

Rapport annuel 2017-2018



Rapport annuel du 1^{er} mai 2017 au 30 avril 2018

Disponible en format électronique : www.ete.inrs.ca/ete/publications#rapports_annuels

Rédaction et mise en page

Mathilde Renaud

Révision

Jean-Daniel Bourgault et Tatiana Soldatova Aeyan

Photos de la page couverture

Vincent Taillard

Autres crédits photos

Hachem Agili, Paschale Bégin, Denis Bernier, Satinder Kaur Brar, Julie Breton, Arnaud De Coninck, Mathieu Des Roches, Chrystel Dezayes, Christian Fleury, Lyal Harris, Clémence Jouveau du Breuil, laetitiaphotographe.com, Isabelle Laurion, Louise Leblanc, René Lefebvre, Tram Nam, Antoine Nicault, Louis-César Pasquier, Sylvain Perrier, Danaé Pitre, Marie-Josée Racine, Jasmin Raymond, Marc Richer-Laflèche, Thomas Robert, Pierre-Simon Ross, Harold Vigneault

Pour information

Institut national de la recherche scientifique

Centre Eau Terre Environnement

490, de la Couronne

Québec (Québec) G1K 9A9

CANADA

Téléphone : 418 654-INRS

Courriel : info@ete.inrs.ca

Site Internet : www.ete.inrs.ca

© INRS, Centre Eau Terre Environnement, 2018

Dépôt légal, Bibliothèque nationale du Québec

Dépôt légal, Bibliothèque et Archives Canada

Centre Eau Terre Environnement

Institut national de la recherche scientifique

Université consacrée à la recherche fondamentale et appliquée orientée vers le développement culturel, économique et social du Québec. L'objectif de l'INRS est de former des professionnels qualifiés aux cycles supérieurs et de s'assurer du transfert des connaissances et des technologies dans ses secteurs de spécialités. L'INRS offre à ses étudiants et professeurs un milieu de recherche innovant centré sur les besoins de la société québécoise.

L'INRS est composé de quatre centres thématiques :

- **Eau Terre Environnement (Québec)**
- **Énergie Matériaux Télécommunications (Varennes et Montréal)**
- **INRS-Institut Armand-Frappier (Laval)**
- **Urbanisation Culture Société (Montréal et Québec)**

Le Centre est activement engagé dans le développement durable du Québec. Œuvrant en recherche de pointe, le Centre se situe au cœur des développements scientifiques et technologiques visant à favoriser la protection de l'environnement et des ressources naturelles ainsi que leur mise en valeur. Des programmes de maîtrise et de doctorat en sciences de l'eau et de la Terre sont offerts ainsi que des stages pour tous les niveaux universitaires.

Le programme scientifique comporte quatre grands axes de recherche :

- Assainissement et valorisation des résidus
- Biogéochimie aquatique
- Hydrologie
- Sciences de la Terre

Le Centre est situé au centre-ville de Québec, sur le campus urbain de l'Université du Québec. Il a aussi des laboratoires au Parc technologique du Québec métropolitain et une station de recherche en milieu naturel au Saguenay.



C'est avec grand plaisir que nous présentons le dix-septième rapport annuel du Centre Eau Terre Environnement de l'Institut national de la recherche scientifique pour l'année 2017-2018.

La mission de notre Centre est orientée vers le développement durable et la protection de l'environnement dans les domaines des sciences de l'eau et de la Terre. La recherche fondamentale et appliquée, la formation aux cycles supérieurs, le transfert technologique et la diffusion des connaissances font partie intégrante de cette mission. À ce chapitre, l'année a été riche en événements et en retombées.

Ce rapport fait état des projets importants de l'année dans les différents domaines d'intérêt du Centre. Citons d'abord la mise sur pied d'un programme de formation en technologies de traitement des eaux (TEDGIEER) financé par le CRSNG. Un nouveau laboratoire a aussi vu le jour, le Laboratoire ouvert de géothermie. Citons également quelques exemples de projets de recherche : la séquestration du CO₂ pour la production de MgO; un volet additionnel du Programme d'acquisition des connaissances sur les eaux souterraines pour la région de l'Estrie; l'élaboration d'un dispositif d'alerte et de vigilance pour les embâcles de glace; l'évaluation de la toxicité du bitume dilué sur les poissons d'eau douce. Ces exemples de nouveaux projets, parmi d'autres, font état du dynamisme de notre corps professoral et de leurs équipes de recherche.

Le présent rapport se veut donc un survol des grandes réalisations du Centre Eau Terre Environnement pour l'année 2017-2018. Les succès obtenus sont le résultat de la contribution exceptionnelle de tous les membres, professeurs, étudiants, stagiaires, personnels de recherche et de laboratoire, chercheurs associés, notamment ceux de la Commission géologique du Canada avec qui nous cohabitons, ainsi que de l'ensemble du personnel de soutien.

Nous adressons de sincères remerciements à tous les membres de notre Centre et à nos collaborateurs et les encourageons à poursuivre leur excellent travail.

**Directeur
Jean-François Blais**

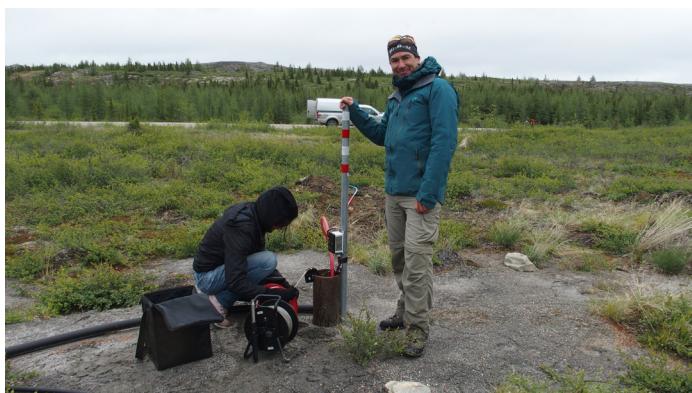


Photo du haut : formation dans le cadre du programme TEDGIEER; photo du centre : travaux de terrain en géothermie de l'équipe du professeur Jasmin Raymond; photo du bas : travail de laboratoire de la doctorante Tayssir Guedri (© laetitiaphotographe.com)



Assainissement et valorisation

2017-2018

Les villes du monde produisent annuellement près de 1,3 milliard de tonnes de déchets solides; ces déchets ont un grand potentiel de valorisation

Les défis auxquels est confrontée la société d'aujourd'hui en matière de récupération et de valorisation des déchets demandent une adaptation continue des méthodes et technologies utilisées.

Le Centre Eau Terre Environnement de l'INRS est un chef de file dans le développement de technologies environnementales. Ses chercheurs ont une vaste expérience du traitement et de la valorisation d'effluents, de résidus contaminés et de boues d'épuration. De plus, le Centre possède un parc d'équipements pilotes et d'instruments analytiques des plus complets et flexibles. Les procédés élaborés font régulièrement l'objet de brevets et de transferts technologiques vers les entreprises.

Des exemples de recherche et de formation appliquées aux défis actuels

Boucler le cycle du CO₂

Tenir compte du cycle de vie des produits est une nécessité. Elle l'est d'autant plus pour le CO₂ dont les émissions doivent être réduites à court terme. Un procédé de carbonatation minérale utilisant des résidus miniers de serpentine a été développé à l'INRS. Dans ce procédé, le CO₂ émis par des industries (cimenteries, raffineries) est emprisonné sous forme solide (MgCO₃). Ce carbonate de magnésium est ensuite utilisé pour produire du MgO. Le CO₂ émis est à nouveau capté pour produire du MgCO₃. La valeur marchande du MgO et sa faible empreinte carbone permettent de boucler le cycle et de réduire les émissions liées à des produits de première consommation.



Former des experts en traitement

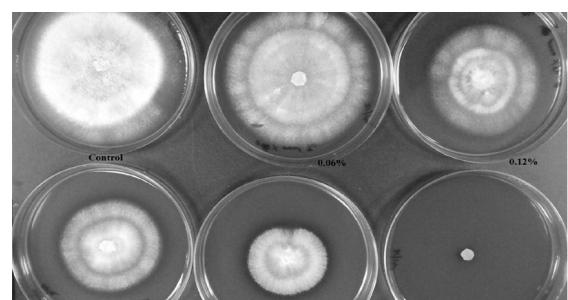
Dans un contexte où les effluents municipaux et industriels sont en croissance et de plus en plus complexes à traiter, des approches de gestion écoresponsable des rejets doivent être développées. Dans cette optique, une formation en technologies environnementales orientée vers la décontamination et la gestion intégrée des eaux et effluents résiduaires (programme TEDGIEER) a été créée. Ce programme multidisciplinaire dirigé par un chercheur de l'INRS est situé à l'interface université-industrie. Le but est de former du personnel qualifié dans ce créneau de recherche à fort impact sociétal en utilisant des technologies innovantes et des sources d'énergie renouvelable.



Photo : Shutterstock

Explorer le potentiel antimicrobien

Les entreprises souhaitent de plus en plus valoriser les résidus qu'elles produisent. La pyrolyse de la biomasse forestière génère une phase solide, le biocharbon, et une phase liquide, le vinaigre de bois. La composition biochimique de ce sous-produit le rend intéressant pour la valorisation. Au Québec, la biomasse forestière est principalement composée de bois mou de conifères. Le but de ce projet de recherche est d'explorer le potentiel du vinaigre de bois obtenu par pyrolyse de bois mou comme agent antimicrobien. On vise à vérifier son effet sur différents microorganismes, à déterminer la concentration optimale pour une action antimicrobienne et en évaluer l'efficacité.



Grands thèmes abordés et chercheurs impliqués



DÉCONTAMINATION ET VALORISATION

Jean-François Blais | Décontamination et valorisation
jean-francois.blais@ete.inrs.ca

Patrick Drogui | Électrotechnologies d'assainissement
patrick.drogui@ete.inrs.ca

Guy Mercier | Décontamination et valorisation
guy.mercier@ete.inrs.ca

Louis-César Pasquier | Séquestration et utilisation du CO₂
louis-cesar.pasquier@ete.inrs.ca



BIOCONVERSION

Satinder Kaur Brar | Valorisation et contaminants émergents
satinder.brar@ete.inrs.ca

Rajeshwar Dayal Tyagi | Biotechnologies
rd.tyagi@ete.inrs.ca

Quelques publications récentes

(Les noms des auteurs du Centre ETE sont en **gras**)

- **Chen J, Tyagi RD, Li J, Zhang X, Drogui P et Sun F** (2018). Economic assessment of biodiesel production from wastewater sludge. *Bioresource Technology*, 253: 41-48.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.016>
- **Guitaya L, Azaïs A, Zaviska F, Drogui P, Blais J-F et Gourich B** (2017). Electrochemical oxidation as treatment for contaminated wastewaters by carbamazepine: process optimization through response surface methodology. *Water, Air & Soil Pollution*, 228: Art. 384.
<http://dx.doi.org/10.1007/s11270-017-3565-4>
- **Kemache N, Pasquier L-C, Cecchi E, Mouedhen I, Blais J-F et Mercier G** (2017). Aqueous mineral carbonation for CO₂ sequestration: From laboratory to pilot scale. *Fuel Processing Technology*, 166: 209-216.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2017.06.005>
- **Mouedhen I, Coudert L, Blais J-F et Mercier G** (2018). Study of factors involved in the gravimetric separation process to treat soil contaminated by municipal solid waste. *Journal of Environmental Management*, 209: 23-36.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.12.020>
- **Naghdi M, Taheran M, Brar SK, Kermanshahi-pour A, Verma M et Surampalli RY** (2018). Removal of pharmaceutical compounds in water and wastewater using fungal oxidoreductase enzymes. *Environmental Pollution*, 234: 190-213.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.060>
- **Tanong K, Tran LH, Coudert L, Mercier G et Blais J-F** (2018). Recovery of Zn from unsorted spent batteries using solvent extraction and electrodeposition. *Journal of Environmental Engineering*, 144: Art. 04018033.
[http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001345](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001345)
- **Zolfaghari M, Drogui P, Brar SK, Buelna G et Dubé R** (2017). Insight into the adsorption mechanisms of trace organic carbon on biological treatment process. *Environmental Technology*, 38: 2324-2334.
<http://dx.doi.org/10.1080/09593330.2016.1259355>

Une diversité de partenaires de recherche

- Consortium de recherche et innovation en bioprocédés industriels au Québec
- ECO₂Magnesia
- Hydro-Québec
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec
- Nemaska Lithium
- Sigma Devtech
- Technorem

Biogéochimie aquatique

2017-2018

La pollution de l'eau est un enjeu environnemental de première importance

Les contaminants qui entrent dans les écosystèmes aquatiques s'accumulent dans les sédiments et se concentrent dans les chaînes alimentaires. Pour s'attaquer à ce problème, il est essentiel de comprendre les processus qui contrôlent les échanges de polluants entre les sédiments, l'eau et les organismes vivants, ainsi que leurs effets sur les écosystèmes aquatiques.

