

Rapport annuel 2015-2016



Rapport annuel du 1^{er} mai 2015 au 30 avril 2016

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

Yvon Beaulieu (haut), Jimmy Royer (bas)

Autres crédits photos

Hachem Agili, Yves Bégin, Denis Bernier, Arnaud De Coninck, Mathieu Des Roches, Christian Fleury, Claude Fortin, Sylvio José Gumière, Lyal Harris, Clémence Jouveau du Breuil, Pierre Ladevèze, Isabelle Laurion, Michel Lavoie, René Lefebvre, Tram Nam, Antoine Nicault, Marc Parrot, Louis-César Pasquier, Sylvain Perrier, Danaé Pitre, Marc Richer-Lafèche, Thomas Robert, Pierre-Simon Ross

Pour information

Institut national de la recherche scientifique
Centre Eau Terre Environnement
490, de la Couronne
Québec (Québec) G1K 9A9
CANADA
Téléphone : 418 654-2524
Télécopie : 418 654-2600
Courriel : info@ete.inrs.ca
Site Internet : www.ete.inrs.ca

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 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** (Varenes 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 et problématiques de contamination
- 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 quinzième rapport annuel du Centre Eau Terre Environnement de l'Institut national de la recherche scientifique pour l'année 2015-2016.

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 formation aux cycles supérieurs, la diffusion des connaissances et le transfert technologique 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 de recherche du Centre. Citons comme exemples, le développement d'un outil de gestion et d'analyse du risque d'inondation (GARI), une approche novatrice pour l'élimination à la source des résidus médicamenteux des eaux usées d'hôpitaux, le développement de méthodes de distribution intracellulaire pour déterminer les effets des métaux sur les organismes aquatiques et la mise au point de nouvelles techniques géophysiques de suivi par écoute microsismique. Ces quelques 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 2015-2016. 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



Assainissement et valorisation

2015-2016

Chaque québécois produit plus de 700 kg de déchets annuellement; 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 appliquée aux défis actuels

Fleuve sous influence

Les rejets d'eaux usées des hôpitaux contribuent-ils à la pollution pharmaceutique du fleuve Saint-Laurent? Probablement, car ils contiennent des résidus de médicaments qui sont des polluants réfractaires, c'est-à-dire qui ne répondent pas bien aux traitements conventionnels des eaux usées. Mais que faire? Le traitement à la source est une option qui est explorée dans ce projet de recherche. Une nouvelle technologie de biotraitement à membrane sera testée (en combinaison possible avec des procédés d'électro-oxydation) afin d'éliminer ces contaminants en amont. Un des avantages de cette approche est qu'elle ne nécessite pas d'ajouts de produits chimiques. La faisabilité technico-économique du procédé sera évaluée.



Photo : Dieudiesel 2013 [CC] via Flickr

De déchet à capteur de CO₂

Dans la continuité des travaux entrepris par l'INRS dans le domaine de la réduction des émissions de CO₂, plusieurs projets de recherche ont été réalisés sur l'utilisation du procédé de carbonatation minérale. Certains travaux se sont intéressés plus spécifiquement à développer et à optimiser l'utilisation de béton usé pour capter le CO₂. Des essais à l'échelle pilote ont permis d'établir une filière de recyclage des agrégats tout en améliorant le taux de récupération de matière réactive (ce qui capte le CO₂). D'autres travaux ont visé les scories d'aciéries. L'applicabilité du procédé de carbonatation aux alumineries a été évaluée par une approche technico-économique.



Boucler la boucle du biodiésel

Les entreprises visent de plus en plus à améliorer le bilan écologique et économique du cycle de vie de leurs produits. Un des moyens d'y parvenir est de valoriser les résidus des procédés de fabrication. Dans le cas du biodiésel, le sous-produit est du glycérol brut. Celui-ci est actuellement considéré comme un déchet, mais il pourrait être valorisé. L'objectif du projet de recherche est de développer un procédé de production de lipides utilisant du glycérol comme matière première. Ces lipides pourraient ultimement servir à produire de nouveau du biodiésel. Des essais en bioréacteurs seront effectués afin d'optimiser les différents paramètres du procédé.



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 séquestration du CO₂
guy.mercier@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 auteurs du Centre ETE sont en gras)

- **Brar, S.K.** et Cledon, M. (2016). Special issue on Nanomaterials: Measurement, fate and future. *Journal of Hazardous, Toxic and Radioactive Waste*, 20 (1) : B2015001. DOI : 10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000302
- **Jobin, P., Mercier, G.** et **Blais, J.-F.** (2016). Magnetic and density characteristics of a heavily polluted soil with municipal solid waste incinerator residues: Significance for remediation strategies. *International Journal of Mineral Processing*, 149 (Avril) : 119-126. DOI : 10.1016/j.minpro.2016.02.010
- **Maiti, S., Sarma, S.J., Brar, S.K.,** Le Bihan, Y., **Drogui, P.,** Buelna, G. et Verma, M. (2016). Agro-industrial wastes as feedstock for sustainable bio-production of butanol by *Clostridium beijerinckii*. *Food and Bioproducts Processing*, 98 (Avril) : 217-226. DOI : 10.1016/j.fbp.2016.01.002
- **Tran, N., Drogui, P.** et **Brar, S.K.** (2015). Sonochemical techniques to degrade pharmaceutical organic pollutants. *Environmental Chemistry Letters*, 13 (3) : 251-268. DOI : 10.1007/s10311-015-0512-8
- **Veetil, S.P., Pasquier, L.-C., Blais, J.-F., Cecchi, E.,** Kentish, S. et **Mercier, G.** (2015). Direct gas-solid carbonation of serpentinite residues in the absence and presence of water vapor: a feasibility study for carbon dioxide sequestration. *Environmental Science and Pollution Research*, 22 (17) : 13486-13495. DOI : 10.1007/s11356-015-4580-x
- **Zhang, X., Yan, S., Tyagi, R.D.,** Surampalli, R.Y. et Valéro, J.R. (2016). Energy balance of biofuel production from biological conversion of crude glycerol. *Journal of Environmental Management*, 170 (Avril) : 169-176. DOI : 10.1016/j.jenvman.2015.09.031

Une diversité de partenaires de recherche

- Association de l'aluminium du Canada
- Biocardel Québec
- Consortium de recherche et innovation en bioprocédés industriels au Québec (CRIBIQ)
- Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation du Québec
- Premier Tech
- TechnoRem

Biogéochimie aquatique

2015-2016

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

En cas d'urgence environnementale

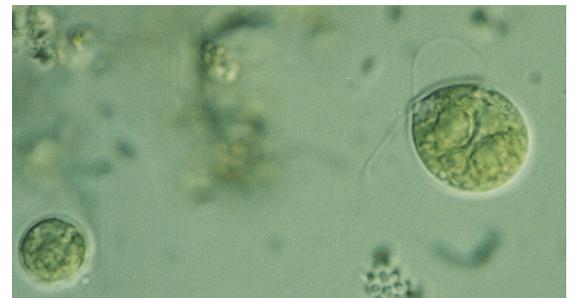
Plusieurs projets de transports d'hydrocarbures sur le fleuve Saint-Laurent font actuellement les manchettes. S'ils se concrétisent, des plans d'urgence en cas de déversements incluant des méthodes d'intervention efficaces seront cruciaux. L'utilisation de dispersants chimiques est une technique qui peut être utilisée, mais on connaît peu ses répercussions en eau froide. Ce projet de recherche vise à étudier les effets des dispersants, des hydrocarbures et de leur mélange chez les espèces typiques du Québec. À terme, l'objectif de ce projet qui sera réalisé en plusieurs phases est de fournir aux gestionnaires des interventions d'urgence des données spécifiques au contexte du fleuve et du golfe du Saint-Laurent.



Photo : J.E. Shaw 2007 [CC] via Flickr

Minéraux recherchés, effets inconnus...

