.1	Eutrophisation.....	6
2.2.2	Contamination par les métaux .....	6
2.2.3	Réchauffement climatique .....	6
2.3	Sciences de la Terre.....	7
2.3.1	Géodynamique, volcanologie et analyse de bassins .....	8
2.3.2	Eaux souterraines .....	8
2.3.3	Paléoenvironnements .....	9
2.3.4	Géologie environnementale.....	9
2.3.5	Ressources minérales et pétrolières .....	9
2.3.6	Réservoirs géologiques et géothermie de grande profondeur.....	10
2.3.7	Interactions eau-atmosphère-infrastructures en milieu côtier .....	5
2.4	Assainissement et valorisation .....	10
2.4.1	Assainissement et décontamination .....	10
2.4.2	Biotransformation .....	11
2.4.3	Séquestration chimique du gaz carbonique .....	11
3	Recherche prospective .....	11
3.1	Hydrologie .....	11
3.2	Biogéochimie aquatique.....	13
3.3	Sciences de la Terre.....	14
3.4	Assainissement et valorisation .....	15
4	Positionnement et axes prioritaires de développement.....	16
4.1	Hydrologie .....	16

4.2	Biogéochimie aquatique .....	17
4.3	Sciences de la Terre .....	17
4.4	Assainissement et valorisation .....	18

## 1 Centre Eau Terre Environnement

Le Centre Eau Terre Environnement de l'INRS est résolument orienté vers le développement durable du Québec et, tout particulièrement, dans les domaines des ressources hydriques et terrestres et de la protection de l'environnement. La gestion durable de la ressource en eau est une priorité au Centre qui regroupe la plus forte concentration d'experts universitaires dans le domaine de l'eau au Canada. De même, une entente de partenariat unique au Canada entre un établissement universitaire, le Centre Eau Terre Environnement et un organisme du gouvernement fédéral, la Commission géologique du Canada (bureau de Québec), a permis de créer le Centre géoscientifique de Québec (CGQ), l'un des plus importants regroupements multidisciplinaires de recherche en géosciences au pays.

Le Centre qui est situé au centre-ville de Québec, sur le campus urbain de l'Université du Québec, regroupe un total de 35 professeurs-chercheurs, 77 techniciens et professionnels de recherche et 36 employés administratifs et des autres services du Centre. Les revenus totaux d'opération du Centre s'élèvent à 27,6 millions de dollars, dont 11,5 millions en revenus institutionnels et 16,1 millions en revenus externes.

Les laboratoires de recherche du Centre comprennent un ensemble très complet d'équipements d'analyse essentiels à la recherche avancée, ainsi que d'importantes capacités de modélisation et de traitement de données. Le Centre dispose aussi d'infrastructures mobiles permettant de réaliser sur le terrain des travaux spécialisés de décontamination environnementale, d'analyse géologique et d'hydrogéologie. Le Centre possède également l'ancienne station de recherche du CIRSA, située à Sacré-Cœur au Saguenay près de l'embouchure de la rivière Sainte-Marguerite. Cette station offre aux équipes de recherche du Centre un espace de travail et de formation dans un environnement naturel exceptionnel. Elle comprend un laboratoire et peut accueillir jusqu'à 30 personnes.

Le Centre est également doté de laboratoires majeurs (Laboratoires pour l'innovation scientifique et technologique en environnement - LISTE) localisés au Parc technologique du Québec métropolitain comprenant notamment des laboratoires de tomodensitométrie, d'assainissement et de décontamination, de bioprocédés, d'électrotechnologies environnementales, de caractérisation des aquifères, de caractérisation des roches, ainsi qu'un laboratoire d'hydraulique environnemental de calibre mondial. Notre capacité de recherche a été rehaussée de manière significative par la mise en place de ce laboratoire au cours des dernières années. Des efforts devront toutefois être consentis dans les prochaines années afin, notamment, d'augmenter la période d'opération du canal hydraulique en recouvrant celui-ci d'une structure permanente permettant de fonctionner toute l'année.

Une importante demande de subvention FCI a aussi été soumise afin de remplacer et donc d'améliorer les performances du tomodensitomètre médical et de lui adjoindre une série d'équipements (scanner infrarouge, scanner multispectral, micro-densitomètre, etc.) qui permettront d'accroître la polyvalence du laboratoire.

Un projet est également en préparation afin d'augmenter la capacité d'accueil des étudiants et stagiaires du LISTE par la construction de nouveaux espaces bureaux.

En tant que milieu universitaire, le Centre offre six programmes d'enseignement supérieur dans les sciences de l'eau et les sciences de la Terre (<http://www.ete.inrs.ca/ete/etudier/programmes>).

## Deuxième cycle

- Maîtrise en sciences de l'eau
- Maîtrise professionnelle en sciences de l'eau
- Maîtrise en sciences de la Terre
- Maîtrise en sciences de la Terre – technologies environnementales

## Troisième cycle

- Doctorat en sciences de l'eau
- Doctorat en sciences de la Terre

À l'automne 2014, un total de 173 étudiants étaient inscrits à ces programmes, dont 121 dans les programmes de doctorat et 52 étudiants à la maîtrise.

Les programmes interuniversitaires de maîtrise et de doctorat en sciences de la Terre sont le fruit d'une collaboration avec le département de géologie et génie géologique de l'Université Laval. Le Centre propose également un parcours de bidualité de maîtrise de recherche avec l'Institut supérieur des hautes études en développement durable (ISHÉDD) au Maroc. Un projet de maîtrise professionnelle de bidualité avec l'ISHÉDD est également en préparation. Des stages de formation sont également offerts à des étudiants de tous les niveaux universitaires.

Le Centre regroupe cinq chaires de recherche, dont quatre chaires de recherche du Canada. Avec ses équipes multidisciplinaires en lien avec des réseaux nationaux et internationaux, le Centre peut s'attaquer à de grands enjeux planétaires tels que :

- Les impacts et l'adaptation liés aux changements climatiques et aux événements extrêmes
- Le développement de technologies de pointe de protection de l'environnement et de valorisation des résidus et des déchets
- Les risques environnementaux liés aux aléas naturels et à la contamination
- La gestion intégrée et responsable des activités d'exploration et d'exploitation des ressources hydriques, minérales et énergétiques

## 2 Recherche actuelle au Centre

Le programme scientifique du Centre - Eau Terre Environnement (ETE) comprend quatre grands domaines de recherche et de développement, soit l'*Hydrologie*, la *Biogéochimie aquatique*, les *Sciences de la Terre* et l'*Assainissement et valorisation*. Les sections suivantes exposent les grandes lignes actuelles des travaux réalisés au Centre ETE dans ces quatre programmes de R&D.

### 2.1 Hydrologie

#### Professeurs-chercheurs en hydrologie

---

Normand Bergeron	Yves Gratton
Monique Bernier	Alain Mailhot
Fateh Chebana	Taha Ouarda
Karem Chokmani	Alain Rousseau
Sophie Duchesne	Yves Secretan
Pierre Francus	André St-Hilaire
Jannette Frandsen	Jean-Pierre Villeneuve

---

Le programme *Hydrologie* se décline en six composantes : (i) hydrologie et hydraulique urbaine, (ii) hydrologie des bassins versants, (iii) hydraulique et suivi environnemental des rivières et des plans d'eau, (iv) extrêmes météorologiques et climatiques, (v) suivi de la cryologie de l'eau, et (vi) interactions eau-atmosphère-infrastructures en milieu côtier. Les approches méthodologiques reposent à la fois sur : (i) le développement d'outils de modélisation déterministes, statistiques et stochastiques; (ii) le traitement de données issues de la télédétection; (iii) le forage de grandes bases de données observées et simulées en hydrométéorologie et climatologie; (iv) la mise en place de réseaux de suivi de variables d'état par instrumentation *in situ* et par télédétection, ainsi que (v) l'utilisation d'infrastructures de laboratoires d'hydraulique et de scanographie. Les sections suivantes présentent, pour chacune de ces composantes, un condensé des objets et sujets les plus actifs et d'actualité, ainsi que les objets et sujets émergents et futurs. Enfin, on conclut avec une section portant sur le positionnement du centre par rapport aux sujets actuels et futurs.