Le groupe en biogéochimie aquatique du Centre Eau Terre Environnement de l'INRS mène des recherches concertées sur la dispersion des contaminants, l'assimilation et les effets chez les organismes vivants et la détection des changements environnementaux dans ces écosystèmes. Il contribue également à la recherche sur les impacts des changements climatiques en étudiant le fonctionnement et la productivité des écosystèmes aquatiques ainsi que le rôle qu'ils jouent sur le climat.

Des exemples de recherche appliquée aux défis actuels

HAP dans la mire

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont des contaminants très présents dans l'environnement provenant principalement de la combustion incomplète des produits pétroliers. Les HAP et leurs dérivés sont génotoxiques, tératogènes (causent des malformations), mutagènes et cancérogènes pour la faune. L'objectif des recherches en cours est d'évaluer les effets de l'exposition aux HAP dans des colonies de cormorans à aigrettes qui vivent près du port d'Hamilton en Ontario qui est un secteur très pollué. Les effets des HAP dans les œufs et chez les jeunes cormorans seront évalués à l'aide d'outils en toxicologie et en biologie moléculaire.



Photo : Allan Hack [CC] via Flickr

Pesticides à réduire

Le développement d'une agriculture durable au Québec requiert de trouver des solutions afin de réduire les taux d'exportation des pesticides vers les écosystèmes aquatiques. Les bassins de rétention retiennent l'eau lors de crues réduisant significativement les charges en pesticides lorsque la durée de stockage est suffisante. L'efficacité du traitement peut être améliorée en utilisant des écumoirs flottants qui permettent l'évacuation de l'eau de surface qui est la plus propre. Le projet en cours vise à quantifier les taux de réduction des pesticides et à évaluer l'impact sur la vie aquatique par des tests de toxicité et un suivi des communautés microbiologiques.



Terres rares à décrire

Les terres rares sont en forte demande, car elles entrent dans la fabrication de produits électroniques et de technologies vertes (ex. : véhicules hybrides, éoliennes). Mais il y a un important manque de données écotoxicologiques pour ces éléments. Une équipe de recherche incluant un professeur de l'INRS s'intéresse aux facteurs qui influencent la biodisponibilité (potentiel d'accumulation), les effets (toxicité) et le transfert trophique des terres rares dans les écosystèmes aquatiques du Québec. Les informations obtenues pourront ensuite être utilisées dans les processus d'évaluation du risque écologique des activités minières reliées à ces éléments d'intérêt émergent.



Photo : Peggy Greb (USDA) via Wikimedia Commons

Grands thèmes abordés et chercheurs impliqués



ÉCOTOXICOLOGIE

Patrice Couture | Effets sur les poissons
patrice.couture@ete.inrs.ca

Claude Fortin | Biogéochimie des métaux
claude.fortin@ete.inrs.ca

Landis Hare | Effets sur les invertébrés
landis.hare@ete.inrs.ca

Valérie Langlois | Écotoxicogénomique
valerie.langlois@ete.inrs.ca



LIMNOLOGIE

Jérôme Comte* | Diversité et fonction microbienne
jerome.comte@ete.inrs.ca

Isabelle Lavoie* | Biosuivi des écosystèmes d'eau douce
isabelle.lavoie@ete.inrs.ca

Isabelle Laurion | Eutrophisation et changements climatiques
isabelle.laurion@ete.inrs.ca

* Arrivé(e) en 2018

Quelques publications récentes

(Les noms des auteurs du Centre ETE sont en **gras**)

- **Bertrand K** et **Hare L** (2017). Evaluating benthic recovery decades after a major oil spill in the Laurentian Great Lakes. *Environmental Science & Technology*, 51: 9561-9568.
<http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.7b02392>
- **Comte J**, Berga M, Severin I, Logue JB et Lindström ES (2017). Contribution of different bacterial dispersal sources to lakes: Population and community effects in different seasons. *Environmental Microbiology*, 19: 2391-2404.
<http://dx.doi.org/10.1111/1462-2920.13749>
- **Fadhlaoui M**, Pierron F et **Couture P** (2018). Temperature and metal exposure affect membrane fatty acid composition and transcription of desaturases and elongases in fathead minnow muscle and brain. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148: 632-643.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.10.040>
- **Kim Tiam S**, **Laderrière V**, **Gillis C-A**, **Fortin C** et **Lavoie I** (2017). qPCR detection versus microscopy observations for assessing presence-absence of *Didymosphenia geminata* in Quebec rivers (Canada). *Water Quality Research Journal*, 52: 109-120.
<http://dx.doi.org/10.2166/wqrj.2017.030>
- **Lavoie I**, Morin S, **Laderrière V** et **Fortin C** (2018). Freshwater diatoms as indicators of combined long-term mining and urban stressors in Junction Creek (Ontario, Canada). *Environments*, 5: Art. 30.
<http://dx.doi.org/10.3390/environments5020030>
- **Liu F**, **Fortin C** et **Campbell PGC** (2017). Can freshwater phytoplankton access cadmium bound to low-molecular-weight thiols? *Limnology and Oceanography*, 62: 2604-2615.
<http://dx.doi.org/10.1002/limo.10593>
- Wallace SJ, de Solla SR, Thomas PJ, Harner T, Eng A et **Langlois VS** (2018). Airborne polycyclic aromatic compounds contribute to the induction of the tumour-suppressing P53 pathway in wild double-crested cormorants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 150: 176-189.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.12.028>

Une diversité de partenaires de recherche

- Alberta Environment and Parks
- Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec
- Environnement et Changement climatique Canada
- Génome Canada
- International Zinc Association
- Pêches et Océans Canada
- Ville de Québec

Hydrologie

2017-2018

Le Canada possède près de 9 % des ressources en eau douce de la planète

La gestion durable de cette ressource vitale est une priorité au Centre Eau Terre Environnement de l'INRS qui regroupe une importante concentration d'experts universitaires dans le domaine de l'eau.

L'expertise des chercheurs du Centre dans le développement et l'application de nouvelles approches numériques permet d'offrir des outils d'analyse et d'aide à la décision applicables à divers contextes. L'équipe multidisciplinaire s'intéresse autant à la disponibilité des ressources qu'aux problématiques environnementales.

Des exemples de recherche appliquée aux défis actuels

Débits à préserver

Dans une optique de protection à long terme des ressources en eau, le gouvernement du Québec cherche à mieux gérer les prélèvements d'eau de surface dans la province. Les travaux en cours comparent les différentes méthodes d'évaluation des débits environnementaux afin de déterminer lesquelles permettent de répondre aux besoins de la population tout en assurant le maintien de la qualité des écosystèmes aquatiques. Les analyses incluent l'établissement de relations empiriques entre les caractéristiques des bassins versants et les méthodes sélectionnées ainsi que l'impact des changements climatiques sur leur pertinence.



Milieux humides à protéger

Les milieux humides rendent des services écologiques inestimables, par exemple en réduisant le ruissellement et en filtrant l'eau. Le projet en cours vise à classifier les milieux humides qui sont à protéger sur un territoire municipal en fonction de leur contribution à la gestion des eaux pluviales. L'équipe de l'INRS est responsable d'identifier les milieux humides les plus efficaces pour capter le ruissellement et les solides en suspension suite à des pluies de récurrences de 2, 10 et 25 ans. Les outils de modélisation PHYSITEL/HYDROTEL seront utilisés et adaptés à cette fin dans le cadre de ce projet.



Risques d'inondation à gérer

Afin de mieux gérer les risques associés aux inondations, la prévision à long terme est essentielle. Cependant, la dynamique météorologique fait qu'il est très difficile de faire ce type de prévision. Les techniques d'apprentissage automatique ont récemment été appliquées avec succès à la prévision des événements extrêmes. L'objectif principal du projet de recherche est de développer des modèles utilisant la méthode d'ensemble en apprentissage automatique pour la prévision à long terme du débit de rivières en fonction de différents facteurs et à partir d'un historique limité d'événements extrêmes. Les modèles obtenus serviront à une meilleure planification et gestion des risques d'inondation.



Photo : Keith Ewing [CC] via [Flickr](#)

Grands thèmes abordés et chercheurs impliqués



HYDRAULIQUE ET SUIVI ENVIRONNEMENTAL

Normand Bergeron | Géomorphologie et habitat fluvial
normand.bergeron@ete.inrs.ca

Yves Secretan* | Hydro-informatique
yves.secretan@ete.inrs.ca



HYDROLOGIE DES BASSINS VERSANTS

Alain N. Rousseau | Modélisation et gestion intégrée
alain.rousseau@ete.inrs.ca

Jean-Pierre Villeneuve | Aquaresponsabilité municipale
jean-pierre.villeneuve@ete.inrs.ca



HYDROLOGIE STATISTIQUE

Fateh Chebana | Extrêmes météorologiques et climatiques
fateh.chebana@ete.inrs.ca

Taha B.M.J. Ouarda | Hydrométéorologie
taha.ouarda@ete.inrs.ca

André St-Hilaire | Hydrologie statistique et environnementale
andre.st-hilaire@ete.inrs.ca



HYDROLOGIE ET HYDRAULIQUE URBAINES

Sophie Duchesne | Infrastructures urbaines
sophie.duchesne@ete.inrs.ca

Alain Mailhot | Modélisation et changements climatiques
alain.mailhot@ete.inrs.ca



TÉLÉDÉTECTION

Monique Bernier | Suivi des ressources en eau
monique.bernier@ete.inrs.ca

Karem Chokmani | Géomatique de l'environnement
karem.chokmani@ete.inrs.ca

* Retraite en 2018

Quelques publications récentes

(Les noms des auteurs du Centre ETE sont en **gras**)

- **De Munck S, Gauthier Y, Bernier M, Chokmani K** et Légaré S (2017). River predisposition to ice jams: a simplified geospatial model. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17: 1033-1047.
<http://dx.doi.org/10.5194/nhess-17-1033-2017>
- **Foulon É, Rousseau AN** et Gagnon P (2018). Development of a methodology to assess future trends in low flows at the watershed scale using solely climate data. *Journal of Hydrology*, 557: 774-790.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.12.064>
- **Goerig E, Bergeron NE** et Castro-Santos T (2017). Swimming behaviour and ascent paths of brook trout in a corrugated culvert. *River Research and Applications*, 33: 1463-1471.
<http://dx.doi.org/10.1002/rra.3187>
- **Innocenti S, Mailhot A** et Frigon A (2017). Simple scaling of extreme precipitations in North America. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21: 5823-5846.
<http://dx.doi.org/10.5194/hess-21-5823-2017>
- **Larabi S, St-Hilaire A, Chebana F** et Latraverse M (2018). Multi-criteria process-based calibration using functional data analysis to improve hydrological model realism. *Water Resources Management*, 32: 195-211 .
<http://dx.doi.org/10.1007/s11269-017-1803-6>
- **Matte P, Secretan Y** et Morin J (2017). Hydrodynamic modeling of the St. Lawrence fluvial estuary. II: Reproduction of spatial and temporal patterns. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 143: Art. 4017011.
[http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)WW.1943-5460.0000394](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000394)
- **Ouali D, Chebana F** et **Ouarda TBMJ** (2017). Fully nonlinear statistical and machine learning approaches for hydrological frequency estimation at ungauged sites. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 9: 1292-1306.
<http://dx.doi.org/10.1002/2016MS000830>
- **Shishegar S, Duchesne S** et Pelletier G (2018). Optimization methods applied to stormwater management problems: a review. *Urban Water Journal*, 15: 276-286.
<http://dx.doi.org/10.1080/1573062X.2018.1439976>

Une diversité de partenaires de recherche

- Consortium Ouranos
- Fédération québécoise pour le saumon atlantique
- Gouvernement du Canada (Agence spatiale; Environnement et Changement climatique; Pêches et Océans; Recherche et développement pour la défense; Ressources naturelles; Savoir Polaire)
- Gouvernement du Québec (Développement durable, Environnement et Lutte contre les changements climatiques; Forêt, Faune et Parcs; Sécurité publique; Transports, Mobilité durable et Électrification des transports)
- Hydro-Québec
- Ville de Québec
- Yukon Energy



Sciences de la Terre

2017-2018

Gaz de schiste, eau souterraine, exploitation minière, érosion des côtes : les géosciences sont très présentes dans l'actualité

La forte demande pour les ressources minérales, pétrolières et gazières, la gestion durable des eaux souterraines, les risques environnementaux liés aux processus géologiques et l'impact des changements climatiques sont autant de problématiques auxquelles les chercheurs tentent de répondre.

Le Centre géoscientifique de Québec (CGQ) résulte d'une entente de partenariat unique au Canada entre un établissement universitaire, le Centre Eau Terre Environnement de l'INRS, et un organisme du gouvernement fédéral, le bureau de Québec de la Commission géologique du Canada (une division de Ressources naturelles Canada). Cette collaboration a permis de constituer l'un des plus importants regroupements multidisciplinaires de recherche en sciences de la Terre au pays.

Des exemples de recherche appliquée aux défis actuels

Accès libre au LOG

L'énergie géothermique est une ressource durable utilisée de plus en plus au Canada pour le chauffage des bâtiments ainsi que pour la production d'électricité renouvelable. La mise sur pied du Laboratoire ouvert de géothermie (LOG) à l'INRS vise à améliorer notre compréhension des phénomènes de transfert de chaleur et d'écoulement d'eau souterraine afin de diminuer les risques technologiques en géothermie. Les nouveaux appareils serviront à mesurer l'impact de l'hétérogénéité du sous-sol afin de mieux modéliser les performances des systèmes géothermiques. Inspiré des logiciels libres, l'accès au laboratoire est ouvert, c.-à-d. que son utilisation est gratuite en échange du partage des données rendues disponibles en ligne.