Plusieurs projets d'exploitation minière de terres rares (lanthanides) et de métaux du groupe platine sont projetés au Canada. Or, les connaissances sur les risques environnementaux que posent ces métaux très recherchés sont nettement insuffisantes. Afin d'évaluer le risque écologique, il est nécessaire d'acquérir des données sur la spéciation, la mobilité, la biodisponibilité et la toxicité de ces éléments. Les chercheurs de l'INRS qui participent au projet TRIVALENCE (Tools for Risk Identification and Validation of the Effects of Elements in Northern Canadian Environments) étudient la biodisponibilité de ces éléments chez des algues unicellulaires ainsi que le transfert trophique vers le haut de la chaîne.



Lacs nordiques et changements climatiques

Un des aspects méconnus dans les scénarios de prévision du réchauffement climatique est l'impact des lacs des régions nordiques sur le cycle global du carbone. Ce programme de recherche a pour but de déterminer l'influence des facteurs physiques (p. ex. structure thermique, concentration en oxygène) et de l'activité microbienne (p. ex. méthanogénie, méthanotrophie, production primaire) sur les émissions de gaz à effet de serre par les écosystèmes lacustres, et de quelle façon cette influence sera modulée par les changements environnementaux, notamment le dégel du pergélisol et le verdissement de l'Arctique. On s'interroge à savoir si ces écosystèmes représentent un mécanisme de rétroaction positive sur le climat. Ces travaux contribueront à améliorer les scénarios climatiques futurs.



Grands thèmes abordés et chercheurs impliqués



CONTAMINATION PAR LES MÉTAUX

Peter G. C. Campbell* | Géochimie et écotoxicologie
pgc.campbell@ete.inrs.ca

Patrice Couture | Écotoxicologie des poissons
patrice.couture@ete.inrs.ca

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

Landis Hare | Écotoxicologie des invertébrés
landis.hare@ete.inrs.ca



GÉOCHIMIE ENVIRONNEMENTALE

Charles Gobeil | Cycles biogéochimiques
charles.gobeil@ete.inrs.ca

Pierre Lafrance* | Contaminants organiques



LIMNOLOGIE

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

*Retraite en 2015

Quelques publications récentes

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

- Allaire, S.E., Sylvain, C., Lange, S.F., Thériault, G. et **Lafrance, P.** (2015). Potential efficiency of riparian vegetated buffer strips in intercepting soluble compounds in the presence of subsurface preferential flows. *PLoS ONE*, 10, Art. e0131840. DOI : 10.1371/journal.pone.0131840
- Baillon, L., Pierron, F., Coudret, R., Normendeau, E., **Caron, A.**, Peluhet, L., Labadie, P., Budzinski, H., Durrieu, G., Sarraco, J., Elie, P., **Couture, P.**, Baudrimont, M. et Bernatchez, L. (2015). Transcriptome profile analysis reveals specific signatures of pollutants in Atlantic eels. *Ecotoxicology*, 24 : 71-84. DOI : 10.1007/s10646-014-1356-x
- **Bartosiewicz, M.**, Laurion, I. et MacIntyre, S. (2015). Greenhouse gas emission and storage in a small shallow lake. *Hydrobiologia*, 757 : 101-115. DOI : 10.1007/s10750-015-2240-2
- Duval, J.F., **Paquet, N.**, Lavoie, M. et **Fortin, C.** (2015). Dynamics of metal partitioning at the cell-solution interface: Implications for toxicity assessment under growth-inhibiting conditions. *Environmental Science & Technology*, 49 : 6625-6636. DOI : 10.1021/acs.est.5b00594
- **Jautzy, J.J.**, Ahad, J.M.E., **Gobeil, C.**, Smirnov, A., **Barst, B.D.** et Savard, M.M. (2015). Isotopic evidence for oil sands petroleum coke in the Peace-Athabasca delta. *Environmental Science & Technology*, 49 : 12062-12070. DOI : 10.1021/acs.est.5b03232
- **Leguay, S.**, **Campbell, P.G. C.** et **Fortin, C.** (2016). Determination of the free-ion concentration of rare earth elements by an ion-exchange technique: implementation, evaluation and limits. *Environmental Chemistry*, 13 (3) : 478-488. DOI : 10.1071/EN15136
- **Rosabal, M.**, Mounicou, S., **Hare, L.** et **Campbell, P.G.C.** (2016). Metal (Ag, Cd, Cu, Ni, Tl, Zn) binding to cytosolic biomolecules in field-collected larvae of the insect *Chaoborus*. *Environmental Science & Technology*, 50 : 3247-3255. DOI : 10.1021/acs.est.5b05961

Une diversité de partenaires de recherche

- Australian Research Council
- Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec
- Environnement Canada
- Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture
- International Zinc Association
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec
- Stantec

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

LAMHA, un nouveau labo

Une gestion durable des populations de poissons d'eau douce passe par une bonne connaissance des préférences d'habitat des espèces. Pour ce faire, des modèles d'habitat sont utilisés pour attribuer des indices de qualité d'habitat aux sections de rivières. Cependant, ces modèles sont imparfaits puisqu'ils ne tiennent pas compte des effets des différentes échelles spatiales et temporelles sur les variables qui définissent l'habitat du poisson. Un nouveau laboratoire d'analyse et de modélisation des habitats aquatiques (LAMHA) sera mis sur pied dans le but de concevoir une nouvelle génération de modèles numériques palliant ces lacunes. Ceux-ci aideront les gestionnaires des ressources halieutiques à prendre de meilleures décisions.



Gestion de l'eau et petits fruits

L'industrie de la canneberge est un fleuron agricole au Québec qui occupe le 3^e rang mondial pour ce qui est de la superficie cultivée. L'objectif de ce projet interuniversitaire dans lequel un chercheur de l'INRS est impliqué est d'optimiser les performances des systèmes de drainage dans un contexte de gestion de l'eau optimale à l'échelle de la ferme. Certains champs de canneberges seront adaptés pour la subirrigation. L'impact de celle-ci sur la disponibilité de l'eau souterraine et sur l'hydrodynamique des sols sera vérifié expérimentalement. Des systèmes de drainage mieux adaptés seront conçus et les flux d'eau modélisés. Ces travaux visent à développer un outil de gestion intégrée de l'eau pour les producteurs de canneberges.



Retour à un régime naturel?

Énergie Nouveau-Brunswick prévoit que la centrale hydroélectrique de Mactaquac atteindra la fin de sa durée de vie utile en 2030. Trois scénarios sont envisagés : le démantèlement et la remise en état de la rivière, la conservation d'un barrage sans production hydroélectrique et la construction d'une nouvelle centrale. Ce projet vise à modéliser l'impact d'un éventuel démantèlement du barrage sur le régime thermique présent et futur du fleuve Saint-Jean. Un calage du modèle hydrologique et thermique CEQUEAU de l'INRS sera d'abord effectué à l'aide de données récentes. Ensuite, à partir de données de modèles climatiques, des scénarios de régime thermique futurs seront élaborés. Les résultats serviront aux décideurs dans l'examen de l'option du démantèlement.