#### 2.1.1 Hydrologie et hydraulique urbaine

En hydrologie et hydraulique urbaine, les professeurs-chercheurs du centre s'intéressent aux problématiques associées aux eaux pluviales et potables et aux infrastructures hydrauliques. La modélisation des réseaux d'eaux pluviales et de différentes Pratiques de Gestion Optimale (PGO) telles que les jardins de pluie, noues et tranchées d'infiltration, ainsi que les impacts de ces eaux et des eaux des surverses de réseaux unitaires sur les cours d'eau récepteurs sont étudiés. Les problématiques de réduction de la consommation en eau potable et des pertes dans les réseaux de distribution sont des sujets de recherche qui contribuent à la protection et la sécurisation des sources dans des contextes de pressions anthropiques grandissantes. L'impact et l'adaptation aux changements climatiques des méthodes actuelles de gestion de ces eaux et de conception et planification des interventions de renouvellement des conduites d'aqueduc et d'égout viennent également alimenter les activités de recherche au Centre.

### **2.1.2 Hydrologie des bassins versants**

L'hydrologie des bassins versants inclut des sujets de recherche tels que l'étude des services hydroécologiques des milieux humides et la protection de l'eau et le suivi en milieu agricole. À titre d'exemple, les professeurs-chercheurs évaluent le potentiel d'atténuation des crues et des étiages par les milieux humides dans un contexte de changements climatiques. Ils réalisent des études sur les composantes du bilan hydrologique comme le stockage et l'évapotranspiration et ainsi que sur la dynamique saisonnière de l'écoulement et de la connectivité hydrologique des tourbières par télédétection optique. Le développement d'un cadre de modélisation hydrobioéconomique permet d'évaluer de manière écosystémique l'impact de pratiques de gestions bénéfiques en milieu agricole. La télédétection contribue avantageusement à la caractérisation des bandes riveraines, l'estimation du débit en rivière dans les sites non jaugés, ainsi que la caractérisation des traces d'érosion hydrique, l'humidité des sols et l'état de l'azote dans les cultures. Enfin, le développement et l'application de méthodes d'analyses de sensibilité et d'incertitudes permettent de préciser la robustesse des outils de modélisation.

### **2.1.3 Hydraulique et suivi environnemental des rivières et des plans d'eau**

Les professeurs-chercheurs en hydraulique et suivi environnemental des rivières et des plans d'eau s'intéressent à la qualité de l'habitat aquatique; de l'analyse et la modélisation de variables importantes comme la température de l'eau et les sédiments en rivière jusqu'à la modélisation de l'impact des changements climatiques sur le régime thermique des lacs et des réservoirs. Le développement d'approches de suivi par télédétection des fleurs d'eau composées d'algues dans les plans d'eau douce fait l'objet de travaux intensifs. Les écosystèmes fluviaux complexes et l'utilisation de modèles complémentaires pour le fleuve St-Laurent; combinant le développement et l'utilisation de la modélisation hydrodynamique, la modélisation de la qualité de l'eau et la modélisation des habitats sont aussi au cœur des activités de recherche en cours.

### **2.1.4 Extrêmes météorologiques et climatiques**

Les extrêmes météorologiques et climatologiques sont devenus, au cours des dernières années, une composante de recherche importante au Centre ETE. En l'occurrence, on s'intéresse au développement de nouvelles approches permettant de mieux caractériser les structures spatio-temporelles de champs de précipitations, à l'évaluation de l'impact des changements climatiques sur leur évolution, ainsi qu'à la caractérisation des régimes de précipitations extrêmes dans les régions dépourvues de données *in situ* (ex. : le nord du Québec). Dans un contexte de gestion des barrages, l'évaluation de la précipitation maximale probable et l'enneigement maximal probable à partir de sorties de modèles régionaux du climat sont devenus un sujet de recherche actif. La température est une variable climatique d'intérêt et tout particulièrement l'étude des effets du climat (ex. : canicules) sur la santé humaine. Le développement d'approches multivariées de caractérisation des extrêmes et l'analyse des extrêmes dans un cadre non stationnaire sont au cœur de l'approche méthodologique. Par ailleurs, la paléo-hydro-climatologie contribue à reconstruire les régimes et les extrêmes de températures et de précipitations en portant une attention aux crues et aux tempêtes, afin de caractériser l'évolution climatique sur la variabilité naturelle du cycle hydrologique.

### **2.1.5 Suivi de la cryologie de l'eau**

Le suivi de la cryologie de l'eau se décline en plusieurs thèmes de recherche portant sur la glace, la neige et la température du sol. À titre d'exemple, on effectue des travaux de modélisation de l'impact des changements climatiques sur la couverture de glace des lacs et des réservoirs; on utilise le radar pour le suivi et la cartographie automatisée de la glace (en rivière et en milieu côtier), on travaille sur le développement d'un concept d'atlas interactif sur la probabilité de l'aléa glace à l'échelle des



infrastructures maritimes et côtières dans un contexte de changement climatique. Le développement d'outils de télédétection pour le suivi du gel saisonnier du sol, la cartographie du couvert nival et des mouvements du sol dus à la fonte du pergélisol, ainsi que l'estimation des apports issus de la fonte sont quelques exemples de sujets d'étude en cours.

### **2.1.6 Interactions eau-atmosphère-infrastructures en milieu côtier**

Les interactions eau-atmosphère-infrastructures en milieu côtier représentent des composantes en plein essor. Les professeurs-chercheurs s'intéressent aux processus côtiers tels que l'érosion et l'hydrodynamique côtière, les tempêtes et les inondations, le transport sédimentaire, les désastres naturels, les interactions vague-sédiment, le courant et la saltation ainsi que comportement des infrastructures en milieu maritime (ex. : contrôle de la vibration, hydro-élasticité et aéro-élasticité, transport de débris, dynamique des structures). La circulation côtière, les processus de mélange (convection et turbulence) et les zones frontales, ainsi que l'impact des changements climatiques sur ces processus et leurs impacts sur la production biologique sont également des sujets d'intérêt au Centre. Enfin, la compréhension de la dynamique des vagues et des marées en tant que sources d'énergie renouvelable sont des sujets de recherche d'actualité.

## **2.2 Biogéochimie aquatique**

### **Professeurs-chercheurs en biogéochimie aquatique**

---

Peter G.C. Campbell

Patrice Couture

Claude Fortin

Charles Gobeil

---

Landis Hare

Pierre Lafrance

Isabelle Laurion

La société canadienne et la communauté scientifique sont préoccupées par les changements environnementaux qui dégradent la qualité des écosystèmes. Ces changements sont entre autres liés à l'émission dans l'environnement de substances toxiques et de gaz à effet de serre qui altèrent le climat, les cycles biogéochimiques planétaires, la qualité de l'eau et l'épaisseur de la couche d'ozone. Les recherches en *Biogéochimie aquatique* menées au Centre ETE visent à fournir des fondements scientifiques solides en vue d'étayer les décisions difficiles que les instances chargées de la protection de l'environnement ont à prendre. Nos recherches portent spécifiquement sur le milieu aquatique. La formation de spécialistes compétents en environnement et capables de relever les défis auxquels nous sommes collectivement confrontés représente un élément central de notre démarche.