Étude approfondie du sous-sol

Le stockage géologique du CO₂ et l'exploitation des ressources du sous-sol posent des risques pour l'environnement et les populations. Les méthodes géophysiques permettent de faire un suivi de ces activités, car elles causent un changement temporel de la distribution spatiale des propriétés des roches. Cependant, les conditions d'acquisition des données géophysiques varient d'un levé à l'autre, ce qui peut être interprété à tort comme des changements dans le sous-sol. Dans ce projet, des travaux en laboratoire et sur le terrain, des développements numériques et un logiciel basé sur la réalité virtuelle sont prévus afin d'améliorer l'efficacité des outils géophysiques et faciliter l'interprétation des résultats.



Richesses minières aux antipodes

Une meilleure compréhension des structures géologiques permet entre autres de mieux orienter les cibles de l'exploration minière. Une étude comparée est en cours entre la géologie du Québec-Labrador et celle d'une région aux antipodes, la province d'Australie-Occidentale. Les travaux de recherche incluent une cartographie des structures géologiques de la croûte profonde des cratons archéens et des orogènes protérozoïques à partir de données géophysiques dans le but d'établir leurs liens avec la minéralisation en métaux (Au, Ni-Cu-Cr-ÉGP, Fe) et avec les structures de la croûte supérieure et du manteau lithosphérique.



Grands thèmes abordés et chercheurs impliqués



EAUX SOUTERRAINES

René Lefebvre | Hydrogéologie des ressources
rene.lefebvre@ete.inrs.ca

Richard Martel | Hydrogéologie des contaminants
richard.martel@ete.inrs.ca

Claudio Paniconi | Modélisation hydrogéologique
claudio.paniconi@ete.inrs.ca

Jasmin Raymond | Géothermie et hydrogéologie
jasmin.raymond@ete.inrs.ca



ENVIRONNEMENTS GÉOLOGIQUES ET RESSOURCES NATURELLES

Lyal Harris | Géologie structurale et géophysique
lyal.harris@ete.inrs.ca

Michel Malo* | Géologie structurale
michel.malo@ete.inrs.ca

Marc Richer-Lafleche | Ressources minérales
marc.richer-lafleche@ete.inrs.ca

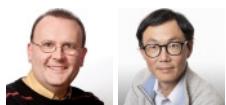
Pierre-Simon Ross | Volcanologie et géologie économique
pierre-simon.ross@ete.inrs.ca



GÉOPHYSIQUE APPLIQUÉE

Bernard Giroux | Outils géophysiques
bernard.giroux@ete.inrs.ca

Erwan Gloaguen | Géophysique et géostatistique
erwan.gloaguen@ete.inrs.ca



SÉDIMENTOLOGIE

Pierre Francus | Paléoenvironnements
pierre.francus@ete.inrs.ca

Damien Pham Van Bang** | Érosion et changements climatiques
damien.pham_van_bang@ete.inrs.ca

Quelques publications récentes

(Les noms des auteurs du Centre ETE sont en **gras**)

- **Bédard K, Comeau F-A, Raymond J, Malo M et Nasr M** (2017). Geothermal characterization of the St. Lawrence Lowlands sedimentary basin, Québec, Canada. *Natural Resources Research*, EN LIGNE. <https://doi.org/10.1007/s11053-017-9363-2>
- Boujia N, Schmidt F, Siegert D, **Pham Van Bang D** et Chevalier C (2017). Modeling of a bridge pier subjected to scour. *Procedia Engineering*, 199: 2925-2930. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.09.343>
- Islam MS, **Paniconi C** et Putti M (2017). Numerical tests of the lookup table method in solving Richards' equation for infiltration and drainage in heterogeneous soils. *Hydrology*, 4: Art. 33. <http://dx.doi.org/10.3390/hydrology4030033>
- **Nzekwe OP, Francus P, St-Onge G, Lajeunesse P, Fortin D, Gagnon-Poiré A, Philippe ÉGH et Normandeau A** (2018). Recent sedimentation in three adjacent fjord-lakes on the Québec North Shore (Eastern Canada): facies analysis, laminae preservation and potential for varve formation. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 55: 138-153. <http://dx.doi.org/10.1139/cjes-2017-0070>
- **Perozzi L, Giroux B, Schmitt DR et Gloaguen E** (2017). Sensitivity of seismic response for monitoring CO₂ math formula storage in a low porosity reservoir of the St. Lawrence Lowlands, Québec, Canada: Part 2 – Synthetic modeling. *Greenhouse Gases: Science & Technology*, 7: 613-623. <http://dx.doi.org/10.1002/ghg.1670>
- Rivard C, Bordeleau G, Lavoie D, **Lefebvre R** et Malet X (2018). Temporal variations of methane concentration and isotopic composition in groundwater of the St. Lawrence Lowlands, Eastern Canada. *Hydrogeology Journal*, 26: 533-551. <http://dx.doi.org/10.1007/s10040-017-1677-y>
- **Robert T, Martel R, Lefebvre R, Lauzon J-M et Morin A** (2017). Impact of heterogeneous properties of soil and LNAPL on surfactant-enhanced capillary desaturation. *Journal of Contaminant Hydrology*, 204: 57-65. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jconhyd.2017.07.006>
- Valentine GA, White JDL, **Ross P-S, Graettinger AH et Sonder I** (2017). Updates to concepts on phreatomagmatic maar-diatremes and their pyroclastic deposits. *Frontiers of Earth Science*, 5: Art. 68. <https://doi.org/10.3389/feart.2017.00068>

Une diversité de partenaires de recherche

- Consortium Ouranos
- Défense nationale Canada
- Électricité de France
- HPQ Silicon Resources
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec
- Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec
- Ponton Minerals

* Retraite fin 2018

** Arrivé en 2018

Nouveaux projets de l'année des équipes de recherche du Centre

ASSAINISSEMENT ET VALORISATION

Assainissement et décontamination

- Contrôle d'émissions de polluants récalcitrants et émergents présents dans les effluents gazeux et liquides (resp. Satinder Kaur Brar; financ. Ministère des Relations internationales et de la Francophonie du Québec - XVI^e Groupe de travail Québec-Mexique)
- Décontamination de la filière de bois recyclé au Canada (resp. Jean-François Blais; financ. CRSNG - Programme de l'Idée à l'Innovation; coll. G. Mercier)
- Développement de procédés d'extraction des métaux présents dans les peintures résiduelles à base d'eau (resp. Satinder Kaur Brar; financ. MITACS - Programme Accélération)
- Développement d'un procédé bio-électrochimique pour le traitement, la récupération et la réutilisation de l'azote à partir des eaux résiduaires (resp. Patrick Drogui; financ. MITACS - Programme Élévation)
- Développement d'un procédé combinant la filtration membranaire, l'électrocoagulation et l'adsorption pour traiter en vue d'une réutilisation les eaux usées de lavage de vêtements (resp. Patrick Drogui; financ. MITACS - Programme Accélération)
- Développement d'un procédé novateur de traitement des lixiviats hautement chargés issus du procédé de compostage (resp. Patrick Drogui; financ. MITACS - Programme Accélération, Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation du Québec - Programme de soutien à la recherche)
- Évaluation de la performance à l'échelle préindustrielle d'une filière de traitement d'eaux souterraines contaminées (resp. Patrick Drogui; financ. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec)
- Gestion des résidus miniers par confinement saturé (resp. Jean-François Blais; financ. Ressources naturelles Canada)
- Mélange unique enzyme-biosurfactant pour la biodégradation de sites fortement contaminés au p-xylène (resp. Satinder Kaur Brar; financ. CRSNG - Subvention de recherche et développement coopératifs, TechnoRem)
- Purification des effluents d'extraction de lithium à partir de B-spodumène par carbonatation et précipitation sélective des bicarbonates de Na/K (resp. Guy Mercier; financ. Nemaska Lithium; coll. J.-F. Blais)
- Optimisation d'un procédé de séquestration du CO₂ par des scories (resp. Guy Mercier; financ. CRSNG - Subvention de recherche et développement coopératifs, ArcelorMittal Produits longs Canada, Rio Tinto Fer; coll. L.-C. Pasquier)
- Procédés innovants utilisant des sources d'énergie renouvelable pour l'assainissement décentralisé (resp. Patrick Drogui; financ. Ministère des Relations internationales et de la Francophonie du Québec - Coopération Québec-Sénégal)
- Progamme FONCER en technologies environnementales de décontamination et gestion intégrée des eaux et effluents résiduaires (TEDGIEER) (resp. Patrick Drogui; financ. CRSNG - Programme FONCER : Formation orientée vers la nouveauté, la collaboration et l'expérience en recherche; coll. J.-F. Blais, S.K. Brar, P. Couture, A. Rousseau, R.D. Tyagi)

- Réduction des gaz à effet de serre et des contaminants émergents par un système de traitement innovateur de biofiltration et d'électrocatalyse (resp. Patrick Drogui; financ. Ministère des Relations internationales et de la Francophonie du Québec - XVI^e Groupe de travail Québec-Mexique)
- Traitement des effluents du procédé d'extraction de lithium à partir de B-spodumène (resp. Guy Mercier; financ. CRSNG - Subvention d'engagement partenarial; coll. J.-F. Blais)

Bioconversion de biomasses

- Extraction de l'eau, du savon et du glycérol du biodiesel produit dans un processus de production continue (resp. Rajeshwar Dayal Tyagi; financ. CRSNG - Subvention d'engagement partenarial)
- Plateforme avancée à base de levure oléagineuse pour la production de carburant d'appoint à partir de résidus forestiers (resp. Satinder Kaur Brar; financ. CRSNG - Subvention de projets stratégiques)
- Production de bioplastique à partir de matières résiduelles de l'industrie papetière et développement de bioproducts (resp. Rajeshwar Dayal Tyagi; financ. Consortium de recherche et innovation en bioprocédés industriels au Québec, CRSNG - Recherche et développement coopératifs, Bosk Bioproducts, Plastiques Moore, Resolute Forest Products)
- Propriétés antimicrobiennes du vinaigre de bois obtenu par pyrolyse de biomasse résineuse (resp. Satinder Kaur Brar; financ. CRSNG - Subvention d'engagement partenarial)
- Valorisation des résidus agroalimentaires-agricoles pour la production de biomolécules de haute valeur (resp. Satinder Kaur Brar; financ. Ministère des Relations internationales et de la Francophonie du Québec - Coopération Québec-Maroc)

Valorisation de résidus

- Amélioration d'un procédé de carbonatation minérale utilisant des résidus miniers de serpentine pour la réduction des émissions de CO₂ industrielles (resp. Louis-César Pasquier; financ. Sigma Devtech, Kusto Group; coll. G. Mercier)
- Développement de filières de récupération des métaux d'intérêt et terres rares présents dans les déchets électroniques et piles usagées (resp. Jean-François Blais; financ. Ministère des Relations internationales et de la Francophonie du Québec - X^e Commission mixte permanente Québec/Wallonie-Bruxelles)
- Étude du potentiel de récupération des éléments de terres rares présents dans les boues rouges issues de la production d'aluminium (resp. Jean-François Blais; financ. CRSNG - Subvention d'engagement partenarial)
- Production de silicates d'aluminium en vue d'identifier des voies de valorisation potentielles (resp. Jean-François Blais; financ. Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation du Québec - Programme de soutien à la recherche, Nemaska Lithium; coll. G. Mercier)
- Production d'un sel de métal, le MgO via la séquestration du CO₂ à la cheminée de grands émetteurs et l'expérimentation sur un prototype (resp. Guy Mercier; financ. Consortium de recherche et d'innovation en transformation métallique, ECO2 Magnesia; coll. L.-C. Pasquier)

- Valorisation des silicates d'aluminium issus de l'extraction du lithium à partir du spodumène comme ajouts cimentaires et comme matière première pour différentes industries (resp. Jean-François Blais; financ. CRSNG - Subvention d'engagement partenarial Plus, Nemaska Lithium)

BIOGÉOCHIMIE AQUATIQUE

Écotoxicologie

- Application des relations quantitatives structure des ions/activité (QICARs) aux métaux pauvres en données (resp. Claude Fortin; financ. International Zinc Association)
- Création du Regroupement pour l'écotoxicologie aquatique du Québec (RÉAQ) (resp. Patrice Couture; financ. Université du Québec - FODAR : Volet Développement institutionnel)
- Destin et effets intracellulaires d'éléments d'intérêts émergents chez les organismes vivants (resp. Claude Fortin; financ. FRQNT - Projet de recherche en équipe)
- Développement de méthodes toxicogénomiques pour évaluer la santé de la faune et la résilience des écosystèmes (resp. Valérie Langlois; financ. Environnement et Changement climatique Canada)
- Effets combinés de stresseurs naturels et anthropiques chez les poissons (resp. Patrice Couture; financ. CRSNG - Subvention à la découverte individuelle)
- Examen de la toxicité des bitumes dilués sur les poissons d'eau douce (resp. Patrice Couture; financ. Pêches et Océans Canada - Groupe national consultatif sur les contaminants; coll. N. Bergeron, V. Langlois)
- Exposition d'amphibiens à l'eau de bassins de rétention agricoles (resp. Valérie Langlois; financ. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec)
- Régulation du métabolisme des androgènes dans le développement des grenouilles (resp. Valérie Langlois; financ. CRSNG - Subvention à la découverte individuelle)
- Réponses de poissons sauvages en enclos dans un lac boréal à un déversement contrôlé de bitume dilué (resp. Valérie Langlois; financ. Pêches et Océans Canada)
- Suivi des impacts des changements climatiques dans l'Arctique en utilisant des ours polaires, la génomique et le savoir écologique traditionnel (BEARWATCH) (resp. Valérie Langlois; financ. Genome Canada et Genome Ontario)