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 | Aquarespabilité municipale et gestion intégrée | jean-pierre.villeneuve@ete.inrs.ca



HYDROLOGIE STATISTIQUE

Fateh Chebana | Extrêmes météorologiques et climatiques
fateh.chebana@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



OCÉANOGRAPHIE

Yves Gratton | Dynamique des fluides
yves.gratton@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

Quelques publications récentes

(Les auteurs du Centre ETE sont en gras)

- **Durocher, M., Chebana, F. et Ouarda, T.B.M.J.** (2016). On the prediction of extreme flood quantiles at ungauged locations with spatial copula. *Journal of Hydrology*, 533 : 523-532.
DOI : 10.1016/j.jhydrol.2015.12.029
- **Filion, R., Bernier, M., Paniconi, C., Chokmani, K., Melis, M., Soddu, A., Talazac, M. et Lafortune, F.X.** (2015). Remote sensing for mapping soil moisture and drainage potential in semi-arid regions: Applications to the Campidano plain of Sardinia, Italy. *Science of the Total Environment*, 543 : 862-876.
DOI : 10.1016/j.scitotenv.2015.07.068
- **Fortier, C. et Mailhot, A.** (2015). Climate change impact on combined sewer overflows. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 141, Art. 04014073.
DOI : 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000468
- **Fossey, M., Rousseau, A.N., Bensalma, F., Savary, S. et Royer, A.** (2015). Integrating isolated and riparian wetland modules in the PHYSITEL/HYDROTEL modelling platform: model performance and diagnosis. *Hydrological Processes*, 29 : 4683-4702.
DOI : 10.1002/hyp.10534
- **Goerig, E., Castro-Santos, T. et Bergeron, N.E.** (2016) Brook trout passage performance through culverts. *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, 73 : 94-104.
DOI : 10.1139/cjfas-2015-0089
- Lima, R.C., Mesquita, A.L.A., Blanco, C.J.C., Santos, M.D.S. et **Secretan, Y.** (2015). An analysis of total phosphorus dispersion in lake used as a municipal water supply. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 87 : 1505-1518.
DOI : 10.1590/0001-3765201520130317
- **Maheu, A., Poff, L.N. et St-Hilaire, A.** (2016). A classification of stream water temperature regimes in the conterminous USA. *River Research and Applications*, 32 : 896-906.
DOI : 10.1002/rra.2906
- Simo-Matchim, A.-G., Gosselin, M., Blais, M., **Gratton, Y.** et Tremblay, J.-É. (2016). Seasonal variations of phytoplankton dynamics in Nunatsiavut fjords (Labrador, Canada) and their relationships with environmental conditions. *Journal of Marine Systems*, 156 : 56-75.
DOI : 10.1016/j.jmarsys.2015.11.007
- **Thériault, A. et Duchesne, S.** (2015). Quantifying the fecal coliform loads in urban watersheds by hydrologic/hydraulic modeling: case study of the Beauport River watershed in Quebec. *Water*, 7 : 615-633.
DOI : 10.3390/w7020615

Une diversité de partenaires de recherche

- Administration régionale Kativik
- Consortium Ouranos sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques
- Fondation pour la conservation du saumon atlantique
- Gouvernement du Canada (Agriculture et agroalimentaire, Environnement, Ressources naturelles, Savoir polaire)
- Gouvernement du Québec (Agriculture, Pêcheries et Alimentation; Développement durable, Environnement et Lutte contre les changements climatiques; Forêt, Faune et Parcs)
- Hydro-Québec
- Institut national de la santé publique du Québec (INSPQ)

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

La géophysique en support au génie civil

La dégradation des ouvrages de génie civil en béton a fait les manchettes ces dernières années pour des raisons peu reluisantes. Il est de ce fait essentiel d'être en mesure d'ausculter les structures en vue de leur entretien. Les mesures directes (prélèvements) étant éparées, les techniques indirectes utilisant des méthodes géophysiques sont très utiles. Un défi majeur réside dans l'intégration, la représentation spatiale et l'interprétation conjointe de l'ensemble des mesures. Ce projet a pour objectif de créer un système d'exploitation de données multivariées (physique, chimique) et multiéchelles (terrain, laboratoire) afin de fournir aux gestionnaires un outil d'aide à la décision pour l'entretien des ouvrages.



Photo : Achim Hering [CC] via Wikimedia Commons

Un terrain virtuel

Deux stages de terrain en Corse alpine et au sud du Québec serviront à développer des excursions géologiques virtuelles accessibles sur le Web avec les images incorporées dans Google Earth. L'an dernier, les étudiants québécois ont grandement bénéficié d'être exposés à la géologie spectaculaire de la Corse. Cette année, l'excursion au Québec porte sur les roches métamorphiques du Bouclier canadien et les roches sédimentaires de la plateforme du Saint-Laurent et des Appalaches. Le but pédagogique est de permettre 1) aux participants de revisiter les sites pour mieux comprendre les structures et les liens entre les unités géologiques, de réaliser des schémas récapitulatifs et des coupes structurales, etc., et 2) aux futurs étudiants de faire des excursions géologiques virtuelles qui seront intégrées à l'enseignement.



La recharge, un élément clé

L'eau souterraine joue un rôle majeur dans l'approvisionnement en eau des populations. Une gestion responsable et durable de cette ressource est donc essentielle. Le taux de recharge des aquifères est un élément clé à considérer pour assurer la pérennité de la ressource et éviter sa surexploitation. Toutefois, l'estimation des taux de recharge est difficile et demande des efforts parfois considérables. Ce projet a pour but de faciliter la quantification de la recharge et son suivi dans le temps à partir de mesures de niveaux d'eau de puits et de données météorologiques. Ces travaux fourniront aux gestionnaires des outils pour mieux connaître, gérer et exploiter la ressource en eau souterraine au Québec.



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



PALÉOENVIRONNEMENTS

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

Quelques publications récentes

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

- **Bourke, A.** et **Ross, P.-S.** (2016). Portable X-ray fluorescence measurements on exploration drill-cores: comparing performance on unprepared cores and powders for 'whole-rock' analysis. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 16, Art. 147. DOI : 10.1144/geochem2014-326
- **Chemingui, A.**, Sulis, M. et **Paniconi, C.** (2015). An assessment of recharge estimates from stream and well data and from a coupled surface-water/groundwater model for the Des Anglais catchment, Quebec (Canada). *Hydrogeology Journal*, 23 : 1731-1743. DOI : 10.1007/s10040-015-1299-1
- **Drolet, J.-P.** et **Martel, R.** (2016). Distance to faults as a proxy for radon gas concentration in dwellings. *Journal of Environmental Radioactivity*, 152 : 8-15. DOI : 10.1016/j.jenvrad.2015.10.023
- **Dufrechou, G.**, **Harris, L.B.**, Coriveau, L. et **Antonoff, V.** (2015). Regional and local controls on mineralization and pluton emplacement in the Bondy gneiss complex, Grenville Province, Canada interpreted from aeromagnetic and gravity data. *Journal of Applied Geophysics*, 116 : 192-205. DOI : 10.1016/j.jappgeo.2015.03.015
- **Jenny, J.-P.**, **Francus, P.**, Normandeau, A., **Lapointe, F.**, Perga, M.-E., Ojala, A.E.K., Schimmelmann, A. et Zolitschka, B. (2016). Global spread of hypoxia in freshwater ecosystems during the last three centuries is caused by rising local human pressure. *Global Change Biology*, 22 : 1481-1489. DOI : 10.1111/gcb.13193
- **Lahmira, B.**, **Lefebvre, R.**, Aubertin, M. et Bussière, B. (2016). Effect of heterogeneity and anisotropy related to the construction method on transfer processes in waste rock piles. *Journal of Contaminant Hydrology*, 184 : 35-49. DOI : 10.1016/j.jconhyd.2015.12.002
- McNicoll, V., Dubé, B., Castonguay, S., **Oswald, W.**, Biczok, J., Mercier-Langevin, P., Skulski, T. et **Malo, M.** (2016). The world-class Musselwhite BIF-hosted gold deposit, Superior Province, Canada: New high-precision U-Pb geochronology and implications for the geological setting of the deposit and gold exploration. *Precambrian Research*, 272 : 133-149. DOI : 10.1016/j.precamres.2015.09.029
- **Paradis, D.**, **Gloaguen, E.**, **Lefebvre, R.** et **Giroux, B.** (2015). Resolution analysis of tomographic slug test head data: two-dimensional radial case. *Water Resources Research*, 5 : 2356-2376. DOI : 10.1002/2013WR014785
- **Raymond, J.**, Mercier, S. et Nguyen, L. (2015). Designing coaxial ground heat exchangers with a thermally enhanced outer pipe. *Geothermal Energy*, 3 (7) : 1-14. DOI : 10.1186/s40517-015-0027-3