Nos recherches visent à développer les connaissances sur les processus clés qui contrôlent le mouvement et le destin des contaminants dans l'environnement et sur les effets des changements climatiques sur les écosystèmes lacustres. Plusieurs des travaux du programme en biogéochimie portent sur les échanges de contaminants inorganiques (métaux) entre l'eau et les sédiments et sur les réactions qui ont lieu près de l'interface sédiment-eau, zone dont on ne peut dénier l'importance dans le cycle géochimique des métaux. Si une compréhension des processus géochimiques est nécessaire pour l'établissement de réglementations sur les contaminants en milieu aquatique, des décisions acceptables ne sauraient être prises sans considérer les organismes qui y vivent. Nos recherches sont donc également orientées vers la compréhension des mécanismes d'accumulation des métaux chez les organismes aquatiques. Elles incluent également des environnements anthropisés via l'étude du transport et du destin dans l'eau et le sol de contaminants organiques tels que les pesticides agricoles.

Par ailleurs, nous contribuons à la recherche sur les impacts des changements climatiques en évaluant, d'une part, les effets des caractéristiques physiques et biogéochimiques (par ex. structure thermique, oxygène, lumière, nutriments) sur le fonctionnement et la productivité des écosystèmes aquatiques et, d'autre part, le rôle que jouent ces écosystèmes sur le climat (mécanismes de rétroaction positive et négative). D'autres projets permettent en outre de distinguer, par des méthodes paléocéologiques, les changements dans les écosystèmes aquatiques dus aux activités anthropiques, de celles attribuables à la variabilité naturelle de l'environnement.

Les sujets de recherche actuellement abordés par les chercheurs en *Biogéochimie aquatique* sont donc liés à la détérioration de la qualité du milieu aquatique due à l'activité humaine et à la dynamique de ces milieux dans le contexte actuel des changements environnementaux. En effet, de nombreuses activités anthropiques sont susceptibles d'altérer les cycles biogéochimiques des éléments, notamment par l'exploitation des ressources naturelles. Nous retenons ici trois conséquences importantes de ces activités : l'eutrophisation, la contamination par les métaux et le réchauffement climatique.

### **2.2.1 Eutrophisation**

Il est important de mieux comprendre les causes du développement des fleurs d'eau d'algues et de cyanobactéries et de leurs conséquences sur le biote aquatique. Le développement de nouveaux outils adaptés à leur détection et au suivi des milieux affectés de plus en plus nombreux est nécessaire. Ils doivent également permettre de tester les scénarios de restauration et les impacts futurs des changements environnementaux. De plus, la reconstitution des conditions trophiques du passé des milieux lacustres permet de mesurer la sensibilité de ces milieux aux changements climatiques et à la pression anthropique.

### **2.2.2 Contamination par les métaux**

Le développement de nouvelles méthodes analytiques permettant de déterminer la spéciation des métaux (distribution parmi différentes espèces chimiques à l'équilibre) a permis de raffiner certains paradigmes sur la biodisponibilité des contaminants inorganiques (métaux). Toutefois, ces progrès sont freinés par nos connaissances fragmentaires sur les mécanismes d'interaction des métaux avec les membranes biologiques, ainsi que sur les rôles joués par la matière organique dissoute (comme agent de complexation des métaux, mais aussi comme surfactant). De plus, l'engouement actuel pour l'exploitation d'éléments rares (lanthanides, éléments du groupe platine) représente un défi de taille pour la société en raison du manque de données écotoxicologiques qui sont nécessaires à l'évaluation du risque environnemental lié à l'exploitation minière visant ces éléments. Finalement, les progrès réalisés à ce jour sur la compréhension des paramètres qui influent sur l'accumulation des métaux chez les organismes aquatiques nous viennent de résultats obtenus en laboratoire à la suite d'expositions à un contaminant précis. Or, en milieu naturel, les organismes aquatiques sont toujours exposés à plusieurs contaminants à la fois. Les différentes interactions et les effets cumulatifs, synergiques et antagonistes des contaminants en mélange demeurent peu étudiés, tout comme les effets combinés des stress anthropiques (contaminants, changements climatiques) et naturels.

### **2.2.3 Réchauffement climatique**

Notre compréhension des processus internes aux lacs et leur rôle dans les cycles biogéochimiques régionaux et planétaires des éléments/espèces sont actuellement insuffisants pour évaluer adéquatement les impacts des changements climatiques. Par exemple, on a tout récemment découvert qu'une part considérable (6-16 %) des émissions mondiales naturelles de méthane vers l'atmosphère provient des lacs, en particulier des lacs boréaux (une source jusqu'à lors insoupçonnée). Toutefois, plusieurs incertitudes demeurent sur ce phénomène complexe qui comporte plusieurs défis techniques. De même, il est nécessaire de mesurer avec plus de précision toutes les composantes impliquées dans

les émissions des différents gaz à effet de serre, mais aussi de mieux comprendre le cycle du carbone, les sources de carbone utilisées, leur labilité, et cela spécialement dans les écosystèmes nordiques où les données sont encore plus rares. Ces aspects seront approfondis grâce à des mesures isotopiques et des modèles non soumis à des contraintes d'état stationnaire.

## 2.3 Sciences de la Terre

### Professeurs-chercheurs en sciences de la terre

---

Mario Bergeron	Lyal Harris
Normand Bergeron	Michel Malo
Jannette Frandsen	Richard Martel
Pierre Francus	Claudio Paniconi
Bernard Giroux	Marc Richer-Lafèche
Erwan Gloaguen	Pierre-Simon Ross
René Lefebvre	

---

Le programme de recherche en Sciences de la Terre est au cœur de deux partenariats majeurs du Centre ETE : en recherche, avec la division de Québec de la Commission géologique du Canada (CGC-Québec) dans le cadre du Centre géoscientifique de Québec (CGQ), et en formation de chercheurs, par le biais des programmes interuniversitaires d'études avancées en Sciences de la Terre offerts conjointement avec le département de géologie et de génie géologique de l'Université Laval. Au Centre ETE, la recherche en Sciences de la Terre porte à la fois sur les études géologiques régionales, l'exploration et la caractérisation des ressources minérales et en hydrocarbures, ainsi que sur la caractérisation environnementale et des eaux souterraines. Au cours des premières années, le Centre s'est concentré sur l'étude des environnements géologiques sédimentaires et des ressources naturelles qui y sont associées, d'abord les hydrocarbures, puis les minéraux. Ensuite, les chercheurs du Centre se sont intéressés aux environnements magmatiques, volcaniques et métamorphiques et à leurs ressources minérales. En parallèle, plusieurs chercheurs ont travaillé sur le développement de nouvelles méthodes de caractérisation environnementale, que ce soit pour la caractérisation des eaux souterraines à l'échelle des bassins versants et pour la réhabilitation de sites. La recherche a également abordé les questions scientifiques fondamentales sur les processus volcaniques et tectoniques sur la Terre et d'autres planètes. Récemment, des chercheurs en Sciences de la Terre se sont regroupés autour de thèmes intégrateurs permettant l'implication transverse des chercheurs du Centre, soit la caractérisation régionale des aquifères et la caractérisation des milieux géologiques profonds, pour l'estimation des ressources, la séquestration géologique du CO<sub>2</sub> et la géothermie profonde de basse température.

Les programmes interuniversitaires en Sciences de la Terre constituent d'ailleurs un lieu unique au Québec pour former des étudiants sur les enjeux majeurs de la société, soit la découverte de ressources minérales et énergétiques pour assurer l'avenir économique du Québec et du Canada, la gestion responsable des ressources souterraines et la protection de l'environnement. Les partenariats en recherche avec la CGC et l'Université Laval ont permis de constituer l'un des plus importants regroupements de chercheurs en Sciences de la Terre au pays. Ce regroupement comporte le plus important pôle en hydrogéologie au Québec et l'un des plus reconnus au Canada.