Limnologie

- Évaluation de l'efficacité des bassins de rétention pour capter les pesticides et les nutriments dans les eaux de surface et de drainage agricole (resp. Isabelle Laurion; financ. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec)
- Évaluation de l'impact des usages et des aménagements projetés sur la qualité de l'eau de lacs (resp. Isabelle Laurion; financ. Ville de Québec; coll. A. Rousseau)
- Nouvelle approche hydrolimnologique pour quantifier la contamination provenant des eaux usées domestiques au lac St-Charles (resp. Isabelle Laurion; financ. MITACS - Programme Accélération)

HYDROLOGIE

Habitat du poisson

- Développement d'une nouvelle génération de modèles d'habitats du poisson utilisant la régression fonctionnelle et le régime thermique : application au saumon atlantique juvénile (resp. Normand Bergeron; financ. FRQNT - Projet de recherche en équipe; coll. F. Chebana, A. St-Hilaire)
- Modélisation de la température de l'eau en contexte de changements climatiques et réponse d'une population de saumons atlantiques juvéniles dans l'Est du Canada (resp. Normand Bergeron; financ. Pêches et Océans Canada - Atlantic Salmon Research Joint Venture Program)
- Utilisation d'une bouée bathymétrique autonome pour la cartographie de la taille des sédiments du lit des rivières (resp. Normand Bergeron; financ. CRSNG - Subvention d'engagement partenarial)
- Impacts des changements climatiques sur les habitats thermiques des salmonidés au Québec (resp. André St-Hilaire; financ. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec)

Hydraulique urbaine

- Analyse de l'état structural d'une conduite d'aqueduc de Saguenay (resp. Sophie Duchesne; financ. Ville de Saguenay; coll. J.-P. Villeneuve)
- Stratégies de gestion pour réduire les pertes dans les systèmes de distribution d'eau (resp. Sophie Duchesne; financ. CRSNG - Subvention d'engagement partenarial)

Hydraulique et suivi environnemental

- Comparaison des méthodes d'évaluation des débits environnementaux au Québec, dans un contexte hydrologique et climatique actuel et futur (resp. André St-Hilaire; financ. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec)
- Développement de méthodes de mise hors service des chemins à faible fréquentation (resp. Normand Bergeron; financ. CRSNG - Subvention de recherche et développement coopératifs)
- Identification d'un réseau de milieux humides contribuant à la gestion des eaux pluviales et à la réduction des solides en suspension (resp. Alain Rousseau; financ. Ville de Québec)
- Identification et justification des critères pour faire les analyses et la classification des cours d'eau selon leur sensibilité aux prélèvements d'eau (resp. André St-Hilaire; financ. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec)
- Observation et modélisation de l'évaporation nette d'un complexe hydroélectrique en milieu boréal (empreinte eau) (resp. Alain Rousseau; financ. CRSNG - Subvention de recherche et développement coopératifs)
- Révision des critères de conception des ponceaux pour des bassins de drainage de 25 km² et moins dans un contexte de changements climatiques, phase 2 (resp. Alain Mailhot; financ. Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports du Québec)

Hydrologie statistique

- Analyse approfondie de la variation spatiotemporelle de la sédimentation (resp. Taha B.M.J. Ouarda; financ. Pêches et Océans Canada)
- Impacts des réservoirs en amont sur le régime thermique des rivières (resp. André St-Hilaire; financ. New Brunswick Power Generation Corporation)
- Méthode d'ensemble en apprentissage automatique pour la prévision à long terme des inondations (resp. Fateh Chebana, financ. CRSNG - Subvention d'engagement partenarial)
- Modélisation de scénarios futurs de température de l'eau en milieu côtier et implications sur les infections potentielles par *Vibrio parahaemolyticus* et *Vibrio vulnificus* (resp. André St-Hilaire; financ. Consortium OURANOS - Vulnérabilités, Impacts et adaptation; coll. T.B.M.J. Ouarda)
- Outils d'aide à la décision sur la température en rivière (resp. André St-Hilaire; financ. NTVI Communications)

SCIENCES DE LA TERRE

Analyses par tomodensitométrie

- Amélioration d'une méthodologie d'analyse par tomodensitométrie des propriétés pétrophysiques d'un réservoir carbonaté conventionnel hétérogène (resp. Pierre Francus; financ. CRSNG - Subvention d'engagement partenarial Plus, Ressources et énergie Squatex; coll. S. Larmagnat, Commission géologique du Canada)
- Application de la tomodensitométrie pour la caractérisation d'un sol contaminé par des cendres d'incinérateur (resp. Pierre Francus; financ. CRSNG - Subvention d'engagement partenarial)
- Centre multidisciplinaire de scanographie pour les sciences naturelles, le génie, et le Nord (resp. Pierre Francus; financ. Fondation canadienne pour l'innovation - Fonds d'innovation, Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation du Québec; coll. J. Raymond)
- Reconstructions tomographiques avancées et imagerie multispectrale en tomodensitométrie : vers une caractérisation physicochimique bonifiée des matériaux en sciences de la Terre et de l'environnement (resp. Pierre Francus; financ. FRQNT - Projet de recherche en équipe)

Environnements géologiques et ressources naturelles

- Amélioration de la compréhension de la géologie profonde du secteur de St-Simon-Les-Mines et localisation d'une faille présumée détectée en 2016 en utilisant diverses méthodes (resp. Marc Richer-Laflèche; financ. HPQ Silicon Resources)
- Géochimie, pétrogenèse, géochronologie du volcanisme et des roches sédimentaires de la partie sud-ouest de la sous-province de Pontiac (Témiscamingue) (resp. Marc Richer-Laflèche; financ. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec)
- Levés audiomagnétotelluriques, levé CSEM et mesures gravimétriques dans la région de Rouyn-Noranda (resp. Marc Richer-Laflèche; financ. Ressources Falco)
- Modèle géologique 3D de surface de la région du Bas-St-Laurent (resp. René Lefebvre; financ. Ressources naturelles Canada)
- Structures et modèles tectoniques des orogènes protérozoïques en Australie-Occidentale et au Québec et Labrador (resp. Lyal Harris; coll. B. Giroux; coll. ext. C. Guilmotte, U. Laval, N. Timms, Australie)
- Structures profondes dans le craton du Pilbara, Australie-Occidentale, et leur rapport avec la déformation diapirique, la minéralisation et la mise en place de kimberlites (resp. Lyal Harris; coll. ext. Y.-J. Lu, Australie)

Géophysique

- Auscultation des dalles de tablier de pont en béton armé par géoradar (resp. Bernard Giroux; financ. EnGlobe)
- Développement d'un système de diagnostic pour la maintenance des ouvrages du génie civil (resp. Bernard Giroux; financ. MITACS - Programme Accélération, SETEC Canada)
- Développement d'une approche intégrée *in situ* par auscultation géophysique du traitement par stabilisation et solidification des sols contaminés (resp. Erwan Gloaguen; financ. CRSNG - Subvention d'engagement partenarial; coll. B. Giroux, R. Lefebvre)
- Développement d'une méthodologie de caractérisation des aquifères côtiers (resp. Erwan Gloaguen; financ. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec - Plan d'action sur les changements climatiques 2013-2020; coll. B. Giroux, R. Lefebvre, R. Martel)
- Développement méthodologique pour la caractérisation hydrogéophysique de l'île de Grande Entrée, îles de la Madeleine (resp. Erwan Gloaguen; financ. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec; coll. B. Giroux, R. Lefebvre, R. Martel)
- Monitoring géophysique des processus induits en sous-surface par l'activité anthropique (resp. Bernard Giroux; financ. CRSNG - Subvention à la découverte individuelle et supplément d'accélération)
- Traitement en temps réel de données magnétotelluriques (resp. Bernard Giroux; financ. Phoenix Geophysics)

Géothermie

- Analyser le comportement d'un nouvel échangeur géothermique afin de le commercialiser (resp. Jasmin Raymond; financ. BF Recycle)
- Cartographie du potentiel des pompes à chaleur géothermique dans les Basses-terres du Saint-Laurent (resp. Jasmin Raymond; financ. CRSNG - Subvention d'engagement partenarial; coll. E. Gloaguen, M. Malo)
- Création du Laboratoire ouvert de géothermie (resp. Jasmin Raymond; financ. Fondation canadienne pour l'innovation - Fonds des leaders John-R.-Evans, Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation du Québec)
- Évaluation des ressources géothermiques des bassins sédimentaires du sud du Québec : première étape vers un projet de démonstration (resp. Michel Malo; financ. FRQNT - Projet de recherche en équipe; coll. E. Gloaguen, J. Raymond)
- Évaluation du potentiel géothermique face à la production agricole au nord du Québec et en Italie (resp. Jasmin Raymond; financ. Ministère des Relations internationales et de la Francophonie du Québec - Coopération Québec-Italie; coll. E. Gloaguen)
- Évaluation *in situ* des performances des échangeurs de chaleur souterraine avec tuyaux GeoperformX (resp. Jasmin Raymond; financ. MITACS - Programme Accélération)
- Nouvelle conception d'échangeur de chaleur géothermique sans coulis et avec double tube en U inspirée des techniques d'aménagement en Suède (resp. Jasmin Raymond; financ. CRSNG - Subvention d'engagement partenarial; coll. R. Lefebvre)
- Potentiel d'écoulement des réservoirs géothermiques profonds dans le socle (resp. Jasmin Raymond; financ. FRQNT - Établissement de nouveaux chercheurs)
- Revue de la littérature scientifique et des réglementations sur les normes relatives au système de géothermie concernant la protection des prélèvements d'eau (resp. Jasmin Raymond; financ. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec)

Hydrogéologie

- Caractérisation des conditions hydrogéologiques d'un site d'enfouissement technique (resp. René Lefebvre; financ. Municipalité régionale de comté de Bellechasse)
- Caractérisation et modélisation de l'hétérogénéité dans les systèmes aquifères locaux et régionaux (resp. René Lefebvre; financ. CRSNG - Subvention à la découverte individuelle)
- Caractérisation et suivi du système de pompage et traitement de l'aquifère de Valcartier (resp. René Lefebvre; financ. Défense nationale Canada)
- Indicateurs de l'état des ressources en eau souterraine sous l'effet du climat et de leur exploitation (resp. René Lefebvre; financ. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec; coll. A. St-Hilaire)
- Modélisation inverse par couplage optimisation-simulation pour définir les zones sources à l'origine d'une contamination des eaux souterraines du Québec et évaluer leur réhabilitation (resp. Richard Martel; financ. FRQNT - Projet de recherche en équipe)
- PACES Estrie : Acquisition de connaissances sur les eaux souterraines dans la région de l'Estrie (resp. René Lefebvre; financ. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec)
- Projet RADEAU 2 : Estimation de la recharge des nappes dans les régions des Laurentides et de Laval (resp. René Lefebvre; financ. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec - Programme PrimeVERT)
- Site des anciennes lagunes de Mercier : mise à jour du rapport R-914 (2007) et structuration des efforts de recherche (resp. Richard Martel; financ. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec)

TÉLÉDÉTECTION ENVIRONNEMENTALE

- Cartographie en ligne des inondations au Québec (CLIQ) - Phase 2 (resp. Karem Chokmani; financ. Ministère de la Sécurité publique du Québec)
- Détection des émissions de méthane sur des sites d'enfouissement sanitaire ou technique par imagerie infrarouge thermique acquise par drone (resp. Karem Chokmani; financ. CRSNG - Subvention d'engagement partenarial)
- Détection et quantification d'émissions surfaciques de méthane des lieux d'enfouissement sanitaire par voie aéroportée (resp. Karem Chokmani; financ. MITACS - Programme Accélération, Telops)
- Détection hyperspectrale aéroportée des émissions de méthane par les systèmes aquatiques (resp. Isabelle Laurion; financ. CRSNG - Subvention d'engagement partenarial, MITACS - Programme Accélération, Telops)
- Développement d'approches analytiques pour le suivi de fuites d'oléoducs à l'aide de données ouvertes de satellites d'observation de la Terre (resp. Monique Bernier; financ. CRSNG - Subvention d'engagement partenarial)
- Dispositif d'alerte et de vigilance pour les embâcles de glace (DAVE) (resp. Karem Chokmani; financ. Ressources naturelles Canada, Recherche et développement pour la défense Canada - Programme canadien pour la sûreté et la sécurité; coll. M. Bernier)
- Estimation de la superficie ayant été cultivée au moins une fois sur le territoire visé par les annexes II, III et V du Règlement (resp. Karem Chokmani; financ. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec)
- Étude de la relation entre les données d'imagerie thermique acquises par drone et des indicateurs agrométéorologiques de stress hydrique dans la culture de pommes de terre (resp. Karem Chokmani; financ. MITACS - Programme Accélération, Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation du Québec - Programme de soutien à la recherche, Institut de recherche et de développement en agroenvironnement)
- Valorisation et diffusion des informations environnementales du réseau CAIMAN (Caméras aux infrastructures maritimes du Nunavik) (resp. Monique Bernier; financ. Savoir polaire Canada, Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports du Québec)

Les publications

Publications scientifiques

La liste annuelle des publications et communications scientifiques des chercheurs du Centre peut être consultée en ligne :

www.ete.inrs.ca/ete/publications#rapports_annuels

La majorité des rapports de recherche, des mémoires et des thèses du Centre sont disponibles en ligne : espace.inrs.ca

Revue des Sciences de l'eau

www.rse.inrs.ca

Revue électronique internationale éditée conjointement avec le Groupement d'intérêt scientifique des sciences de l'eau (France). Disponible sur la plateforme [Érudit](#).



| Congrès SGA Québec 2017 (© photo@louiseleblanc.ca).