Une diversité de partenaires de recherche

- Compagnies minières
- Défense nationale Canada
- Électricité de France
- Hydro-Québec
- Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec
- Ville de Québec

Nouveaux projets des équipes de recherche du Centre

ASSAINISSEMENT ET VALORISATION

Assainissement et décontamination

- Développement de la technique d'oxydation électrolytique pour la décontamination d'effluents agricoles contaminés par des pesticides (resp. Patrick Drogui; financ. MITACS)
- Développement de procédés photocatalytique et électro-photocatalytique pour le traitement des eaux chargées en produits phytosanitaires (resp. Patrick Drogui; financ. Ministère des Relations internationales et de la Francophonie du Québec)
- Développement de technologies avancées de dépollution des eaux et effluents résiduaires adaptées à l'assainissement non collectif (resp. Patrick Drogui; financ. Agence universitaire de la francophonie)
- Développement d'un procédé bioélectrochimique novateur pour dégrader les hydrocarbures de sols/eaux contaminés : mode enzymatique (resp. Satinder Kaur Brar; financ. CRSNG - Subvention de recherche et développement coopératifs et TechnoRem)
- Développement d'un procédé hybride couplant ultrafiltration et électrolyse pour le traitement des eaux résiduaires de buanderies commerciales (resp. Patrick Drogui; financ. CRSNG - Subvention d'engagement partenarial)
- Développement d'un système hybride pour le traitement des effluents agroalimentaires contaminés par des antibiotiques et hormones (resp. Patrick Drogui; financ. Ministère des Relations internationales et de la Francophonie du Québec)
- Élimination à la source des résidus médicamenteux des eaux usées d'hôpitaux : une approche innovatrice de traitement de contaminants émergents (resp. Patrick Drogui; financ. CRSNG - Subvention de projets stratégiques et Premier Tech; coll. R.D. Tyagi)
- Évaluation de la performance à l'échelle préindustrielle du procédé d'électro-oxydation avancée pour le traitement des eaux résiduaires des centres de transfert et de décharge de déchets dangereux (resp. Patrick Drogui; financ. CRI-Environnement)
- Séparation des métaux via le système de refroidissement de sols décontaminés (resp. Guy Mercier; CRSNG - Subvention d'engagement partenarial; coll. J.-F. Blais)

Bioconversion de biomasses

- Combinaison synergique de levures, enzymes et acides organiques comme alternative efficace, écologique et économique à l'utilisation d'antibiotiques dans l'élevage de poulets (resp. Satinder Kaur Brar; financ. FRQNT - Projet de recherche en équipe)
- Étude de faisabilité de production de bioplastiques à partir de jus de pommes de cajou en Côte-d'Ivoire (resp. Patrick Drogui; financ. INP-HB-Côte d'Ivoire; coll. R.D. Tyagi)
- Production de lipides pour la conversion en biodiesel à partir de glycérol brut comme matière première et grâce à de nouvelles souches isolées (resp. Rajeshwar Dayal Tyagi; financ. CRSNG - Subvention de recherche et développement coopératifs et Biocardel Québec; coll. P. Drogui)
- Utilisation de nouvelles souches microbiennes pour la conversion d'azote ammoniacal en nitrates dissous pour des besoins agricoles (resp. Satinder Kaur Brar; financ. CRSNG - Subvention d'engagement partenarial)

- Valorisation de déchets agro-industriels comme alternative verte aux antibiotiques dans l'élevage des poulets (resp. Satinder Kaur Brar; financ. Ministère des Relations internationales et de la Francophonie du Québec - Coopération Québec-Brésil)

Valorisation de résidus

- Biodégradation des plastiques PLA récupérés des centres de tri Gaudreau (resp. Satinder Kaur Brar; financ. CRSNG - Subvention d'engagement partenarial)
- Carbonatation minérale du CO₂ à la cheminée des grands émetteurs à l'aide de béton usé et de scories métallurgiques (resp. Guy Mercier; financ. CRSNG - Programme de l'Idée à l'Innovation; coll. J.-F. Blais)
- Carbonatation minérale et valorisation des scories d'aciérie (resp. Guy Mercier; financ. CRSNG - Subvention d'engagement partenarial)
- Faisabilité de la carbonatation minérale pour la réduction des émissions de CO₂ des alumineries (resp. Guy Mercier; financ. CRSNG - Subvention d'engagement partenarial; coll. J.-F. Blais)
- Nouvelles méthodes de valorisation des résidus industriels pour la réduction des émissions de CO₂ du secteur industriel québécois (resp. Guy Mercier; financ. FRQNT - Projet de recherche en équipe; coll. J.-F. Blais)
- Valorisation des plastiques de la collecte sélective en matériaux composites - Étude de cas (resp. Satinder Kaur Brar; financ. CRSNG - Subvention de recherche et développement coopératifs)

BIOGÉOCHIMIE AQUATIQUE

Écotoxicologie aquatique

- Développement de méthodes de distribution intracellulaire pour déterminer les effets directs et indirects des métaux sur les organismes aquatiques (resp. Patrice Couture; financ. CRSNG - Subvention de recherche et développement coopératifs et Stantec; coll. P.G.C. Campbell)
- Effets sous-létaux des hydrocarbures et des mélanges hydrocarbures/dispersants sur les poissons d'eau douce et les organismes benthiques (resp. Patrice Couture; financ. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec)
- Étude du comportement et de la biodisponibilité de l'uranium, du thorium et de leurs produits de filiation dans des résidus miniers pour des fins de valorisation (resp. Claude Fortin; financ. FRQNT - Partenariat - Développement durable du secteur minier)
- Outils pour l'identification des risques et la validation des effets des éléments dans les écosystèmes nordiques du Canada (TRIVALENCE: Tools for risk identification and validation of the effects of elements in Northern Canadian Ecosystems) (resp. Claude Fortin; financ. CRSNG - Subvention de projets stratégiques; coll. P.G.C. Campbell)

Limnologie

- Influence de la physique et de l'écologie microbienne sur les émissions de gaz à effet de serre par les écosystèmes d'eau douce (resp. Isabelle Laurion; financ. CRSNG - Subvention à la découverte - Suppléments d'accélération et nordique)

HYDROLOGIE

Analyse statistique et modélisation hydrologique

- Amélioration des lois de comportement du vent dans le modèle H2D2 (resp. Yves Secretan; financ. Environnement Canada)
- Cartographie de la probabilité d'inondation en milieu urbain en vue du développement de nouveaux produits d'assurance couvrant les dommages causés par les inondations (resp. Karem Chokmani; financ. CRSNG - Subvention d'engagement partenarial)
- Développement d'un outil de gestion et d'analyse du risque d'inondation (GARI) sur le système transfrontalier du lac Champlain - rivière Richelieu (resp. Karem Chokmani; financ. Défense nationale du Canada; coll. M. Bernier)
- Gestion intégrée des ressources en eau dans la production de canneberges (resp. Alain Rousseau; financ. CRSNG - Subvention de recherche et développement coopératifs)
- Laboratoire d'analyse et de modélisation des habitats aquatiques (resp. Fateh Chebana; financ. Fondation canadienne pour l'Innovation – Fonds des leaders; coll. N. Bergeron, A. St-Hilaire)
- Nouvelle piste de traitement des bancs couvrant/découvrant dans le modèle H2D2 (resp. Yves Secretan; financ. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre changements climatiques du Québec)
- Projet de modèle prévisionnel pour la baignade dans le fleuve à la Baie de Beauport (resp. Yves Secretan; financ. Ville de Québec; coll. S. Duchesne)

Climatologie

- Élaboration de scénarios climatiques pour l'Arctique canadien grâce à des méthodes de post-traitement améliorées (resp. Alain Mailhot; financ. Réseau des centres d'excellence ArcticNet)
- Précipitations extrêmes et lois d'échelle : impacts des cycles climatiques et de la variabilité interne du climat (resp. Alain Mailhot; financ. Consortium Ouranos sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques)