Les activités dans ce programme portent sur l'étude des processus géologiques actuels et de leurs impacts sur l'environnement. Elles portent également sur l'impact des changements climatiques sur

l'environnement. L'approche développée au CGQ pour les reconstructions du climat passé est basée sur l'intégration de la dendrochronologie et de la dendrogéochimie isotopique, s'appuyant pour ce faire sur le laboratoire de dendrochronologie et de géochimie isotopique du CGQ. La recherche sur les environnements sédimentaires récents peut bénéficier, pour sa part, du seul laboratoire de tomodensitométrie (« scanographie CT ») au Canada utilisé pour analyser en 3D les faciès sédimentaires des carottes de sédiments ou de roches, ainsi que le seul scanographe de microfluorescence-X permettant des résolutions de 100 microns. Le seul laboratoire mobile de caractérisation physique, minéralogique et chimique des roches du Québec permet quant à lui de réaliser des mesures multiparamétriques sur les carottes de forage dans le but de favoriser la compréhension des environnements géologiques et d'aider l'exploration. Par ailleurs, le groupe de Sciences de la Terre du Centre ETE participe activement à plusieurs programmes de recherche nationaux et internationaux comme le Carbon Management Canada, le Canada Mining Innovation Council, l'Initiative Géoscientifique Ciblée, la Géocartographie de l'énergie et des Minéraux, l'UNESCO ou le Groupe de Recherche Interuniversitaire sur les Eaux Souterraines.

Le programme de recherche en Sciences de la Terre se caractérise par sa multidisciplinarité qui permet d'aborder des problèmes complexes faisant appel à de nombreuses expertises, notamment du domaine de la géologie, du génie géologique, de l'hydrogéologie, de la géochimie, de la géophysique, de la statistique, de la télédétection, de la géomatique, de la géographie physique et de la biologie. Il s'inscrit dans les principaux réseaux de recherche québécois, et s'enrichit de nombreuses collaborations avec les organismes gouvernementaux et l'industrie. Le programme comporte sept principales composantes décrites ci-après.

### **2.3.1 Géodynamique, volcanologie et analyse de bassins**

Les activités de ce domaine de recherche visent à mieux comprendre l'architecture et les processus géodynamiques responsables de l'édification des chaînes de montagnes anciennes pendant les cycles orogéniques et de l'évolution des bassins sédimentaires. Les activités visent aussi à comprendre les processus éruptifs des volcans sous-marins et continentaux. La recherche en géodynamique, analyse de bassins et volcanologie est intégrée à celle sur les ressources naturelles. Par des études de terrain couplées à la géophysique, elle permet de produire des nouvelles cartes et synthèses géologiques et de définir le cadre géodynamique essentiel à une meilleure compréhension des processus responsables de la formation et de la concentration économique de ressources métallifères, le diamant et les hydrocarbures. La recherche géologique et géophysique récente sur la planète Vénus porte aussi sur notre compréhension de la Terre ancienne. Le laboratoire de géologie structurale de modélisation analogique avec centrifugeuse et appareils pour simuler les processus géologiques en « 4D » grâce à l'utilisation d'un tomodensitomètre permet de développer un nouvel aspect de recherche novatrice au Centre ETE.

### **2.3.2 Eaux souterraines**

Ce domaine de recherche vise à fournir les connaissances géoscientifiques jugées essentielles à une gestion durable de la ressource hydrique et du territoire ainsi qu'à la protection et à la réhabilitation de cette ressource. Les objectifs de recherche sont de contribuer (i) à l'inventaire et à la compréhension de la dynamique des ressources en eaux souterraines à l'échelle des bassins versants dans le but d'en favoriser la gestion, (ii) à la compréhension du comportement des contaminants dans les sols et les aquifères et la réhabilitation *in situ* des sites contaminés et (iii) au développement des connaissances de base sur des questions scientifiques pertinentes ainsi que des outils pour la caractérisation et la modélisation des systèmes d'écoulement et du transport de masse. La méthodologie de cartographie des aquifères dans les sols et le roc fracturé développée par le Centre est utilisée pour évaluer et pour gérer cette ressource. La recherche sur le comportement des contaminants dans les sols et les aquifères

est couplée à celle du développement des techniques de réhabilitation *in situ* des sites contaminés. L'étude du comportement des matériaux énergétiques dans les sols et dans les aquifères, un thème unique au Centre ETE, continue de faire l'objet de travaux importants.

### **2.3.3 Paléoenvironnements**

Les recherches en paléoenvironnements visent (i) à déterminer la dynamique naturelle des cycles climatiques et hydrologiques à long et à court terme, (ii) à déterminer les effets des changements climatiques liés à l'impact anthropique sur ces cycles, (iii) à modéliser les systèmes environnementaux dans le cadre de modèles hydroclimatiques régionaux afin de déterminer les impacts des changements climatiques sur ces systèmes et (iv) à modéliser l'impact des risques naturels et d'en comprendre l'effet sur l'environnement. L'originalité de la recherche menée dans le domaine des paléoenvironnements et des néoenvironnements repose sur l'établissement de nouveaux outils pour reconstruire de manière quantitative les environnements du passé (fonctions de transfert) basés à la fois sur des indicateurs biologiques et sédimentologiques. On établit ces fonctions de transfert en comparant les systèmes actuels et récents ou historiques avec les informations que l'on peut obtenir sur leur passé (paléoenvironnements). Cette recherche est supportée par un laboratoire d'analyses paléoclimatiques à haute résolution qui permet au Centre ETE d'avoir une infrastructure unique au monde et d'être un chef de file dans le domaine des analyses des carottes sédimentaires. Mentionnons aussi la recherche en dendrogéochimie isotopique développée au CGQ qui, basée sur l'analyse intégrée des traceurs dendrogéochimiques (éléments majeurs et traces, isotopes radiogéniques et stables) et dendrochronologiques (largeur, densité et surface terrière des cernes) des mêmes séries de cernes de croissance, est des plus originale et unique au Québec. Les chercheurs sont impliqués dans des programmes de recherche internationaux tels que PAGES (Past Global Changes) et ICDP (International Continental Scientific Drilling Program).

### **2.3.4 Géologie environnementale**

En géologie environnementale, les recherches couvrent tous les aspects de la dynamique sédimentaire, soit les mécanismes d'érosion, de transport et d'accumulation des sédiments en milieux terrestre, fluvial, lacustre et marin. Cette discipline se situe au cœur d'importants enjeux socio-économiques et environnementaux liés aux problématiques d'érosion des berges et du littoral, d'ensablement du lit des rivières et des voies navigables, de modification des habitats aquatiques et terrestres. Les problématiques reliées aux risques géologiques sont également abordées avec notamment des études sur la stabilité des berges, la dynamique récente du pergélisol et l'impact des séismes. De nouvelles activités de recherche se développent autour du laboratoire de scanographie pour déterminer les structures sédimentaires, le rôle de la bioperturbation, la migration des fluides, la porosité, etc. Cette technique est complétée par l'apport des données de la géophysique à très haute résolution, des capteurs laser aéroportés, de la microsédimentologie, et par l'interaction avec la biologie.