L'excellence de la recherche

Plusieurs membres du Centre ont reçu cette année des distinctions soulignant l'excellence de leurs travaux de recherche ou la qualité de leurs communications scientifiques.

En mai 2017, deux étudiants ont été lauréats du concours vidéo de l'Université du Québec dans la catégorie cycles supérieurs. Le doctorant Yohann Chiu a remporté le prix individuel alors que Louise-Emmanuelle Paris, étudiante à la maîtrise, a gagné un prix par équipe. Cette étudiante s'est illustrée une seconde fois en remportant le prix de vulgarisation de la recherche de l'ACFAS lors de la *Journée de la relève en recherche* en septembre.

Encore en mai, Catherine Vaillancourt, étudiante à la maîtrise dans l'équipe de Sophie Duchesne, a remporté le prix de la meilleure présentation orale lors du colloque *La recherche en hydrologie au Québec*.

En juin, au congrès international *Sommet 2017 - Observation de la Terre*, deux doctorantes se sont illustrées. Claudie Ratté-Fortin, de l'équipe de Karem Chokmani et d'Isabelle Laurion, a obtenu le prix de la meilleure affiche. Sophie Dufour-Beauséjour, de l'équipe de Monique Bernier, a reçu le prix de la meilleure présentation orale étudiante.

Aussi en juin, François Lapointe, doctorant dans l'équipe de Pierre Francus, a été l'un des six lauréats du concours *Mon projet nordique* de l'Institut nordique du Québec, ce qui lui a valu une invitation à la grande finale internationale en Islande.

Marie-Ève Jean, doctorante dans l'équipe de Sophie Duchesne, s'est illustrée à deux reprises en cours d'année. Elle a obtenu une des prestigieuses bourses d'études supérieures du Canada Vanier. Elle a également reçu le prix Ressources naturelles lors de la remise des prix de la relève de l'ACFAS en septembre.

En novembre, Maikel Rosabal, diplômé au doctorat de l'équipe de Landis Hare, s'est mérité le prestigieux prix *SETAC/ICA Chris Lee Award for Metals Research* qui souligne la contribution des travaux d'un jeune chercheur sur les effets des métaux dans l'environnement.

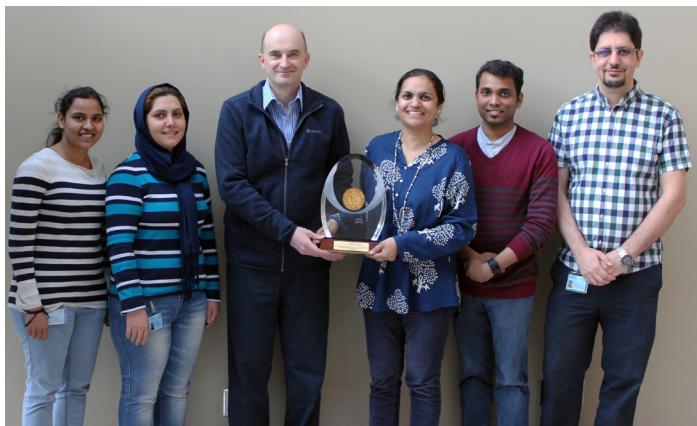
Enfin, au printemps, lors de la collation des grades 2017-2018 de l'INRS, plusieurs diplômés du Centre se sont distingués :

- Prix pour la meilleure thèse de doctorat : François Clayer en sciences de la Terre sous la direction de Charles Gobeil. Il a également remporté le prix du leadership étudiant.
- Prix pour le meilleur mémoire de maîtrise : Pierre-Marc Constantin en sciences de l'eau sous la direction de Normand Bergeron.
- Prix pour l'innovation : Nathalie Schnitzler, diplômée de la maîtrise en sciences de la Terre, pour le développement d'une méthode statistique innovante dans le secteur minier.
- Prix du rayonnement international : Pascal Castellazzi, diplômé du doctorat en sciences de la Terre.

Les professeurs du Centre ne sont pas en reste, plusieurs ayant reçu des reconnaissances prestigieuses en cours d'année.

Le professeur Rajeshwar Dayal Tyagi a reçu le prix *Outstanding Scientist Award* décerné par l'International Bioprocessing Association qui reconnaît sa contribution exceptionnelle dans le domaine de la biotechnologie environnementale.

La professeure Satinder Kaur Brar a remporté pour sa part le *Grand Prize - University Research* de l'American Academy of Environmental Engineers and Scientists (AAEES). Elle a aussi été reçue au Cercle d'excellence de l'Université du Québec. Ces deux distinctions soulignaient sa contribution scientifique dans le domaine des biotechnologies et des contaminants émergents dans l'eau.



Prix de l'AAEES obtenu par la professeure Satinder Kaur Brar (au centre) entourée de son équipe et du directeur du Centre, Jean-François Blais (à sa gauche).

Le professeur Michel Malo a reçu la plus haute distinction accordée par l'Ordre des géologues du Québec, le prix Grand mérite Côme-Carboneau 2017.

Lors de la remise des prix Planète de l'INRS, les professeurs Jasmin Raymond, Bernard Giroux, Erwan Gloaguen, Marc Richer-Laflèche, Michel Malo, René Lefebvre et Richard Martel ont remporté le prix Réalisation d'excellence en enseignement.

Enfin, l'INRS a accordé le titre de professeur émérite au professeur Peter G.C. Campbell, un expert mondial en écotoxicologie et en biogéochimie.

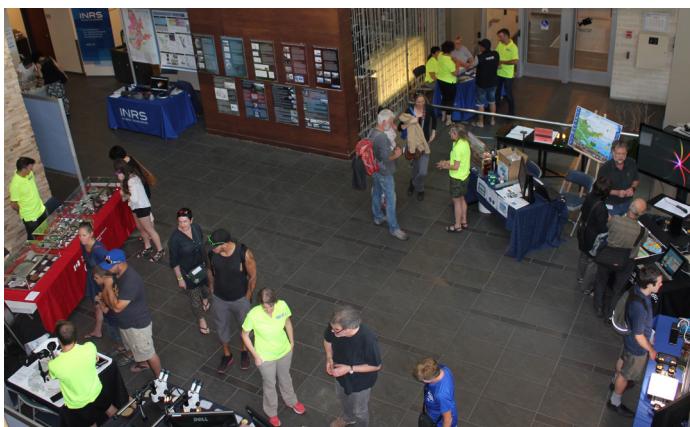
L'effort de vulgarisation

De façon régulière, les membres du Centre donnent des entrevues et contribuent à des articles dans les médias (presse écrite, radio, télévision, Internet) dans leur domaine de spécialité.

Chez les professeurs, Satinder Kaur Brar a été nommée personnalité de la semaine *Le Soleil/Radio-Canada* et a été mise de l'avant dans ces médias suite à l'obtention du prix de l'AAEES susmentionné. De plus, un article publié dans une revue scientifique sur sa découverte d'une enzyme issue d'une bactérie qui décontamine les sols pollués aux hydrocarbures a fait grand bruit dans plusieurs médias à travers le monde.

Chez les étudiants, les travaux du doctorant Pascal Castellazzi sur l'approvisionnement en eau souterraine au Mexique ont été retenus dans la publication annuelle de la NASA intitulée *Sensing Our Planet - NASA Earth Science Research Features 2017*.

Sur le plan des activités de vulgarisation, l'année a été particulièrement riche. Les portes ouvertes sur la recherche organisées par le Centre géoscientifique de Québec les 15-16 septembre 2017 dans le cadre du 175^e anniversaire de la Commission géologique du Canada ont connu un franc succès attirant près de 200 écoliers du primaire et autant de personnes du grand public.



Visiteurs aux kiosques des portes ouvertes sur la recherche du CGQ le 16 septembre 2017.

En novembre, les étudiants du Centre ont organisé leur congrès scientifique sous le thème « Un environnement : plusieurs visions ». Une vingtaine de présentations orales et une quinzaine d'affiches étaient au menu en plus de conférenciers invités et d'une table ronde.

L'hiver 2018 a été bien rempli avec trois événements auxquels les étudiants ont participé. Le 24 février avait lieu la journée *Les filles et les sciences* visant à faire connaître aux adolescentes de la région les professions scientifiques et technologiques. Le 7 mars, une visite pour faire découvrir aux étudiants d'autres universités la recherche étudiante et les laboratoires du Centre a été organisée. Le 14 mars avait lieu la finale institutionnelle du concours *Ma thèse en 180 secondes/Three Minute Thesis* dans lequel les doctorants doivent relever le défi de présenter leur thèse en 3 min top chrono. Danielle Frechette, doctorante dans l'équipe de Normand Bergeron, s'est classée en deuxième position de la finale anglaise.

Les programmes d'études

www.ete.inrs.ca/ete/etudier/programmes

Des programmes de 2^e et 3^e cycles en sciences de l'eau et de la Terre sont offerts au Centre. La maîtrise en sciences de l'eau est un programme exclusif à l'INRS au Québec.

Les programmes en sciences de la Terre sont offerts en collaboration avec l'Université Laval. De plus, le Centre Eau Terre Environnement et la Commission géologique du Canada (CGC-Québec) sont partenaires d'une collaboration scientifique appelée Centre géoscientifique de Québec. Les chercheurs de la CGC sont ainsi professeurs associés à l'INRS et peuvent diriger des mémoires et des thèses. Ces deux collaborations en sciences de la Terre bonifient l'offre de cours et de domaines de recherche.

Trois parcours de bachelierat sont également offerts en collaboration avec deux universités françaises et un institut marocain.

Deuxième cycle

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

Cheminements bachelierat

- Maîtrise en sciences de l'eau INRS – ISHÉDD (Institut supérieur des hautes études en développement durable)
- Maîtrise en écotoxicologie aquatique INRS – Université de Bordeaux
- Maîtrise en géoingénierie et environnement INRS – Université de Rennes 1

Troisième cycle

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



| Provenance des étudiants du Centre à l'automne 2017.

Les stages

Le Centre Eau Terre Environnement encourage la venue de stagiaires postdoctoraux pour l'enrichissement de ses équipes de recherche. Des bourses postdoctorales de l'INRS sont disponibles. De plus, chaque été, les équipes de recherche du Centre accueillent des étudiants du premier cycle universitaire pour un stage, une façon stimulante pour les étudiants d'acquérir une expérience en recherche tout en contribuant à l'avancement d'un projet en cours.