Habitat du poisson

- Cartographie de l'impact des changements climatiques sur l'habitat des salmonidés dans les lacs nordiques du Québec (resp. Yves Gratton; financ. Consortium Ouranos et Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs; coll. I. Laurion, A. St-Hilaire)
- Détermination des vitesses à la sortie d'un ponceau avec seuils permettant le libre passage du poisson (resp. Yves Secretan; financ. Ministère des Transports du Québec)
- Fragmentation de l'habitat du saumon juvénile par les ponceaux routiers et forestiers (resp. Normand Bergeron; financ. Fondation pour la conservation du saumon atlantique)
- Projections des populations de saumon atlantique de la rivière Miramichi en utilisant les simulations climatiques régionales post-AR5 (resp. André St-Hilaire; financ. Fonds en fiducie pour l'environnement du gouvernement du Nouveau-Brunswick)
- Projet de développement de l'indice de qualité de l'habitat (IQH) du saumon atlantique au Québec (resp. Normand Bergeron; financ. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec et Fondation pour la conservation du saumon atlantique)

Hydraulique urbaine

- Capacité d'infiltration des pavés perméables de béton à mortaises et tenons dans un contexte de gestion durable des eaux pluviales (resp. Sophie Duchesne; financ. CRSNG - Subvention d'engagement partenarial)
- Gestion adaptative et durable des eaux pluviales en milieu urbain face à un climat changeant (resp. Sophie Duchesne; financ. FRQNT - Projet de recherche en équipe; coll. A. Mailhot)
- Méthodes avancées de gestion des débordements de réseaux d'égout unitaires (resp. Sophie Duchesne; financ. CRSNG - Subvention d'engagement partenarial)
- Méthode stratégique de rinçage et de suivi de réseaux de distribution d'eau potable (resp. Sophie Duchesne; financ. MITACS - Programme Accélération)

Hydrologie de bassins versants

- Caractérisation de l'impact des opérations aux barrages sur le régime hydrique de tronçons non jaugés de rivières (resp. Alain Mailhot; financ. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec)
- Développement de PHYSITEL 64 bits avec interface graphique pour supporter les applications d'HYDROTEL sur des bassins versants de grande envergure (resp. Alain Rousseau; financ. Hydro-Québec)
- État de situation hydrologique et sédimentaire du bassin versant de la rivière Pot-au-Beurre (resp. Alain Rousseau; financ. Tetra Tech)
- Étude de l'écosystème aquatique de Mactaquac : la science environnementale en soutien au projet sur l'avenir de la centrale Mactaquac (resp. André St-Hilaire; financ. CRSNG - Subvention de recherche et développement coopératifs et Énergie Nouveau-Brunswick)
- Évaluation des impacts des changements climatiques sur les événements hydrologiques extrêmes pour les barrages Mayo et Aishihik (resp. Alain Rousseau; financ. Yukon Energy Corporation)
- Impact des changements climatiques sur la température de l'eau turbinées à la centrale Beauharnois (resp. André St-Hilaire; financ. Consortium Ouranos sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques)
- Méthodes d'estimation des temps de concentration, des hauteurs du ruissellement et des débits de pointe adaptées au contexte du Québec (resp. Alain Mailhot; financ. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec)

SCIENCES DE LA TERRE

Eaux souterraines

- Guides pour le Règlement sur le prélèvement d'eau et sa protection (resp. René Lefebvre; financ. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec)
- Étude du réseau caveurneux de l'arrondissement Beauport : amélioration des connaissances (phase II) et mesures en situation d'abaissement du niveau de la rivière Montmorency (resp. Richard Martel; financ. Ville de Québec; coll. E. Gloaguen)
- Revue de littérature sur le 1,4 dioxane (resp. Richard Martel; financ. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec)

Environnements géologiques et ressources naturelles

- Dans le cadre du chantier technique de l'Évaluation environnementale stratégique sur les hydrocarbures globale et pour l'île d'Anticosti (resp. Michel Malo; financ. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec)
 - Établissement des bassins géologiques analogues aux structures géologiques en Gaspésie, dans le Bas-Saint-Laurent et dans le golfe du Saint-Laurent
 - Évaluation des risques géologiques associés à certaines structures géologiques
 - Meilleures pratiques : gestion des équipements de surface, gestion des rejets de forage, réutilisation et élimination des eaux
 - Meilleures pratiques : travaux de recherche et d'exploitation des hydrocarbures - forage en milieu terrestre
- Développement de « sorties de terrain virtuelles » Web et Google Earth pour l'enseignement de la géologie structurale et tectonique au Québec et en France (resp. Lyal Harris; financ. FRQNT - Partenariats stratégiques en matière d'enseignement et de recherche; coll. M. Malo)
- Études électromagnétique et géoélectrique de hautes puissances appliquées à la prospection de gîtes de sulfures massifs profonds et à la discrimination spectrale de différents types d'anomalies de chargeabilité électrique au Québec (resp. Marc Richer-Lafleche; financ. FRQNT - Partenariat - Développement durable du secteur minier et Falco Resources, Uragold Bay Resources, Durango Resources, Les Mines JAG, Golden Hope Mine; coll. P. Mercier-Langevin, CGC)
- Études géophysiques, géochimique et minéralogique du gîte de silice de Roncevaux, vallée de la Matapédia, Québec (resp. Marc Richer-Lafleche; financ. Uragold Bay Resources)
- Modélisation 3D et potentiel réservoir de la Formation de Sayabec dans le secteur du Bas-Saint-Laurent/Gaspésie (resp. Michel Malo; financ. MITACS - Programme Accélération; coll. J. Raymond)
- Processus éruptifs de volcans de type maar-diatrème (resp. Pierre-Simon Ross; financ. CRSNG - Subvention à la découverte - Supplément d'accélération)

Géophysique

- Amélioration logicielle pour traiter et interpréter des données électromagnétiques de suivi de réservoirs stimulés magnétiquement (resp. Bernard Giroux; financ. Aramco Services Company)
- Développement d'une méthodologie d'assimilation stochastique de données hydrogéologiques et géophysiques afin d'améliorer la caractérisation hydrogéologique des sites d'EDF (resp. Erwan Gloaguen; financ. Électricité de France; coll. B. Giroux, R. Lefebvre)
- Développement d'un système de diagnostic pour la maintenance des ouvrages du génie civil (resp. Bernard Giroux; financ. MITACS - Programme Accélération)
- Nouveaux développements en suivi par écoute microsismique (resp. Bernard Giroux; financ. FRQNT - Partenariat - Développement durable du secteur minier; coll. E. Gloaguen)

Géothermie

- Automatisation des essais de conductivité thermique par servomécanisme facilitant la conception des systèmes géothermiques (resp. Jasmin Raymond; financ. CRSNG - Subvention d'engagement partenarial)
- Évaluation de la performance d'un champ de puits géothermiques (resp. Jasmin Raymond; financ. CRSNG/FRQNT - Bourse BMP Innovation)

- Évaluation des conditions géologiques propices aux systèmes géothermiques dans l'ensemble d'un quartier urbain (resp. Jasmin Raymond; financ. CRSNG - Subvention d'engagement partenarial; coll. E. Gloaguen, M. Malo)

Paléoenvironnements

- Archéométrie : analyses de la composition, de la structure et de la fonction du mobilier archéologique et recherches intégrées en archéologie environnementale (resp. Pierre Francus; financ. FRQSC - Programme de soutien aux équipes de recherche)