### **2.3.5 Ressources minérales et pétrolières**

Dans le domaine des ressources naturelles, l'accent est mis sur le développement de modèles génétiques pour expliquer ou pour prédire la présence de ressources, tant minérales que pétrolières, et pour les kimberlites diamantifères, dans la croûte terrestre. La concentration de substances métallifères, des diamants et des hydrocarbures dépend de multiples facteurs géologiques interdépendants incluant la nature des roches encaissantes, les processus volcaniques et géochimiques, la présence des structures lithosphériques, leur environnement tectonique de formation, ainsi que l'histoire diagénétique et/ou métamorphique et structurale de ces roches. La connaissance du cadre géologique régional à local et de son histoire devient un outil pour comprendre la mise en place des gîtes minéraux et des réservoirs d'hydrocarbures. L'exploitation des ressources naturelles requiert le développement de procédés

d'extraction optimaux minimisant les impacts environnementaux et s'appuyant sur des principes chimiques radicalement différents de ceux existant présentement. Le développement de ces procédés nécessite souvent l'emploi de matériaux de pointe dans la conception de nouveaux équipements. Les activités de recherche sur les ressources minérales concernent (i) l'acquisition de connaissances scientifiques requises par différents types d'environnements métallogéniques et pétroliers, (ii) le développement des outils requis (en géochimie, en sédimentologie, en tectonique, en géophysique, en volcanologie, etc.) pour aider l'industrie minière et pétrolière à cibler de nouvelles zones à potentiel élevé, (iii) le développement de méthodes de caractérisation, de réutilisation et/ou de recyclage de certains sites de rejets miniers ou de certains matériaux pour en extraire les métaux, (iv) le développement de nouveaux algorithmes de modélisation des ressources profondes, (v) le développement de nouveaux outils d'imagerie non destructive et (vi) la bonification et/ou le développement de méthodes d'extraction et de purification efficaces pour les métaux stratégiques.

### **2.3.6 Réservoirs géologiques et géothermie de grande profondeur**

Les changements climatiques et la pollution anthropique en général sont des préoccupations de tous les états du monde. Plusieurs solutions à court terme passent par l'exploitation des réservoirs géologiques profonds. Ces sites situés dans les premiers quelque kilomètres en sous-surface peuvent soit servir de site de stockage afin d'enfouir des gaz dans des couches géologiques réservoir, ou d'utiliser ces réservoirs ou les roches sèches et chaudes profondes pour produire ou stocker de l'énergie. Les activités du Centre en environnements géologiques profonds portent sur (i) la caractérisation des réservoirs profonds pour le stockage du CO<sub>2</sub>, (ii) l'étude du potentiel québécois en géothermie profonde, (iii) le suivi temporel des injections de fluides à grande profondeur, (iv) la modélisation géologique des sites de stockage de gaz naturel et de méthane et (v) la caractérisation des environnements géologiques autour des réservoirs souterrains pour leur utilisation et pour la protection de l'environnement.

## **2.4 Assainissement et valorisation**

### **Professeurs-chercheurs en assainissement et valorisation**

---

Jean-François Blais	Guy Mercier
Satinder Kaur Brar	Rajeshwar Dayal Tyagi
Patrick Drogui	

---

Les chercheurs du programme Assainissement et valorisation travaillent au développement de nouvelles technologies de traitement, d'épuration, de décontamination, de biotransformation et de valorisation de différents types de déchets, rejets et milieux industriels et urbains. Les recherches peuvent être regroupées en trois thèmes majeurs, soit : (i) le développement de procédés d'assainissement et de décontamination; (ii) le développement de procédés de biotransformation; (iii) le développement de procédés de séquestration chimique du gaz carbonique.

### **2.4.1 Assainissement et décontamination**

Les travaux en assainissement portent notamment sur l'élimination des polluants organiques persistants (POP) et des contaminants émergents (ex. perturbateurs endocriniens) dans les eaux usées et les effluents par utilisation de procédés d'oxydation avancée (POA), de procédés électrochimiques et de technologies hybrides combinant des méthodes biologiques, chimiques et/ou électrochimiques. D'autres travaux portent sur l'adaptation de filières de traitement des effluents domestiques et industriels en vue de répondre aux nouveaux objectifs environnementaux de rejets (OER) établis par les

autorités gouvernementales, notamment en ce qui concerne la demande chimique en oxygène (DCO), ainsi que les charges en azote et en phosphore rejetées dans le milieu récepteur.

La décontamination des sols pollués demeure un domaine très actif de ce programme de recherche. Des projets portent sur le développement de filières de traitement qui sont en mesure de répondre aux différents scénarios de contamination de sites pouvant être rencontrés, notamment les cas complexes de contamination mixte, c'est-à-dire les sites pollués à la fois par des métaux (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, etc.) et/ou métalloïdes (As, Se, etc.) et des composés organiques toxiques (COT), tels que les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les dioxines et furanes (PCDDF) et les biphényles polychlorés (BPC).

Plusieurs projets portent également sur la décontamination et/ou la valorisation de différents types de déchets (ex. déchets de bois traité, déchets de piles et de batteries, résidus et boues des industries sidérurgiques et de l'aluminium). En particulier, un domaine de recherche à fort potentiel économique vise le recyclage de fibres optiques avec élaboration de produits à forte valeur ajoutée à base de silicium et de germanium.

#### **2.4.2 Biotransformation**

Dans le domaine de la biotransformation, des recherches visent l'utilisation des eaux usées et des boues d'épuration comme matières premières pour la production par fermentation de produits à valeur ajoutée (PVA), tels que des bioplastiques, des biopolymères (polysaccharides extracellulaires) utilisables comme flocculants, des biopesticides, et des lipides pour la production de biodiesel. L'accent a aussi été mis récemment sur l'utilisation du concept de la chimie verte dans les différentes étapes de fermentation, ainsi que sur les méthodes de récupération des bioproduits *in situ*. Des études récentes ont été également orientées vers l'utilisation des outils de la biologie moléculaire dans les processus de bioproduction.

#### **2.4.3 Séquestration chimique du gaz carbonique**

Un nouvel axe de recherche développé au cours des dernières années porte sur la séquestration chimique du gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) des cheminées industrielles par carbonatation minérale en utilisant, et ainsi en valorisant, les résidus miniers de l'industrie de l'amiante (serpentine) ou du béton. La technologie en développement vise également la production de carbonates de magnésium valorisables en industrie.

### **3 Recherche prospective**

Les sections suivantes décrivent l'orientation privilégiée pour les prochaines années dans les quatre grands programmes de recherche et développement du Centre ETE.

#### **3.1 Hydrologie**

En hydrologie et hydraulique urbaine, et plus spécifiquement sur les eaux pluviales, les professeurs-chercheurs ont identifié le suivi de la performance des Pratiques de Gestion Optimale (PGO), le contrôle intégré en temps réel des ouvrages de collecte et de traitement des eaux usées, ainsi que le couplage de modèles météorologiques de prévision à des modèles hydrologiques urbains comme étant des sujets de recherche émergents. Il en va de même pour l'eau potable en ce qui a trait au contrôle en temps réel de la pression dans les réseaux de distribution, au développement de systèmes d'alerte et de réponses automatisés (ex. : en cas de contamination de l'eau, de risques d'inondations, de bris ou de pannes

d'équipement, etc.), ainsi qu'à la mise au point d'outils de première instance pour évaluer la vulnérabilité des stations de traitement de l'eau potable lors de déversements accidentels de contaminants dans les eaux de surface d'approvisionnement. L'intégration de nouvelles simulations climatiques, ainsi que de nouvelles techniques d'analyse des sorties de ces simulations dans l'évaluation de la vulnérabilité des infrastructures d'eau et leur adaptation aux changements climatiques seront aussi des activités de recherche futures.