Stages postdoctoraux à l'INRS :

www.inrs.ca/etudier/stages-postdoctoraux

Stages d'été au Centre :

www.stages.ete.inrs.ca

Professeurs-chercheurs

Yves Bégin*
 Normand E. Bergeron
 Monique Bernier
 Jean-François Blais
 Satinder Kaur Brar
 Fateh Chebana
 Karem Chokmani
 Jérôme Comte**
 Patrice Couture
 Patrick Drogui
 Sophie Duchesne
 Claude Fortin
 Pierre Francus
 Bernard Giroux
 Erwan Gloaguen
 Landis Hare
 Lyal Harris
 Valérie Langlois**
 Isabelle Laurion
 Isabelle Lavoie**
 René Lefebvre
 Alain Mailhot
 Michel Malo
 Richard Martel
 Guy Mercier
 Taha B.M.J. Ouarda
 Claudio Paniconi
 Louis-César Pasquier**
 Damien Pham Van Bang**
 Jasmin Raymond
 Marc Richer-Laflèche
 Pierre-Simon Ross
 Alain N. Rousseau
 Yves Secretan
 André St-Hilaire
 Rajeshwar Dayal Tyagi
 Jean-Pierre Villeneuve

Professeurs émérites

Bernard Bobée
 Peter G.C. Campbell
 Georges Drapeau

Professeurs honoraires

Mario Bergeron
 Charles Gobeil*
 Yves Gratton*
 Pierre Lafrance
 André Tessier

Professeurs associés

Aïcha Achab (retraitée), INRS
 Jason M.E. Ahad, Commission géologique du Canada, bureau de Québec (CGC-Québec)
 Patrick Athéba, INRS
 Jean-Christian Auclair, INRS
 Antonio Avalos Ramirez, Centre national en électrochimie et en technologies environnementales (CNETE)
 Simon Barnabé, UQTR
 Jean H. Bédard, CGC-Québec
 Christian Bégin, CGC-Québec
 Simon Besner, Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ)
 Daniela Blessent, Universidad de Medellín (Colombie)
 Marie-Amélie Boucher, UQAC
 Gérardo Buelna, Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ)
 Daniel Caissie, Pêches et Océans Canada
 Athyna Cambouris, Agriculture et Agroalimentaire Canada
 Céline Campagna, Institut national de la santé publique du Québec (INSPQ)
 Sébastien Castonguay, CGC-Québec
 Maximiliano Cledon, Centre of Applied Research and Technological Transfer (CIMAS, Argentine)
 Louise Corriveau, CGC-Québec
 Lucie Coudert, UQAT
 Catherine Couillard, Pêches et Océans Canada
 Simon Courtenay, University of Waterloo
 Jean-Pierre Dedieu, Centre national de la recherche scientifique (CNRS, France)
 Mélanie Desrosiers, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec (MDDELCC)
 Gregory Dipple, University of British Columbia
 Bernard Doyon, Cégep F.X. Garneau
 Benoît Dubé, CGC-Québec
 Mathieu J. Duchesne, CGC-Québec
 Salah-Eddine El Adlouni, Université de Moncton
 Amro M. Farid, Thayer School of Engineering at Dartmouth (É.-U.)
 Anne-Catherine Favre, Institut national polytechnique de Grenoble (France)
 Jean-Pierre Fortin,
 Jaime Max Gárfias Soliz, Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA, Mexique)
 Pierre Gosselin, INSPQ
 Nicolas Gruyer, MDDELCC
 Carl Guilmette, Université Laval
 Sylvio J. Gumiere, Université Laval
 Yasser Hamdi, Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN, France)
 Alexis Hannart, Institut Franco-Argentin d'études sur le climat et ses impacts, CNRS (Argentine)
 Michel Houlé, CGC-Québec
 David Huard, Consortium Ouranos
 Amélie Janin, Yukon Research Centre
 Sandra Kentish, University of Melbourne (Australie)
 Azadeh Kermanshahi, Dalhousie University
 Inas Khayal, The Dartmouth Institute (É.-U.)
 Andreas Langousis, Masdar Institute of Science and Technology (Émirats Arabes Unis)
 Isabelle Larocque, The L.A.K.E.S Institute (Suisse)
 Denis Lavoie, CGC-Québec
 Yann Le Bihan, CRIQ
 Séverine Le Faucheur, Université de Genève (Suisse)
 Céline Le Pichon, Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA, France)
 Michel Leclerc, INRS
 Sinh Lequoc, INRS
 Philippe Maillard, Universidade Federal de Minas Gerais (Brésil)
 Yvon Maranda (retraité), MDDELCC

* Retraite en cours d'année

** Arrivé en cours d'année

Prashanth Marpu, Masdar Institute of Science and Technology
(Émirats Arabes Unis)
Patrick Mercier-Langevin, CGC-Québec
Yves Michaud, CGC-Québec
Marie Mirville, IREQ
Annalisa Molini, Masdar Institute of Science and Technology
(Émirats Arabes Unis)
Jean-Louis Morel, Université de Lorraine (France)
Jean Morin, Environnement et Changement climatique Canada
Miroslav B. Nastev, CGC-Québec
Carmen Neculita, UQAT
Michel A. Parent, CGC-Québec
Geneviève Pelletier, Université Laval
Didier Perret, CGC-Québec
Reinhard Pienitz, Université Laval
Nicolas Pinet, CGC-Québec
Monique Poulin, Université Laval
Milla Rautio, UQAC
Nicolas Reynier, Ressources naturelles Canada
John F. V. Riva, INRS
Christine Rivard, CGC-Québec
Alfonso Rivera, CGC-Québec
Maïkel Rosabal Rodriguez, UQAM
René Roy, Consortium Ouranos
Fabiola Sandoval Savas, Instituto Tecnológico Superior de Perote
(ITSPE, Mexique)
Martine M. Savard, CGC-Québec
Marie-Odile Simonnot, Université de Lorraine (France)
Alain Soucy, INRS
Rao Y. Surampalli, Global Institute for Energy, Environment and
Sustainability (GIEES, É.-U.)
Sonia Thiboutot, Recherche et développement pour la défense -
Centre de recherches de Valcartier
Gaëlle Triffault, MDDELCC
Richard Turcotte, MDDELCC
Fathiha Zidane Busson (retraitée), Université Hassan II (Maroc)

Professeurs et chercheurs invités

Olivier Blein, Bureau de recherches géologiques et minières
(BRGM, France)
Pierre Brigode, Université Nice Sophia Antipolis (France)
Raoul-Marie Couture, Norwegian Institute for Water Research
(Norvège)
Sylvie Daniel, Université Laval
Philippe Després, Université Laval
Chrystel Dezayes, BRGM (France)
Mélanie Dionne, Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du
Québec
Daniel Fortier, Université de Montréal
Philippe Gachon, UQAM
Soizic Morin, IRSTEA (France)
André Poirier, GEOTOP, UQAM
José R. Valéro (retraité), Service canadien des forêts
Warwick F. Vincent, Université Laval

La réalisation de la mission de formation et de recherche appliquée du Centre Eau Terre Environnement de l'INRS se fait grâce à l'expertise de haut niveau détenue par ses professeurs-chercheurs ainsi que par le biais de laboratoires, d'installations et d'équipements spécialisés dédiés à l'innovation.

Les principales infrastructures du Centre comprennent des laboratoires de recherche modernes, des laboratoires à grande échelle, des infrastructures mobiles, ainsi qu'une station de recherche en milieu naturel.



Édifice INRS au centre-ville de Québec

Les **laboratoires pour l'innovation scientifique et technologique en environnement (LISTE)** sont situés au Parc technologique du Québec métropolitain. Ils servent, entre autres, à la mise à l'échelle des technologies développées en partenariat avec les entreprises.

Le Centre dispose également d'**infrastructures mobiles** permettant de réaliser sur le terrain des travaux spécialisés de décontamination environnementale, d'hydrogéologie et d'analyse géologique.

La **station de recherche CIRSA**, située à Sacré-Cœur au Saguenay près de l'embouchure de la rivière Sainte-Marguerite, 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.

L'ensemble de ces infrastructures appuie la recherche fondamentale et appliquée liée à l'hydrologie, les sciences de la Terre, la biogéochimie aquatique, ainsi qu'à l'assainissement et à la valorisation des matières résiduelles.

Ces outils d'innovation et l'expertise qui y est associée sont accessibles aux entreprises et aux agences par le biais de projets de recherche en collaboration orientés vers leurs besoins spécifiques. Le Centre offre ainsi l'opportunité aux acteurs de l'activité économique et aux organismes législateurs de contribuer à l'amélioration des connaissances tout en servant leur mission respective et en s'appropriant le savoir.

Les **laboratoires de recherche** sont localisés sur le campus urbain de l'Université du Québec au centre-ville de Québec. Ils comprennent un laboratoire général et plusieurs laboratoires spécialisés ainsi que des salles de microscopie et de préparation des échantillons. Le Centre dispose notamment d'une salle blanche de classe 1000 incluant un espace de travail de classe 100 et de salles environnementales pour des expériences à température contrôlée. On retrouve dans ces laboratoires 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.



Laboratoires LISTE au parc technologique



Station de recherche CIRSA au Saguenay

POUR EN SAVOIR PLUS, Veuillez contacter : **Carole Parent**, agent de valorisation, carole.parent@ete.inrs.ca, 418 654-2531

LABORATOIRES DE RECHERCHE

Ces laboratoires permettent d'analyser des échantillons d'eau par colorimétrie, fluorométrie, spectroscopie, radioisotopie et chromatographie, ainsi que d'analyser les composés organiques et les métaux traces présents dans différentes matrices (eau, effluents, boues d'épuration, sols, sédiments, tissus biologiques), et enfin, d'analyser les éléments présents dans des échantillons solides (roches, sols, sédiments, boues).

RESPONSABLE DES LABORATOIRES :
Stéfane Prémont, stefane.premont@ete.inrs.ca

Scanographie par microfluorescence X

Analyses non destructives par radiographie couplées à l'analyse chimique par microfluorescence X de roches, de sols et de sédiments

L'**ITRAX Core Scanner** permet l'acquisition à très haute résolution (100 µm) de la composition chimique d'échantillons solides sans prélèvement. L'instrument utilise la microfluorescence X (XRF) qui permet la mesure de la plupart des éléments allant de l'aluminium à l'uranium. La configuration du système permet d'analyser des demi-carottes et *U-channels* de 1,8 m de long, des roches, des déblais de forage et d'autres matériaux fins. Ces analyses sont accompagnées d'une radiographie et d'une photographie de l'échantillon à très haute résolution. Il est également possible d'effectuer des mesures de la susceptibilité magnétique.

Une des applications est la reconstitution, à diverses échelles temporelles, du climat du passé de régions peu documentées à partir de l'analyse de sédiments lacustres et marins.



| Scanographe de microfluorescence X (ITRAX)

Microscopie électronique à balayage

Production d'images en haute résolution de la surface et de la composition d'un échantillon à l'aide d'une technologie utilisant les interactions électrons-matière

Le microscope électronique à balayage (MEB) **Zeiss EVO® 50** permet d'obtenir des images de la surface de matériaux solides à des grossissements allant de 100 X à 60 000 X. Le MEB est équipé de trois types de détecteurs pour différentes applications: caractérisation morphologique (détecteurs d'électrons secondaires), densité atomique des phases et granulométrie (détecteurs à électrons rétrodiffusés), analyse ponctuelle de la composition chimique et affichage des éléments par cartographie (détecteur à rayons X). Le MEB peut fonctionner en pression contrôlée permettant l'observation d'échantillons sans métallisation préalable.



| Microscope électronique à balayage (MEB)

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE:
Pierre Francus, pierre.francus@ete.inrs.ca

ete.inrs.ca/giras
ete.inrs.ca/meb

Biogéochimie aquatique et limnologie

Analyse des métaux traces dans des échantillons liquides ou solides (tissus biologiques, matières en suspension, sédiments, sols) et analyse bio-optique

Les recherches portent sur le cheminement des métaux toxiques dans la chaîne alimentaire, la biodisponibilité des contaminants, les impacts des activités anthropiques et l'évaluation de la sensibilité du milieu naturel. Les principaux équipements sont les suivants :

- Compteurs de particules et de radioactivité (émissions bêta et gamma)
- Spectromètres d'émission atomique et de masse par plasma à couplage inductif (ICP-AES et ICP-MS)
- Appareils de chromatographie liquide, gazeuse et ionique (HPLC, LC-MS-MS, GC, GC-MS)
- ICP-MS couplé à un HPLC
- Analyseur de mercure



| Appareil de chromatographie en phase gazeuse

Les travaux en limnologie visent à évaluer les effets des changements climatiques sur la dynamique de mélange et la transparence de l'eau en milieu lacustre, et leur interaction avec le réseau alimentaire microbien. La bio-optique permet de caractériser et dénombrer les petites particules (bactéries, picophytoplancton), faire le suivi *in situ* des microorganismes possédant une fluorescence naturelle, décrire leur morphométrie et leur taxonomie et étudier leur physiologie.

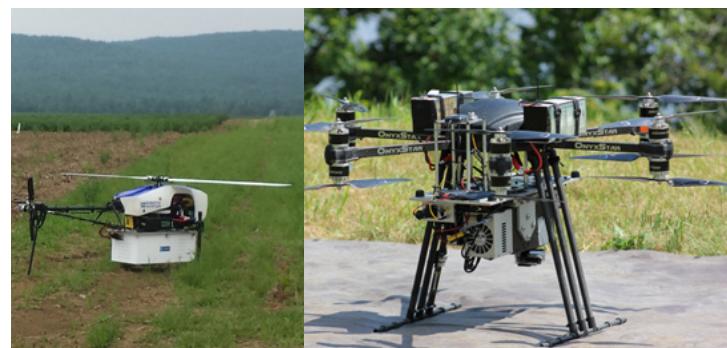
RESPONSABLE DU LABORATOIRE :

Stéfane Prémont, stefane.premont@ete.inrs.ca

Télédétection appliquée

Traitement et analyse d'images d'observation de la terre en vue de cartographier et de modéliser des phénomènes environnementaux dans un contexte de changements climatiques

L'équipe de recherche en Télédétection Environnementale et NORDique (TENOR) travaille au développement et à l'application d'approches numériques et à l'élaboration d'outils d'analyse et d'aide à la décision applicables à divers contextes en faisant appel notamment à l'hydro-informatique, la géomatique et la télédétection. Les domaines d'expertise principaux sont la modélisation de l'aléa et la gestion du risque, le suivi environnemental en milieu nordique et éloigné, le suivi de la qualité des eaux de surface, l'estimation stochastique des variables hydrologiques, l'agriculture de précision et la géomatique agricole, l'utilisation des drones pour le suivi environnemental, le développement d'outils pédagogiques en sciences, l'instrumentation et les mesures de terrain.



| Drones de types hélicoptère et multirotor du laboratoire TED

Au sein de l'équipe, le laboratoire de Télédétection Environnementale par Drones (TED) comprend différents types de drones et une large gamme de capteurs : deux caméras hyperspectrales (400-1700 nm), une caméra infrarouge thermique, une caméra multispectrale à filtres interchangeables et un appareil photo numérique. L'équipe TENOR dispose également d'un laboratoire informatique équipé de logiciels spécialisés en traitement d'images et en géomatique, ainsi que l'instrumentation terrain (géoradar, carottiers de neige et de glace, capteurs hydrométéorologiques, etc.) nécessaire au développement et à la validation des algorithmes.