TÉLÉDÉTECTION

- AVATIVUT : suivi environnemental et apprentissage des sciences dans les écoles du Nunavik (resp. Monique Bernier; financ. Consortium Ouranos sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques)
- Détection et suivi des fleurs d'eau d'algues bleu-vert (FEA) ou cyanobactéries par télédétection (resp. Karem Chokmani; financ. CRSNG - Subvention d'engagement partenarial)
- Élaboration d'indicateurs de biodiversité spatio-temporels intégrant la télédétection et portrait partiel de la biodiversité du Québec (resp. Monique Bernier; financ. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec)
- Gestion intra-saisonnière de la fertilisation azotée dans la pomme de terre à l'aide de drone (resp. Karem Chokmani; financ. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec - Innov'Action agroalimentaire)
- Identification et analyse des terres disponibles pour fins de remise en cultures à l'aide d'images satellitaires à très haute résolution (resp. Monique Bernier; financ. CRSNG - Subvention d'engagement partenarial)
- Réingénierie logicielle de la procédure IceMAP-R (resp. Monique Bernier; financ. Ressources naturelles Canada)
- Réseau Safe Passage : Recherche sur la glace de mer en vue du développement du Nord (resp. Monique Bernier; financ. Savoir polaire Canada; partenaire princ. Ocean Networks Canada)
- Suivi des glaces de la baie Déception (resp. Monique Bernier; financ. Glencore Raglan Mines; partenaire princ. Administration régionale Kativik)

AUTRE

- Stratégies de contrôle environnemental de systèmes de confinement pour les animaux : état des connaissances, revue des technologies existantes et développement d'indices de confort animal (resp. Alain Rousseau; financ. GSI Électronique)

Les publications

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](#).

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 :

www.ete.inrs.ca/ete/publications/rapports

www.ete.inrs.ca/ete/publications/theses-memoires

Capsules INRSciences

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

Articles de vulgarisation visant à mettre en valeur et à rendre accessible la recherche menée par les étudiants du Centre.

Les activités d'animation

Midis-conférences

Le Centre présente tout au long de l'année des conférences en lien avec ses domaines de recherche.

Congrès, colloques et ateliers

19-22 mai 2015 : Colloque annuel conjoint du [Réseau ÉcoBIM](#) (réseau franco-québécois en environnement aquatique) et du [RÉAQ](#) (Regroupement pour l'écotoxicologie aquatique du Québec) organisé au Centre par le professeur Patrice Couture.

24-30 mai : École d'été sur les sciences du climat et les changements climatiques pour les étudiants aux cycles supérieurs tenue dans Charlevoix. École d'été coorganisée par le professeur Alain Mailhot.

29 juin-3 juillet : Congrès [2nd International Conference on Tomography of Materials and Structures](#) coorganisé à Québec par les professeurs Bernard Long et Pierre Francus.

14-16 octobre : Première rencontre internationale sur les procédés avancés pour l'environnement, l'énergie et la santé (PAEES) coorganisée à Québec par le professeur Patrice Drogui.

28-30 octobre : 16^e congrès de l'[Association québécoise de télédétection \(AQT\)](#) tenu au Centre sous le thème « 40 ans de science, d'applications et de services à la société ».

4-6 novembre : Passé, Présent et Futur : 3 perspectives de l'environnement, premier [congrès étudiant Eau Terre Environnement](#).

18 mars 2016 : [17^e édition de la Journée des Sciences de la Terre et de l'Environnement \(JSTE\)](#) tenue au Centre. La JSTE est un événement annuel permettant aux étudiants de cycles supérieurs en géosciences à Québec de présenter leur projet de recherche.

L'excellence de la recherche

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

François Lapointe, doctorant dans l'équipe de Pierre Francus, a obtenu la prestigieuse bourse W. Garfield Weston de la Fiduciaire canadienne d'études nordiques. D'une valeur de 50 000 \$, cette bourse reconnaît l'excellence du dossier universitaire, l'engagement en recherche dans le Nord et la qualité des travaux de recherche.

En octobre 2015, Marc Laurencelle, doctorant dans l'équipe de René Lefebvre, a reçu le prix Joseph Tóth pour le meilleur article étudiant en hydrogéologie remis par la Section nationale canadienne (SNC) de l'Association internationale des hydrogéologues (AIH). Ce prix vise à inciter les étudiants et diplômés à participer aux congrès de l'AIH-SNC pour y présenter leurs recherches.

Aussi en octobre, avait lieu à Chicago, la finale nord-américaine de la compétition annuelle de communication scientifique EURAXESS Science Slam. La capsule vidéo conçue par Louise-Emmanuelle Paris, étudiante à la maîtrise dans l'équipe de Claude Fortin, lui a valu une 3^e position.

En novembre, Anne Crémazy, diplômée au doctorat sous la direction de Claude Fortin, a reçu le prestigieux prix Chris Lee Award for Metals Research décerné par la SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry). Ce prix est remis annuellement à un diplômé dont les recherches ont porté sur le destin ou les effets des métaux dans l'environnement.

Également en novembre, Charles Gignac, étudiant au doctorat dans l'équipe de Monique Bernier, a obtenu la toute première bourse de la relève de la Société de développement économique du Saint-Laurent (SODES). Cette bourse récompense un étudiant aux cycles supérieurs dont les recherches sont en lien avec l'industrie maritime.

En 2016, Nathalie Schnitzler, étudiante dans l'équipe de Pierre-Simon Ross, a reçu une bourse de maîtrise du consortium DIVEX (Diversification de l'EXploration minérale au Québec).

Deux étudiants ont reçu des prix pour la qualité de leur communication scientifique. En janvier, Geneviève Rioux, à la maîtrise dans l'équipe de Claude Fortin, a obtenu le premier prix pour son affiche présentée au congrès Gananoque Environmental Sciences and Engineering Conference. En février, Saurabh Kumar Ram, au doctorat dans l'équipe de Rajeshwar Dayal Tyagi, a été récompensé d'un des prix pour la meilleure présentation orale étudiante au colloque régional du centre du Canada de l'Association canadienne sur la qualité de l'eau.

Aussi en février, l'entreprise minière Integra Gold annonçait les gagnants de son défi Gold Rush, un concours qui visait à localiser le prochain gisement d'or pour relancer les opérations minières à partir d'une gigantesque base de données, avec à la clé, un million de dollars en prix! Les Data Miners, une équipe étudiante en majorité de l'INRS, a terminé deuxième derrière une équipe de professionnels.



L'équipe des Data Miners était composée d'Antoine Caté, Vincent Dubé-Bourgeois, Sarane Sterckx, Nathalie Schnitzler et William Oswald, de l'INRS, et de Fabien Rabayrol de l'Université de la Colombie-Britannique (absent de la photo)

Enfin, lors de la collation des grades 2015-2016 de l'INRS, plusieurs diplômés du Centre se sont distingués :

- Prix pour la meilleure thèse de doctorat : Maikel Rosabal Rodriguez, diplômé en sciences de l'eau sous la direction de Landis Hare.
- Prix pour le meilleur mémoire de maîtrise : Isabelle Fournier, diplômée en sciences de l'eau sous la direction de Patrice Couture.
- Prix pour l'innovation : Martin Blouin, diplômé du doctorat en sciences de la Terre, pour la mise au point d'une méthode d'imagerie haute résolution de dépôts meubles et la création avec un collègue de l'entreprise MBMS Solution.
- Prix du rayonnement international : Benjamin Barst, diplômé du doctorat en sciences de l'eau, pour sa participation à plusieurs conférences internationales et la publication de trois articles dans deux des plus grandes revues de son domaine.
- Prix du leadership étudiant : Audrey Maheu, diplômée du doctorat en sciences de l'eau, pour son implication dans l'organisation du congrès 2016 de l'Association canadienne des ressources hydriques et la mise sur pied d'un atelier sur la gouvernance de l'eau au Québec.

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

En mai 2015, la professeure Satinder Kaur Brar a été honorée lors du gala Femmes de mérite du YWCA de Québec dans la catégorie Sciences et technologie.