Au sujet de l'hydrologie des bassins versants, les grands bassins versants hydroélectriques représentent un objet de recherche aux sujets fertiles tels que la mesure de l'évapotranspiration et de la sublimation à grande échelle par scintillométrie atmosphérique afin d'améliorer la prévision des apports; la dynamique du stockage et de l'écoulement afin de comprendre l'effet des variations interannuelles sur les apports; puis la mise en place d'une modélisation hydrologique d'ensemble pour mieux évaluer les incertitudes liées aux extrêmes. La mise en place à différentes échelles spatio-temporelles et multi-sites d'une approche de modélisation télescopique (couplage modèle météorologique-schéma de surface-modèle hydraulique; modèle hydrologique 3D; modèle hydrodynamique) sera également d'intérêt. Dans un autre ordre de sujets émergents, l'impact des changements climatiques sur le risque de contamination de l'eau par les contaminants agricoles et la mise en place de réseaux sans fil de senseurs pour la protection de l'eau et le suivi en milieu agricole sont pressentis comme des sujets prometteurs. L'évaluation de l'offre et de la demande en eau à l'échelle du bassin se veut un sujet d'importance pour améliorer notre connaissance sur la vulnérabilité des bassins dans un contexte d'un climat en évolution. Le développement de systèmes complets de données de consommation et d'information sur l'eau pour faire le bilan appuiera ce nouveau créneau de recherche. Le calage multi-objectif et l'analyse de sensibilité et d'incertitudes continueront d'être des sujets d'actualité pour bien définir la robustesse des modèles.

Les professeurs-chercheurs en hydraulique et suivi environnemental des rivières et plans d'eau sont convaincus que le développement d'un réseau de suivi de la thermie en rivière représente un sujet porteur pour appuyer les travaux sur la qualité de l'habitat aquatique. De manière similaire, l'utilisation de modèles intégrés dans la prise de décision, tant au niveau de la planification que de la gestion opérationnelle du fleuve St-Laurent ainsi que le développement et l'application d'outils de gestion et d'analyse du risque d'inondation sur le système transfrontalier du Lac Champlain – Rivière Richelieu, représentent des sujets émergents dans l'étude des écosystèmes fluviaux complexes. Le Suivi environnemental par télédétection poursuivra son expansion avec l'étude de l'interaction entre le rayonnement électromagnétique et la végétation, le sol ou l'eau douce ainsi que les matières s'y retrouvant. Ce développement se fera à l'aide d'une infrastructure constituée d'un système aéroporté léger de télédétection hyper-spectrale et tous les systèmes connexes nécessaires pour son exploitation optimale.

Les extrêmes météorologiques et climatiques continueront d'être des sujets d'intérêt et l'analyse des extrêmes de température et de précipitation sera propice au développement de nouvelles méthodes de travail multivariées et non stationnaires. L'accès à des résultats de modèles climatiques à plus fines résolutions spatiale et temporelle devrait permettre de développer des projections climatiques sur les extrêmes de précipitations à jour et de mieux évaluer les incertitudes et les impacts de la variabilité naturelle du climat sur l'évolution des extrêmes. La comparaison de sorties de modèles (climatiques ou hydrologiques) et l'amélioration de ces modèles par des techniques d'assimilation de données dérivées de la paléo-hydro-climatologie contribueront à l'évaluation de ceux-ci à l'aide de données *in situ*.

Le suivi de la cryologie des eaux sera une composante de recherche active avec des travaux tant sur la glace que sur la neige et la température du sol. À titre d'exemple, on anticipe le développement et l'amélioration d'outils utilisant l'imagerie satellitaire pour la caractérisation du régime glacial côtier en



contexte de changements climatiques de même que le suivi des processus glaciels saisonniers en rivière (englacement, débâcle, embâcles) et l'estimation de l'épaisseur de glace à partir de données polarimétriques. À cela s'ajoutera le développement de meilleurs outils de suivi de la couverture neigeuse, du gel du sol en région subarctique.

Les sujets en interactions eau-atmosphère-infrastructures en milieu côtier toucheront les processus côtiers et plus spécifiquement l'impact des changements climatiques sur la circulation côtière, les processus de mélange (convection et turbulence) et les zones frontales et par la suite les impacts de ces processus sur la production biologique; les processus induits par le vent (interaction air-océan dans un contexte de brisure de vague, interaction vague-courant-sédiments) ainsi que l'hydrodynamique riveraine, l'écoulement de débris et la protection des rives. Les désastres naturels et anthropiques seront sans l'ombre d'un doute des objets porteurs avec des sujets comme la prédiction de vagues extrêmes dans un contexte de changements climatiques à la suite de tsunamis, ouragans, volcans actifs, glissements de terrain, tempêtes de vents et inondations (support technique aux systèmes d'alertes et d'évacuation) et les menaces et pollution des eaux vers les côtes (accidents en milieu maritimes, explosions sous l'eau). Les interactions fluide-structures-fond marin et contrôle de la vibration contribueront à l'étude du comportement des infrastructures maritimes. Enfin, le développement d'énergies renouvelables associées aux vagues et aux marées continuera d'attirer notre attention.

### **3.2 Biogéochimie aquatique**

Notons que de nouvelles disciplines de recherche ont vu le jour dans les dernières années. Parmi celles-ci, on retrouve la toxicogénomique et la métallomique : (i) Le développement de la toxicogénomique comme outil pour déceler et suivre les effets sous-létaux des métaux sur les organismes aquatiques est une avenue prometteuse qui offre de nombreux avantages sur la toxicologie classique; (ii) L'étude du métallome vise à comprendre le destin des métaux une fois internalisés. Ainsi, on peut mieux comprendre les mécanismes de détoxification des métaux et explorer le phénomène de « débordement cellulaire » ou « spillover » des métaux non essentiels comme le cadmium et le nickel. L'intégration d'approches toxicogénomiques dans le cadre de l'évaluation de risques environnementaux occupera une génération de nouveaux chercheurs. Il s'agit ici de sortir du laboratoire – où les chercheurs semblent se contenter de suivre les réponses à court terme – et d'étudier les organismes aquatiques dans leur milieu, où ils sont exposés chroniquement à des stressseurs.

Parmi les différents sujets émergents touchant les impacts des changements climatiques sur les cycles biogéochimiques régionaux et globaux des éléments, on note le besoin de développer des méthodes pour reconstruire la biodiversité à long terme et mesurer ainsi les changements récents dans un contexte temporel plus long, et d'identifier les facteurs rendant certains systèmes plus résilients que d'autres au changement. Les reconstructions paléoenvironnementales par des analyses des composés organiques résistants à la dégradation et dérivés d'organismes planctoniques spécifiques (par ex. alkénones) de même que la reconstruction du couvert de glace sont également d'un grand intérêt.

### 3.3 Sciences de la Terre

Les Sciences de la Terre seront appelées à contribuer à plusieurs des principaux enjeux socio-économiques auxquels la société devra faire face.

Toutes les analyses socioéconomiques prévoient une forte demande pour les ressources naturelles, principalement les métaux de base, les métaux précieux ou stratégiques et les hydrocarbures. De plus, ces activités et les activités anthropiques en général (changement climatique, accroissement de la population et étalement urbain) créent une pression croissante sur l'environnement et sur les eaux souterraines en particulier. Le Centre ETE compte déjà sur plusieurs chercheurs travaillant sur ces thèmes, mais il existe encore des pans entiers qui ne sont pas couverts à l'INRS et par les collaborateurs des chercheurs.

La stimulation de l'exploration et de l'exploitation des ressources requiert une base solide de connaissances géoscientifiques et le développement de nouveaux modèles permettant l'exploration de zones frontières, tant au sens géographique que technologique du terme. Le développement de nouvelles méthodes pour localiser les réserves dans les environnements complexes et profonds de métaux communs et pour identifier de nouvelles cibles pour l'exploration pétrolière et gazière est donc l'une des principales ambitions du programme. Notamment, l'évaluation économique des projets miniers devient de plus en plus complexe, et même, inconnue dans le contexte des réservoirs pétroliers québécois. Par ailleurs, malgré le contexte qui sied actuellement au Québec et un grand nombre de chercheurs impliqués dans ce domaine au CGQ, il n'y a pas de spécialiste en géologie pétrolière dans le milieu universitaire québécois.