RESPONSABLES SCIENTIFIQUES :

Équipe TENOR : **Monique Bernier**, monique.bernier@ete.inrs.ca

Équipe TENOR et laboratoire TED : **Karem Chokmani**, karem.chokmani@ete.inrs.ca

Géothermie

Améliorer la compréhension des phénomènes souterrains de transfert de chaleur et d'écoulement pour diminuer les risques technologiques

Le laboratoire sert à mesurer les propriétés thermiques et hydrauliques des matériaux géologiques. Il comprend un scanner infrarouge, un compteur de flux de chaleur, un perméamètre et porosimètre combiné et des appareils de coupe spécialisés. Ces équipements sont complémentaires au tomodensitomètre de l'INRS et peuvent être mis en commun pour combiner les techniques de scanographie infrarouge et aux rayons X, une première pour un laboratoire en géothermie.

Les nouvelles connaissances serviront entre autres à valoriser les environnements favorables aux systèmes géothermiques superficiels et profonds, améliorer la conception des composantes souterraines des systèmes géothermiques et développer des technologies géothermiques plus compétitives.

L'accès au laboratoire est géré dans un mode ouvert, inspiré des logiciels libres. L'utilisateur peut effectuer lui-même ses analyses gratuitement en échange d'une divulgation de ses résultats qui seront consignés dans une base de données disponible sur le web.



| Une partie des équipements du laboratoire ouvert de géothermie

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE :

Jasmin Raymond, jasmin.raymond@ete.inrs.ca

log.ete.inrs.ca

GESTIONNAIRE :

Félix-Antoine Comeau, felix-antoine.comeau@ete.inrs.ca

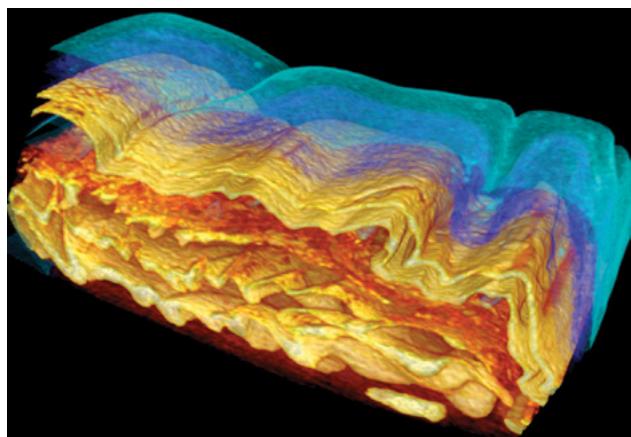
Géodynamique

Orientation des efforts de prospection minière et pétrolière par l'interprétation structurale et tectonique des données géophysiques et de terrain, ainsi que par la simulation de processus géologiques

Les études de terrain et le traitement avancé des données de géophysique et de télédétection combinés à des simulations physiques basées sur ces informations permettent d'interpréter la géométrie et l'évolution des structures géologiques ainsi que de déterminer les contrôles structuraux et tectoniques des gîtes minéralisés et des pièges à pétrole. La tomodensitométrie permet d'observer la déformation progressive des modèles physiques de simulation. Les recherches portent également sur des aspects fondamentaux de la tectonique ancienne de la Terre et d'autres planètes.

Les principaux équipements sont les suivants :

- Centrifugeuse d'accélération élevée (1000 g) permettant la mise à l'échelle de déformation de modèles en pâte à modeler et en mastic de silicone pour simuler la déformation ductile des roches et le diapirisme.
- Bacs à sable permettant de réaliser des déformations à contrainte et vitesse contrôlées pour simuler la déformation fragile ou fragile-ductile des roches, les effets des structures et hétérogénéités lithologiques. Les calculs de la déformation fine sont réalisés par imagerie PIV (StrainMaster, LaVision).
- Stations de travail équipées d'écrans interactifs et de logiciels spécialisés pour le traitement des données géophysiques (Oasis Montaj, Geosoft), l'analyse géotechnique en 2D (UDEC 5.0, Itasca) et la reconstruction en 3D (GOCAD, Gocad Research Group).



| Image en 3D d'un modèle de plissement durant l'écoulement canalisé

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE :

Lyal Harris, lyal.harris@ete.inrs.ca

LABORATOIRES POUR L'INNOVATION SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE EN ENVIRONNEMENT

Ces laboratoires regroupent des équipements plus imposants qui ne cadrent pas avec des laboratoires de recherche traditionnels ainsi que des unités préindustrielles de recherche appliquée demandant un environnement de travail plus robuste.

Hydraulique environnementale

Simulation dans un canal de grande dimension de houles, marées et courants de rivières à fort débit dans le but de développer des approches durables de gestion du littoral

Ce canal hydraulique multifonctionnel intègre marées et courants. Sa grande taille permet de faire des simulations à des échelles 1:5 jusqu'à 1:1 selon les processus.

Il offre un riche potentiel d'applications, par exemple pour :

- Modéliser le profil d'équilibre des plages
- Modéliser la sédimentation dans les ports et les marinas
- Étudier l'interaction des courants et des vagues sur les structures près des côtes et en mer
- Modéliser les dépassements et débordements sur les littoraux causés par la hausse du niveau marin
- Simuler l'effet des marées sur les aménagements portuaires
- Simuler l'effet des glaces sur les rives en présence de houle et de courants
- Modéliser la diffusion des polluants dans des systèmes hydrauliques complexes
- Concevoir des aménagements ou solutions douces de protection des côtes

D'une **longueur de 120 m**, d'une **largeur** et d'une **profondeur de 5 m**, le canal est muni d'un portique de levage de 10 tonnes en plus des éléments suivants :

- Batteur pour simuler différentes houles
- Atténuateur en enrochements
- Système de vidange et de remplissage connecté à un réservoir de 3500 m³ pour simuler des marées
- Système bidirectionnel de circulation d'eau pouvant atteindre un débit de 5 m³/s généré par un propulseur
- Série de 13 supports multifonctionnels pour instruments de mesure (vitesse d'écoulement, turbidité, topographie, etc.) et 13 autres pour des mesures de niveau d'eau
- Système d'acquisition de données pouvant accueillir plus de 1600 capteurs

Des analyses sédimentologiques peuvent être réalisées sur place grâce à un tomodensitomètre (voir section suivante) sur lequel s'adaptent des canaux à échelle réduite permettant notamment de simuler des courants stationnaires, de la houle et des mouvements gravitaires.



Canal hydraulique (© Denis Bernier)

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE :

Damien Pham Van Bang, damien.pham_van_bang@ete.inrs.ca

lhe.ete.inrs.ca

Tomodensitométrie

Mesures non destructives des variations internes de densité sur des corps statiques (structure interne, porosité, etc.) ou mesures de phénomènes dynamiques principalement en hydrologie

L'infrastructure est composée d'un tomodensitomètre **Siemens SOMATOM Definition AS+ 128**, d'une unité de traitement et de stockage des données, d'un laboratoire de sédimentologie et d'appareils d'hydraulique, de biosédimentologie et d'hydrologie. L'ampleur de cette infrastructure est unique au Canada et dans une classe à part au niveau mondial.

Cet équipement médical adapté permet l'étude dynamique en 4D de structures solides et d'écoulements de fluides grâce à un volume créé à partir d'une séquence d'images simultanées d'une définition sous millimétrique.

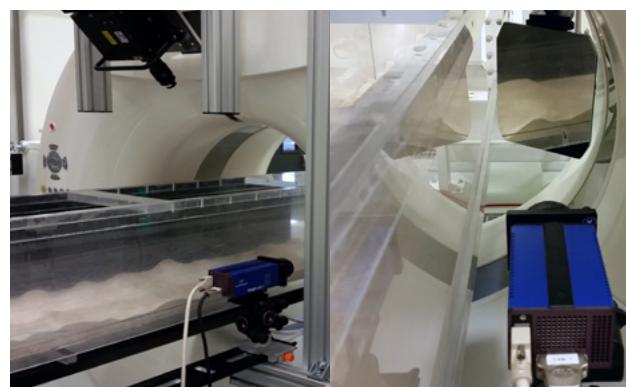
Différents dispositifs confèrent à cet équipement une flexibilité d'application unique. Le tomodensitomètre est sensible à des variations de densité de 0,1 %. Il est doté d'une ouverture de 78 cm de diamètre et d'une configuration sources/détecteurs permettant des mesures à 360° autour du corps analysé. Il est installé sur des rails de 4,3 m de longueur permettant l'analyse d'objets de grande taille (troncs d'arbres, carottes de sédiments, etc.).

Le laboratoire comprend un granulomètre laser, des aquariums et des caissons de pression pour des mesures de bioturbation, des canaux hydrauliques pouvant reproduire des courants unidirectionnels, de la houle et des mouvements gravitaires, ainsi que divers instruments de mesure tels que courantomètre, turbidimètre et sonde de résistivité. Il est également possible de faire des mesures simultanées de vélocimétrie par images de particules (PIV) et de tomodensitométrie (TDM) permettant d'évaluer à la fois les turbulences (par PIV), la bathymétrie et les concentrations de sédiments en suspension (par TDM), et ce, de manière non invasive à une cadence de sept fois par seconde. Un canal hydraulique de grande dimension (voir section précédente) est disponible pour valider à large échelle les mesures sous tomodensitomètre.

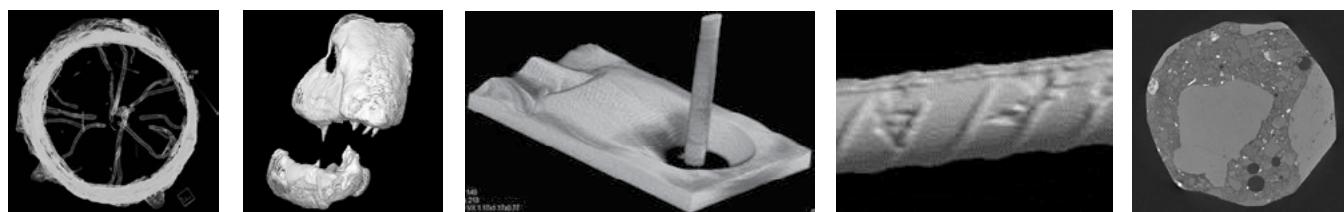
Les champs d'application de cet équipement d'une grande précision sont multiples et extrêmement variés: génie maritime (mesure du transport sédimentaire), génie géologique (risques géologiques et comportement des hydrates de gaz), hydrogéologie (migration des fluides et des polluants), foresterie (impacts d'insectes nuisibles), paléontologie (recherche de microfossiles dans les sédiments), écologie marine (comportement de la faune benthique), métallogénie (analyse de la structure 3D d'alliages), pétrographie (analyse de carottes de roches) et archéologie (analyse de la structure interne de pièces métalliques).



| Tomodensitomètre SOMATOM Definition AS+ 128



| Mesures de PIV



| Exemples d'images réalisées avec le tomodensitomètre : terriers de longicorne dans du bois, fossile de poisson du Dévonien, érosion autour d'un pilier, tige de béton corrodée, pâte de ciment

RESPONSABLES SCIENTIFIQUES:

Pierre Francus, pierre.francus@ete.inrs.ca

Damien Pham Van Bang, damien.pham_van_bang@ete.inrs.ca

GESTIONNAIRES:

Louis-Frédéric Daigle, louis-frederic.daigle@ete.inrs.ca

Mathieu Des Roches, mathieu.des_roches@ete.inrs.ca

ctscan.ete.inrs.ca

Biotechnologies environnementales

Mise en œuvre des principales étapes de transformation biologique de matières résiduelles visant à mettre au point ou à optimiser des procédés de conversion en produits à valeur ajoutée

Des unités modulaires permettent de réaliser toutes les étapes incluant le conditionnement de la matière première, sa transformation et la récupération du produit fini. L'objectif général est de développer, optimiser et mettre à l'échelle de nouveaux bioprocédés, ainsi que de récupérer, purifier et caractériser divers dérivés issus de la fermentation.

Les substrats de base utilisés peuvent être des matières résiduelles d'origine urbaine, industrielle, agricole, ou encore des milieux de culture synthétiques. Les produits générés peuvent être, notamment, des biopesticides microbien et fongiques, des inoculants microbien, des promoteurs de croissance végétale, des enzymes industrielles, des biopolymères, des biocarburants, des biosurfactants et du biohydrogène.