En septembre, lors de la conférence annuelle GéoQuébec, le professeur Jasmin Raymond a reçu le prix Colloquium Lecture de la Société canadienne de géotechnique pour souligner l'intérêt de sa présentation pour la communauté géotechnique canadienne.

En novembre, lors de la cérémonie des prix de reconnaissance 2015 du secteur des sciences de la Terre de Ressources naturelles Canada, Lyal Harris (INRS) et Jean Bédard (Commission géologique du Canada) ont été récompensés pour leur modèle géologique novateur pour l'Archéen sans plaques tectoniques : la Terre comparée à Vénus.

Enfin, Yves Gauthier, agent de recherche dans l'équipe de Monique Bernier, a lui aussi été honoré en cours d'année. Il a reçu le prix

Ferdinand-Bonn de l'Association québécoise de télédétection en reconnaissance de son implication et sa contribution exceptionnelle au rayonnement de la télédétection au Québec.

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.

Tout au long de l'année, des membres du Centre ont animé des chroniques radio de vulgarisation scientifique à l'émission *Futur simple* de CKRL : Mariem Fadhlou et Audrey Moffet (au doctorat avec P. Couture), Louise-Emmanuelle Paris (à la maîtrise avec C. Fortin), Jean-Philippe Jenny (stagiaire postdoctoral avec P. Francus), François Clayer et Alexandre Royer-Lavallée (au doctorat et à la maîtrise avec C. Gobeil), Cindy Beaulieu (à la maîtrise avec G. Mercier) et la professeure Isabelle Laurion.

Au courant de l'automne 2015, le professeur Erwan Gloaguen, titulaire de la Chaire de recherche en assimilation de données géophysiques et géologiques pour la modélisation géologique stochastique a accordé plusieurs entrevues à des médias électroniques afin d'expliquer le concept du concours de la compagnie Integra Gold visant à trouver de l'or dans une base de données.

En septembre, le professeur Michel Malo a été l'un des experts invités pour une chronique intitulée « Old Harry, entre pactole et mirage » de l'émission de radio de vulgarisation scientifique *Les Années lumière* de Radio-Canada.

Dans sa revue des percées scientifiques de fin d'année, le quotidien *Le Soleil* a publié un article intitulé « Safari aux gaz dans l'Arctique » portant sur les travaux de Frédéric Bouchard, stagiaire postdoctoral dans l'équipe d'Isabelle Laurion.

En 2016, deux événements de vulgarisation ont été tenus. Le 3 mars, une visite pour faire découvrir les installations de recherche du Centre a été organisée pour les étudiants collégiaux et universitaires de la région. Le 12 mars avait lieu la journée *Les filles et les sciences* visant à faire connaître aux adolescentes de la région les professions scientifiques et technologiques. Plusieurs étudiants du Centre ont participé avec enthousiasme à l'animation de cette journée.



Trois étudiantes de l'INRS animant un atelier lors de la journée Les filles et les sciences

Enfin le 23 avril, le Centre a participé à l'activité de vulgarisation sur les sciences de la Terre du Centre géoscientifique de Québec (CGQ) qui se tient chaque année dans le cadre du Jour de la Terre.

Les programmes d'études

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

Six programmes 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. Un parcours de bidualation avec l'Institut supérieur des hautes études en développement durable (ISHÉDD) au Maroc est disponible pour le programme de maîtrise de recherche en sciences de l'eau.

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 d'étude.

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

Troisième cycle

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



Une étudiante ambassadrice du Centre qui prend son rôle à coeur!

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/recherche/stages-postdoctoraux

Stages d'été au Centre :

www.stages.ete.inrs.ca



Des étudiants du professeur Claude Fortin sur le terrain au Nunavik à l'été 2015

Professeurs-chercheurs

Yves Bégin
Mario Bergeron
Normand E. Bergeron
Monique Bernier
Jean-François Blais
Satinder Kaur Brar
Peter G.C. Campbell*
Fateh Chebana
Karem Chokmani
Patrice Couture
Patrick Drogui
Sophie Duchesne
Claude Fortin
Pierre Francus
Jannette B. Frandsen**
Bernard Giroux
Erwan Gloaguen
Charles Gobeil
Yves Gratton
Landis Hare
Lyal Harris
Pierre Lafrance*
Isabelle Laurion
René Lefebvre
Alain Mailhot
Michel Malo
Richard Martel
Guy Mercier
Taha B.M.J. Ouarda
Claudio Paniconi
Jasmin Raymond
Marc Richer-Laflièche
Pierre-Simon Ross
Alain N. Rousseau
Yves Secretan
André St-Hilaire
Rajeshwar Dayal Tyagi
Jean-Pierre Villeneuve

Professeurs émérites

Bernard Bobée
Georges Drapeau
Michel Slivitzky

Professeurs honoraires

Aïcha Achab
Jean-Christian Auclair
Jean-Pierre Fortin
Michel Leclerc
Sinh Lequoc
Bernard Long
Guy Morin
Jean-Louis Sasseville
Alain Soucy
Normand Tassé
André Tessier

Professeurs associés

Jason M.E. Ahad, Commission géologique du Canada, bureau de Québec (CGC-Québec)
Jean H. Bédard, CGC-Québec
Christian Bégin, CGC-Québec
Sébastien Castonguay, CGC-Québec
Louise Corriveau, CGC-Québec
Benoît Dubé, CGC-Québec
Mathieu J. Duchesne, CGC-Québec
Michel Houlié, CGC-Québec
Denis Lavoie, CGC-Québec
Patrick Mercier-Langevin, CGC-Québec
Yves Michaud, CGC-Québec
Jean Morin, Environnement Canada
Miroslav B. Nastev, CGC-Québec
Michel A. Parent, CGC-Québec
Didier Perret, CGC-Québec
Nicolas Pinet, CGC-Québec
Christine Rivard, CGC-Québec
Alfonso Rivera, CGC-Québec
Martine M. Savard, CGC-Québec
Bernard Vigneault, CGC-Québec

Professeurs invités

Belkacem Abdous, Université Laval
Simon Barnabé, UQTR
Louis Bernatchez, Université Laval
Marie-Amélie Boucher, UQAC
Thomas Buffin-Bélanger, UQAR
Daniel Caissie, Pêches et Océans Canada
Michel Chouteau, École Polytechnique de Montréal
Simon Charles Courtenay, Pêches et Océans Canada
Richard A. Cunjak, Canadian Rivers Institute, University of New-Brunswick
Sylvie Daniel, Université Laval
Jean-Pierre Dedieu, LARHRA - CNRS (France)
Julian Dodson, Université Laval
Paul Drevnick, University of Michigan (États-Unis)
Salah-Eddine El Adlouni, Université de Moncton
Nassir El-Jabi, Université de Moncton
Anne-Catherine Favre, Université de Grenoble (France)
Philippe Gachon, UQAM
Jaime Max Gárfias Soliz, Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA, Mexique)
Pierre-Louis Gosselin, Institut national de la santé publique du Québec (INSPQ)
Sylvio J. Gumiere, Université Laval
Katy Haralampides, University of New-Brunswick
Klaus Holliger, Université de Lausanne (Suisse)
Eric Lee Johnson, Hartwick College (New York, États-Unis)
Sylvain Jutras, Université Laval
Sandra Kentish, University of Melbourne (Australie)
Scott Lamoureux, Queen's University
Véronique Lapaige, Université de Montréal
Isabelle Larocque-Tobler, Université de Berne (Suisse)
Jean-Louis Morel, Institut national polytechnique de Lorraine (INPL, France)
Mir Abolfazl Mostafavi, Université Laval
Reinhard Pienitz, Université Laval

* retraite en cours d'année

** départ en cours d'année

John F. V. Riva, retraité, Université Laval
Fabiola Sandoval-Salas, Instituto tecnológico superior de Perote
(Mexique)
Marie-Odile Simonnot, INPL (France)
Bruno Tremblay, Université McGill
Jean Érik Tremblay, Université Laval
Gozo Tsujimoto, Kobe City College of Technology (Japon)
José R. Valéro, retraité, Service canadien des forêts
Mih Tran Y, Vietnam Academy for Science and Technology
(Vietnam)
Fumihiko Yamada, Kumamoto University (Japon)
Fatiha Zidane, Université Hassan II (Maroc)