Un des aspects nécessaires à toutes les Sciences de la Terre est l'étude des propriétés physiques, chimiques et géologiques. La recherche pétro-physico-chimique permet d'établir les relations statistiques entre les différentes propriétés d'un matériau géologique. L'établissement de ces relations repose sur des analyses en laboratoire, mais aussi en statistique multivariée et en assimilation de données. Les résultats permettent à la fois de mieux comprendre les processus géologiques, mais aussi d'intégrer ces données dans des modèles géophysiques et géologiques pour la caractérisation des ressources et des aquifères et leur suivi temporel en cours d'exploitation. Là encore, il n'existe pas de chercheur universitaire spécialisé en pétrophysique au Québec.

De nouvelles connaissances sur les processus physiques et chimiques associés à l'eau souterraine et la mise au point de nouvelles méthodes pour caractériser et cartographier les aquifères sont requises pour permettre une meilleure connaissance de la ressource et pour en assurer la qualité et la pérennité. Un point crucial qui n'est pas couvert par les chercheurs du Centre consiste à utiliser les traceurs géochimiques naturels afin de caractériser la connectivité des aquifères. Cette connaissance de l'hétérogénéité de la connectivité est également essentielle pour aborder les problèmes de décontamination et de réhabilitation des sites et pour la prise de décisions éclairées en matière de gestion du territoire et des déchets.

La perspective historique est essentielle à la définition de scénarios réalistes sur l'évolution du climat. Les données paléoclimatiques, paléoenvironnementales et paléogéographiques permettent de reconstituer les variations naturelles du climat avant toute influence anthropique et d'évaluer et de modéliser les effets éventuels à venir des changements climatiques. En plus de fournir des données permettant de préciser ou de valider les modèles numériques des changements climatiques passés, les reconstitutions à haute résolution générées par ce programme serviront à mieux apprécier l'impact de l'Homme sur la variabilité du climat et à prévoir la réaction de régions ou d'environnements particuliers aux changements climatiques.

Une activité qui est couverte de manière sporadique par quelques chercheurs du Centre est la géotechnique appliquée aux risques naturels. Ces risques peuvent être naturels et d'origine structurale (karsts, glissement de terrain, etc.) ou dus à des mouvements de fluides à l'intérieur des couches géologiques (radon, méthanes) ou anthropiques (suivi temporel des environnements pétroliers, fracturation hydraulique, etc.).

### **3.4 Assainissement et valorisation**

L'élimination des micropolluants émergents (ex. : perturbateurs endocriniens) et des POP dans les effluents urbains et industriels et leur suivi dans l'environnement constitueront certainement un thème central de la recherche en assainissement au cours des prochaines décennies. À cet égard, l'utilisation des technologies membranaires, d'électrotechnologies ou de POA couplées aux procédés biologiques d'épuration des eaux usées constituera des voies technologiques qui devront être considérées en raison de leur excellent potentiel d'abattement de ce type de pollution.

L'emploi de plus en plus répandu des nanomatériaux pour différents usages, dont notamment en matière de dépollution, constitue aussi une problématique d'actualité puisqu'une proportion importante de ces matières se retrouve dans les effluents urbains et industriels et est ainsi libérée dans les écosystèmes. Le suivi, la récupération et la réutilisation de ces nanomatériaux seront au cœur des préoccupations des chercheurs du domaine au cours des prochaines années.

En accord avec les pressions mises par les autorités gouvernementales, la valorisation des déchets continuera d'être un domaine de recherche très important au cours des prochaines années. Des efforts notables devraient donc être consentis à la démonstration du potentiel technico-économique de la biotransformation de déchets organiques en différents PVA. À cette fin, les outils modernes de la biologie moléculaire (protéomique, techniques génomiques, etc.) seront davantage exploités afin d'accroître la performance des procédés de biotransformation des déchets. L'approche de biotechnologie verte sera aussi développée afin d'accroître l'acceptabilité sociale et environnementale des bioproduits résultants des procédés de biotransformation de déchets.

Le domaine du recyclage des déchets comprend également la valorisation potentielle des quantités toujours croissantes de déchets électroniques (piles et batteries, écrans cathodiques, ordinateurs, téléphones cellulaires, tablettes, etc.) et des déchets des industries minières et métallurgiques. L'exploitation de résidus contenant des terres rares et des métaux d'intérêt devrait certainement représenter un secteur de recherche prisé dans un proche futur.

De même, la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre (GES) est un enjeu planétaire. Des financements importants seront consentis au cours des prochaines années afin d'identifier des voies technologiques pour la réduction de ces GES, dont principalement les émissions de CO<sub>2</sub>.

## 4 Positionnement et axes prioritaires de développement

Les sections suivantes traitent des capacités actuelles de R&D du Centre et des besoins futurs en ressources professorales en regard des domaines privilégiés de recherche pour le futur identifiés précédemment.

### 4.1 Hydrologie

Pour la composante hydrologie et hydraulique urbaine (quantité et qualité de l'eau), la gestion des eaux pluviales et la gestion des réseaux de distribution d'eau potable nécessiteront l'apport de collaborateurs d'autres universités. L'apport d'un professeur supplémentaire dans ce domaine (spécialiste de la modélisation ou de l'optimisation, par exemple) permettrait de composer au Centre un noyau solide de chercheurs en gestion des eaux urbaines, accroissant ainsi les possibilités de mise en commun des ressources et de l'expertise afin de se démarquer par rapport aux équipes de chercheurs d'autres universités.

Au sujet de l'hydrologie des bassins versants (quantité et qualité de l'eau) et, plus particulièrement en ce qui a trait au développement d'outils de modélisation numérique distribuée, tant en hydrologie qu'en hydrogéologie, les ressources sont limitées. Il est aussi impératif de recruter deux professeurs-chercheurs en micro-météorologie et en hydro-informatique pour faire le pont entre la modélisation météorologique et la modélisation hydrologique, c'est-à-dire un spécialiste en bilan d'énergie de surface capable de concilier travaux de terrain et modélisation. Ces professeurs pourraient grandement contribuer aux activités de recherche portant sur les grands bassins hydroélectriques ainsi qu'en hydrologie urbaine.

En hydraulique et suivi environnemental des rivières et plans d'eau, il existe une entente de collaboration au niveau de la modélisation hydrodynamique entre l'INRS et Environnement Canada, mais celle-ci devrait être renforcée, peut-être même sur le modèle de la CGC.

Afin de répondre aux besoins de recherche en extrêmes météorologiques et climatiques, il serait intéressant de développer une masse critique de professeurs intéressés à des volets complémentaires tels que l'analyse des séries climatiques, la climatologie (il y a définitivement une lacune à ce niveau), l'analyse de risque et la conception, les monitorings hydrologique et météorologique en milieu urbain. À titre d'exemple, le nombre de professeurs avec une expertise en hydrologie statistique a chuté de cinq (5) à trois (3) au cours des dernières années, dont un professeur qui est en mise en disponibilité pour une longue période. Il faudrait reconstruire cette masse critique.

Jusqu'à maintenant, les deux professeurs en télédétection du Centre ont réalisé des activités de recherche d'importance au niveau du suivi de la cryologie des eaux et, plus particulièrement, sur le suivi des couverts de glace et de neige. Cela dit, il y a une expertise notable en télédétection et géomatique qui pourrait être mise en valeur davantage en mettant place une synergie entre ces chercheurs et ceux en hydrogéologie (interférométrie radar pour l'étude du mouvement du sol), en suivi environnemental (thermographie infrarouge pour l'étude de l'habitat du poisson) et en géosciences (utilisation de la télédétection proximale, traitement des images appliqué à la géologie structurale). Elle faciliterait le partage des techniciens et professionnels de recherche et elle permettrait de développer une mise en marché, un plan de visibilité afin d'attirer clients, partenaires de recherche et étudiants.