Deux hydrolyseurs d'une capacité respective de 150 et 2000 L servent au prétraitement des substrats.

Pour la fermentation, le complexe dispose de deux laboratoires de fermentation entièrement instrumentés, réservés respectivement aux matières résiduelles ou aux milieux synthétiques afin d'éviter toute contamination. Chaque laboratoire dispose de fermenteurs d'une capacité respective de 5, 15, 150 et 2000 L.



| Bioréacteurs de 2000 et 150 L dans un des deux laboratoires de fermentation

À l'étape de la récupération du produit fini, les modules suivants servent au traitement des bouillons fermentés :

- Centrifugeuse en continu
- Unité de microfiltration et d'ultrafiltration
- Système de chromatographie par échange d'ions (séparation des protéines)
- Séchoir atomiseur (production de particules solides)
- Lyophilisateur

L'installation comprend également une chambre à environnement contrôlé de classe 100 (production d'inocula, entreposage des souches, contrôle de la qualité et caractérisation des produits microbiens purifiés). Elle est complétée par un laboratoire analytique complet équipé, entre autres, d'appareils GC-MS et LC-MS-MS et d'un cytofluomètre.



| Centrifugeuse en continu

CHEF DES OPÉRATIONS :

Mathieu Drouin, mathieu.drouin@ete.inrs.ca

lbe.ete.inrs.ca

Assainissement et décontamination

Mise en œuvre à échelle préindustrielle d'un train de technologies impliquant des processus chimiques, physiques et biologiques afin de développer ou optimiser des procédés de décontamination tant pour des liquides que des solides et des gaz

Ce laboratoire possède une usine mobile qui permet de tester des technologies d'assainissement directement sur le site d'où provient l'effluent, le sol contaminé ou le gaz à traiter. L'usine est aménagée dans une remorque spécialement conçue pour accueillir divers modules correspondant à des systèmes disponibles sur le marché et pouvant être assemblés de manière à répondre aux besoins spécifiques de traitement.

En filière liquide, il est possible de traiter des eaux souterraines contaminées ainsi que des eaux usées municipales, industrielles ou agroalimentaires. En filière solide, des procédés de décontamination des sols, des matières résiduelles industrielles et dangereuses, et des boues d'épuration peuvent être développés ou optimisés. Certains montages permettent de répondre à des problématiques complexes de contamination mixte ou encore impliquant des contaminants récalcitrants. Enfin, la filière gazeuse permet de traiter des effluents gazeux industriels. Des procédés visant à réduire les émissions (CO_2 , SO_x , etc.) peuvent être étudiés.



| Remorque servant d'usine mobile



| Décanteur lamellaire avec instrumentation



| Laboratoire d'expérimentations à environnement contrôlé



| Montage de séquestration du CO_2 par carbonatation minérale

Les principales unités modulaires sont les suivantes :

Filière liquide

- Décanteur lamellaire
- Bioflottation/biofiltration/réacteur biologique séquentiel
- Filtre-presse
- Filtre à plateaux
- Centrifugeuse
- Pressoir rotatif
- Échangeur d'ions
- Colonne d'adsorption

Filière solide

- Unité de tamisage
- Séparateur magnétique
- Table à secousses
- Lit fluidisé
- Banc de cellules de flottation

Filière gazeuse

- Réacteur (18 L)
- Cellule de précipitation

RESPONSABLES SCIENTIFIQUES :

Jean-François Blais, jean-francois.blais@ete.inrs.ca

Guy Mercier, guy.mercier@ete.inrs.ca

Louis-César Pasquier, louis-cesar.pasquier@ete.inrs.ca

Électrotechnologies environnementales

Développement de procédés électrolytiques, membranaires et oxydatifs pour optimiser le traitement des eaux et d'effluents industriels

L'objectif du LEEPO (Laboratoire d'électrotechnologies environnementales et de procédés oxydatifs) est de développer des procédés novateurs pour améliorer les systèmes existants de traitement des eaux et d'effluents industriels, voire remplacer les technologies classiques peu efficaces pour l'élimination des contaminants organiques réfractaires, inorganiques et microbiens. On vise en particulier à mettre au point des unités compactes portatives ayant un large spectre de dépollution.

Les principaux équipements sont les suivants :

- Potentiostat/galvanostat
- Titrateur potentiométrique
- Spectrophotomètres UV-vis et de photoluminescence
- Cellules d'électrophotocatalyse et d'ozonation
- Réacteurs de photocatalyse et de sonochimie
- Deux réacteurs d'électrooxydation/électrodéposition de type laboratoire (2-5 L) et une unité de type préindustriel (100-150 L)
- Deux réacteurs d'électrocoagulation/électrofloculation de type laboratoire et une unité de type préindustriel
- Bioréacteur à membrane de type laboratoire (4-6 L) et une unité de type préindustriel (100-150 L)
- Unités de traitement membranaire allant de la microfiltration à l'osmose inverse

Certains des modules d'électrotechnologies peuvent être intégrés au laboratoire mobile d'assainissement et de décontamination.



| Équipements du LEEPO pour expérimentation préindustrielle

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE :

Patrick Drogui, patrick.drogui@ete.inrs.ca

leepo.ete.inrs.ca

Contamination souterraine

Étude du comportement des contaminants dans le sol et l'eau souterraine et mise au point de procédés de traitement *in situ* à une échelle intermédiaire entre le laboratoire et le terrain

Les principaux équipements suivants permettent de simuler des écoulements souterrains, de suivre le transport des contaminants et d'expérimenter des technologies novatrices de décontamination des sols et de l'eau souterraine :

- Deux réservoirs de 4 et 9 m³ pour tester des stratégies de restauration *in situ* en reproduisant différents patrons d'injection/pompage
- Unités mobiles d'extraction multiphasée et de lavage de sols avec équipements de suivi des procédés
- Colonnes pour étudier la migration des contaminants dans le sol et évaluer différentes méthodes passives (atténuation naturelle, mur de réaction)
- Colonnes de différents volumes pour évaluer la performance de différentes méthodes actives (barbotage, ventilation, biodégradation, lavage aux tensioactifs et oxydation chimique)
- Espace laboratoire réfrigéré jusqu'à 6 °C pour reproduire la température de l'eau souterraine
- Instruments de mesure permettant la caractérisation des sols et des phases aqueuses et organiques échantillonnes lors des essais (granulométrie, courbe caractéristique, densité, viscosité, tension interfaciale, angles de contact)



| Essai d'extraction multiphasée et de lavage de sol

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE :

Richard Martel, richard.martel@ete.inrs.ca

Gestion hydraulique

Développement de méthodes pour optimiser la gestion des réseaux de distribution d'eau potable

L'objectif principal des travaux de recherche du laboratoire de gestion hydraulique des réseaux de distribution d'eau potable est de développer des méthodes pour réagir rapidement lors de contaminations et pour réduire le plus possible les pertes d'eau. Un secteur type d'un réseau municipal de distribution d'eau potable est reproduit avec des conduites qui ont environ 2/3 du diamètre et de la pression réels d'un véritable réseau.

Le montage conçu pour être des plus polyvalent est équipé de nombreux senseurs (débit, pression, conductivité), de régulateurs de pression, de vannes d'isolement et de robinets (pour simuler l'utilisation d'eau ou les fuites) qui sont tous reliés à un système informatique central.



| Réseau de distribution d'eau potable du laboratoire

Les principales applications découlant des travaux du laboratoire sont la détection de contaminations et la détermination de procédures d'intervention pour isoler les zones contaminées, le contrôle en temps réel des pressions en vue de réduire les pertes d'eau potable et la détection des fuites par l'analyse en temps réel de mesures de débit et de pression.

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE:
Sophie Duchesne, sophie.duchesne@ete.inrs.ca

INFRASTRUCTURES MOBILES

Ces infrastructures sont utilisées pour réaliser des essais ou des analyses directement sur les sites d'intérêt. Outre les infrastructures décrites ci-dessous, un camion-laboratoire de biogéochimie est également disponible afin de préparer et traiter, lorsque nécessaire, des échantillons prélevés sur le terrain avant leur transport.

Caractérisation des aquifères

Développement d'approches de caractérisation détaillée des aquifères sur le terrain permettant une modélisation numérique représentative

Le principal équipement permettant de caractériser les propriétés physiques et géochimiques des aquifères est une foreuse spécialisée Geotech 605. Avec les données recueillies, il est possible de modéliser l'écoulement de l'eau et le transport des contaminants dans les aquifères. Il est également possible d'évaluer la vulnérabilité des aquifères à la contamination, de déterminer les modalités de protection et les modes d'exploitation les plus adaptés en vue d'une gestion durable de la ressource en eau souterraine.

Cette foreuse sur chenille dispose d'un système d'enregistrement en temps réel des réponses mécanique et électrique des sols. Elle permet aussi l'échantillonnage du sol ou de l'eau souterraine par l'installation de puits d'observation. Le système possède deux têtes de forage : une sert à faire des sondages par enfouissement (pénétration au cône) dans les dépôts meubles et l'autre est munie d'un marteau hydraulique pour faire des sondages par rotopercussion jusqu'à 50 m dans le roc et les dépôts meubles selon les conditions.



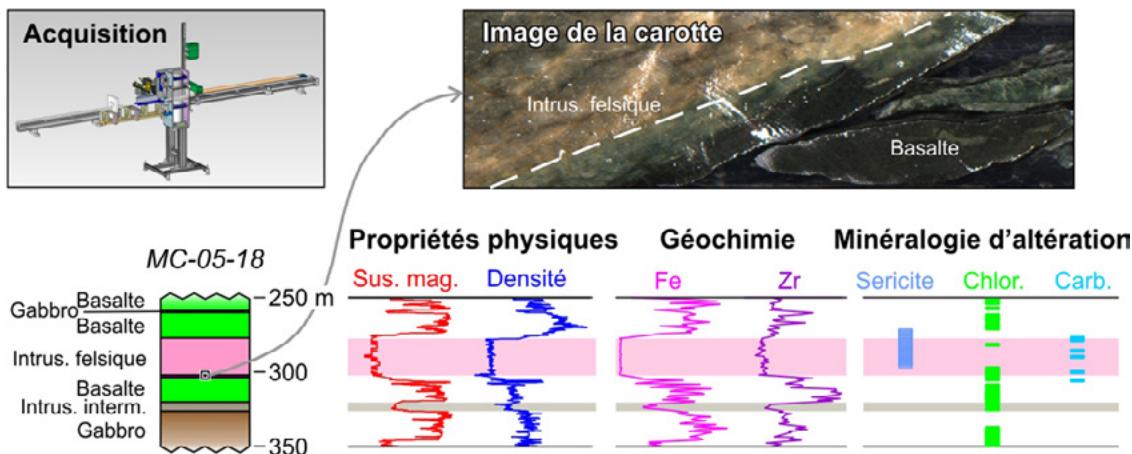
| Foreuse Geotech sur le terrain

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE:
René Lefebvre, rene.lefebvre@ete.inrs.ca

Caractérisation des roches

Mesures non destructives à haute résolution spatiale de paramètres physiques, minéralogiques et chimiques sur des carottes de forage

Le LAMROC (Laboratoire mobile de caractérisation physique, minéralogique et chimique des roches) permet de mesurer la densité et la susceptibilité magnétique et d'analyser la géochimie et la minéralogie de carottes de forage au diamant grâce à un système semi-automatisé. Celui-ci permet également l'acquisition d'une image continue de la carotte. Il est installé dans une unité mobile ce qui permet de tirer un maximum d'information de la carotte directement sur le site d'entreposage. Plusieurs instruments portables sont aussi disponibles pour mesurer les propriétés physiques des roches sur le terrain (susceptibilité magnétique, densité, rayonnement gamma naturel).



RESPONSABLE SCIENTIFIQUE:

Pierre-Simon Ross, pierre-simon.ross@ete.inrs.ca

lamroc.ete.inrs.ca

Géophysique

Études géophysiques appliquées à l'exploration minière, gazière et pétrolière, la géotechnique et l'archéologie

Les équipements permettent de réaliser des travaux sur le terrain et en laboratoire en utilisant les techniques suivantes :

- Tomographie géoélectrique : imagerie du Quaternaire et du socle rocheux jusqu'à 800 m de profondeur
- Levé audiomagnétotellurique : imagerie géoélectrique du socle rocheux jusqu'à 2000 m de profondeur
- Induction électromagnétique : mesures de la conductivité électrique des matériaux géologiques
- Levé gravimétrique : mesures terrestres ou sur glace appliquées à la cartographie géologique, la prospection minière et l'exploration gazière et pétrolière
- Levé magnétométrique : mesures terrestres ou aquatiques pour la cartographie géologique, la prospection minière, l'exploration diamantifère, gazière et pétrolière, et la détection sous-marine
- Levé radiométrique : système spectrométrique gamma mobile pouvant être déployé sur terre ou en hélicoptère pour la cartographie géologique et de sols agricoles, et la prospection minière
- Levé aquatique : bateaux de 8 et 6,5 m avec équipage pour missions sur le fleuve et en mer



RESPONSABLE SCIENTIFIQUE:

Marc Richer-Lafleche, marc.richer-lafleche@ete.inrs.ca