Enfin, la composante interactions eau-atmosphère-infrastructures en milieu côtier vient de se doter d'infrastructures de recherche de premier plan. Il serait tout à fait logique de développer une masse critique de chercheurs dans ce domaine, d'autant plus que le professeur qui a directement contribué à

son développement vient de prendre sa retraite et qu'une nouvelle professeure-chercheuse est en train de s'installer au Centre.

## **4.2 Biogéochimie aquatique**

Le Centre ETE s'est très bien positionné jusqu'à maintenant. Cependant, cette position sera rapidement fragilisée si on ne procède pas au recrutement de nouveaux professeurs dynamiques et talentueux. En effet, le Centre devra renforcer l'équipe de biogéochimie compte tenu du départ de trois professeurs et du départ anticipé à la retraite de quelques autres au cours des prochaines années.

On note des carences en biologie moléculaire appliquée à l'écotoxicologie, en écotoxicologie benthique, en limnologie et en géochimie des composés organiques. L'ajout de chercheurs pouvant apporter une expertise complémentaire à celle des autres membres du groupe de biogéochimie permettrait d'atteindre la masse critique nécessaire pour maintenir notre position de leader au Québec dans le domaine de la biogéochimie des contaminants.

## **4.3 Sciences de la Terre**

Les Sciences de la Terre seront appelées à contribuer à plusieurs des principaux enjeux socio-économiques auxquels la société devra faire face. Dans les 10 prochaines années, sur les 12 professeurs en Sciences de la Terre de l'INRS, cinq professeurs prendront leur retraite.

Toutes les analyses socio-économiques prévoient une forte demande pour les ressources naturelles, principalement les métaux de base, les métaux précieux ou stratégiques et les hydrocarbures. De plus, ces activités et les activités anthropiques en général (changement climatique, accroissement de la population et étalement urbain) créent une pression croissante sur l'environnement et les eaux souterraines en particulier. Le Centre ETE compte déjà sur plusieurs chercheurs travaillant sur ces thèmes, mais il existe encore des pans entiers qui ne sont pas couverts à l'INRS et par les collaborateurs des chercheurs.

La stimulation de l'exploration et de l'exploitation des ressources requiert une base solide de connaissances géoscientifiques et le développement de nouveaux modèles permettant l'exploration de zones frontières, tant au sens géographique que technologique du terme. Le développement de nouvelles méthodes pour localiser les réserves dans les environnements complexes et profonds de métaux communs et pour identifier de nouvelles cibles pour l'exploration pétrolière et gazière est donc l'une des principales ambitions du programme. Notamment, l'évaluation économique des projets miniers devient de plus en plus complexe, et même, inconnue dans le contexte des réservoirs pétroliers québécois. Par ailleurs, malgré le contexte qui sied actuellement au Québec et un grand nombre de chercheurs impliqués dans ce domaine à la CGQ, il n'y a pas de spécialiste en géologie pétrolière dans le milieu universitaire québécois.

Un des aspects nécessaires à toutes les Sciences de la Terre est l'étude des propriétés physiques, chimiques et géologiques. La recherche pétro-physico-chimique permet d'établir les relations statistiques entre les différentes propriétés d'un matériau géologique. L'établissement de ces relations repose sur des analyses en laboratoire, mais aussi en statistique multivariée et en assimilation de données. Les résultats permettent à la fois de mieux comprendre les processus géologiques, mais aussi d'intégrer ces données dans des modèles géophysiques et géologiques pour la caractérisation des

ressources et des aquifères et leur suivi temporel en cours d'exploitation. Là encore, il n'existe pas de chercheur universitaire spécialisé en pétrophysique au Québec.

De nouvelles connaissances sur les processus physiques et chimiques associés à l'eau souterraine et la mise au point de nouvelles méthodes pour caractériser et cartographier les aquifères sont requises pour permettre une meilleure connaissance de la ressource et pour en assurer la qualité et la pérennité. Un point crucial qui n'est pas couvert par les chercheurs du Centre consiste à utiliser les traceurs géochimiques naturels afin de caractériser la connectivité des aquifères. Cette connaissance de l'hétérogénéité de la connectivité est également essentielle pour aborder les problèmes de décontamination et de réhabilitation des sites et pour la prise de décisions éclairées en matière de gestion du territoire et des déchets. Il existe des capacités analytiques uniques à la CGQ qui pourrait être valorisées par la présence d'un spécialiste en géochimie de basse température. Or il n'existe pas de spécialiste actif en géochimie dans la région de Québec.

La perspective historique est essentielle à la définition de scénarios réalistes sur l'évolution du climat. Les données paléoclimatiques, paléo-environnementales et paléogéographiques permettent de reconstituer les variations naturelles du climat avant toute influence anthropique et d'évaluer et de modéliser les effets éventuels à venir des changements climatiques. En plus de fournir des données permettant de préciser ou de valider les modèles numériques des changements climatiques passés, les reconstitutions à haute résolution générées par ce programme serviront à mieux apprécier l'impact de l'Homme sur la variabilité du climat et à prévoir la réaction de régions ou d'environnements particuliers aux changements climatiques.

#### **4.4 Assainissement et valorisation**

Le Centre ETE regroupe des spécialistes reconnus et des infrastructures à la fine pointe dans le domaine de la biotechnologie environnementale. Les équipements de fermentation, de récupération et de purification des bioproduits en place dans les laboratoires du Centre représentent un atout majeur de développement et de transfert vers l'industrie dans ce secteur. En matière de développements futurs, le Centre n'a toutefois pas les compétences en métabolomique (science qui étudie l'ensemble des métabolites présents dans une cellule, un organe, un organisme) qui est un domaine important et à venir en matière de biotechnologies et de contaminants émergents.

L'équipe est également reconnue à l'échelle internationale pour ces travaux dans le domaine du développement de technologies de décontamination de matrices polluées par des métaux et des composés organiques toxiques. Le Centre est d'ailleurs très bien outillé pour la recherche dans ce secteur avec un arsenal diversifié d'équipements de recherche, de pilotage et d'instruments analytiques. En outre, le Centre est aussi bien positionné étant l'un des seuls intervenants canadiens à employer les processus de production et de distillation de chlorures par voie sèche pour générer des concentrés et des chlorures de divers éléments. Ce type de technologie peut être exploité pour la récupération d'éléments à haute valeur commerciale.

Le Centre est également à l'avant-garde des recherches dans le domaine de l'utilisation des électrotechnologies, des technologies membranaires et des POA pour le traitement des eaux usées et des effluents, dont notamment, pour l'élimination des POP et des contaminants émergents. Les équipements de recherche disponibles au Centre pour œuvrer dans ce secteur sont multiples et de haute qualité et l'expertise du groupe de recherche dans ce domaine est indéniable.

Le Centre est aussi maintenant en bonne position pour mener des recherches dans le domaine de la lutte contre les GES, avec ses installations pilotes de carbonatation minérale, sans oublier l'expertise des

autres chercheurs du Centre, notamment en matière de séquestration géologique du CO<sub>2</sub>. Le recrutement d'un spécialiste dans le domaine des gaz serait toutefois une action à considérer afin d'accroître le potentiel de développement du Centre dans ce domaine.

Finalement, des activités de recherche ont été entreprises au Centre concernant l'utilisation des nanomatériaux pour le traitement des contaminants émergents et leur suivi dans l'environnement. Ce secteur de recherche à fort potentiel continuera donc d'être développé par les chercheurs actuels du groupe Assainissement et valorisation.