Chercheurs invités

Guy Ampleman, Recherche et Développement pour la défense
Canada (RDDC) - Valcartier
Patrick Atheba, Université Félix Houphouët Boigny (Côte
d'Ivoire)
Antonio Avalos Ramirez, Centre national en électrochimie et en
technologies environnementales (CNETE)
Gilles Bellefleur, Commission géologique du Canada
Rudolf Bertrand, retraité, Centre Eau Terre Environnement de
l'INRS
Simon Besner, Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ)
Claudia Blais, Institut national de la santé publique du Québec
(INSPQ)
Gerardo Buelna, Centre de recherche industrielle du Québec
(CRIQ)
Athyna Cambouris, Agriculture et Agroalimentaire Canada
François Caron, retraité, Ministère des Ressources naturelles du
Québec
Daniel Caya, Consortium Ouranos
Catherine Couillard, Pêches et Océans Canada
Mélanie Desrosiers, Ministère du Développement durable,
de l'Environnement et de la Lutte contre les changements
climatiques (MDDELCC)
Bernard Doyon, Collège F.X. Garneau
Sylvie Dufour, CNRS (France)
Peter S. Galbraith, Pêches et Océans Canada
David Huard, Consortium Ouranos
Amélie Janin, Yukon Research Centre
Yann Le Bihan, CRIQ
Yvon Maranda, retraité, MDDELCC
Stéphane Masson, Parc Aquarium du Québec
Emma Michaud, CNRS (France)
Marie Minville, Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ)
Luc Perreault, IREQ
Louis Prieur, Observatoire océanologique de Villefranche-sur-Mer
(France)
André Pugin, Commission géologique du Canada
Milla Rautio, UQAC
Rao Y. Surampalli, United States Environmental Protection
Agency (EPA, États-Unis)
Sonia Thiboutot, RDDC - Valcartier
Richard Turcotte, Centre d'expertise hydrique du Québec
Marc Alex Vallée, CGG Geoscience

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. Dotés d'équipements permettant l'expérimentation préindustrielle essentielle à l'analyse de la viabilité économique des innovations, ces laboratoires constituent un atout majeur pour les entreprises québécoises et canadiennes.

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.

Les **laboratoires de recherche** sont localisés sur le campus urbain de l'Université du Québec au centre-ville de Québec. Ils comprennent un ensemble très complet d'équipements d'analyse essentiels à la recherche avancée ainsi que d'importantes capacités de modélisation et de traitement de données. Le Centre dispose notamment d'une salle blanche de classe 1000 incluant un espace de travail de classe 100, de salles environnementales pour des expériences à température contrôlée et d'équipements de préparation d'échantillons géologiques.



Laboratoires au parc technologique



Station de recherche CIRSA de l'INRS au Saguenay

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.

POUR EN SAVOIR PLUS, VEUILLEZ CONTACTER : **Carole Parent**, agente de valorisation, carole.parent@ete.inrs.ca, 418 654-2531

LABORATOIRES DE RECHERCHE

Les laboratoires de recherche comprennent un laboratoire général et plusieurs laboratoires spécialisés ainsi que des salles de microscopie et de préparation des échantillons. Les laboratoires spécialisés 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).

POUR EN SAVOIR PLUS, VEUILLEZ CONTACTER : **Stéfane Prémont**, responsable des laboratoires, 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 le principe de 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. Des mesures de la susceptibilité magnétique sont également possibles.



Scanographe de microfluorescence X (ITRAX)

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.

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE :

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

ete.inrs.ca/giras

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/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 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

Ces instruments appuient les recherches 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.



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

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 tomodynamométrie 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 finie 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).

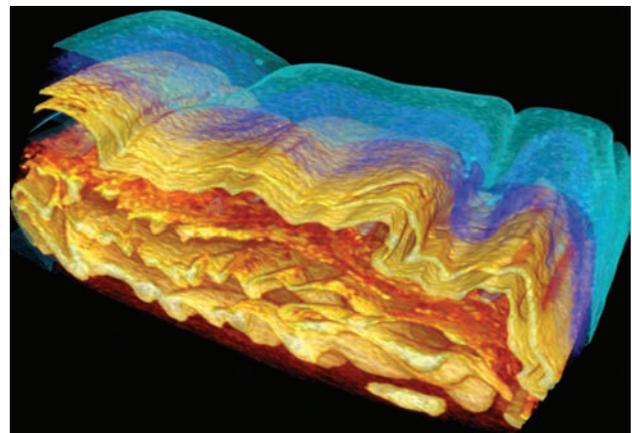


Image en 3D d'un modèle de plissement durant l'écoulement canalisé

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE :

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

Téledétection appliquée

Traitement et analyse d'images d'observation de la terre en vue de cartographier et de modéliser les phénomènes liés notamment à la ressource en eau dans un environnement nordique

L'utilisation d'images satellitaires radars (RADARSAT, TerraSAR-X, ALOS-PALSAR) et optiques (GeoEye, Quickbird, RapidEye, NOAA, Landsat-8, MODIS) permet le développement d'applications pour la mesure et le suivi des ressources hydriques, cryosphériques (neige, glace, sol gelé), éoliennes et plusieurs autres. Le Centre dispose d'une banque de plusieurs centaines d'images, en plus de logiciels spécialisés pour le traitement et l'analyse de celles-ci (Geomatica, eCognition, ArcGIS et MATLAB) et pour l'automatisation des routines.



Aéronefs sans pilote pour la télédétection hyperspectrale

Le laboratoire possède également un système aéroporté léger de télédétection hyperspectrale (SALTH) comprenant deux aéronefs sans pilote (un hélicoptère et un multirotor) et deux caméras hyperspectrales (400-1700 nm). D'autres capteurs sont disponibles dont une caméra infrarouge thermique, une caméra multispectrale à filtres interchangeable et un appareil photo numérique.

De plus, les mesures réalisées grâce à l'instrumentation de terrain (carottiers à neige, géoradar, GPS, caméra GPS, station météo, thermocouples et sondes d'humidité) permettent l'étalonnage et la validation des algorithmes développés par les chercheurs.

RESPONSABLES SCIENTIFIQUES :

Monique Bernier, monique.bernier@ete.inrs.ca

SALTH : **Karem Chokmani**, karem.chokmani@ete.inrs.ca

Modélisation hydrologique

Plusieurs logiciels de modélisation hydrologique ont été développés au Centre.

En appui à l'hydraulique fluviale

H2D2/MODELEUR : H2D2 est un logiciel modulaire et extensible utilisant la méthode des éléments finis pour résoudre des équations de Saint-Venant, de convection-diffusion avec différentes cinétiques et de transport des sédiments de fond. Il peut être couplé au logiciel MODELEUR, un système d'information géographique (SIG) spécialisé dans le domaine de l'hydraulique fluviale.

gre-ehn.ete.inrs.ca/H2D2

En appui à la gestion des eaux de surface à l'échelle des bassins versants

HYDROTEL/PHYSITEL : HYDROTEL est un modèle hydrologique distribué intégrant des données de télédétection et de SIG. Il permet de simuler toute une gamme de processus hydrologiques tels que les apports aux réservoirs hydroélectriques, les crues maximales probables afin d'évaluer la sécurité des barrages, le rôle des milieux humides et de l'aménagement du territoire dans l'hydrologie des bassins versants. PHYSITEL est un SIG spécialisé permettant de préparer la base de données pour différents modèles hydrologiques distribués.

GIBSI : Système de modélisation intégrée (quantité et qualité de l'eau de surface) et de gestion des données attributs et spatiales d'un bassin versant incluant un système de gestion de la base de données et un SIG. GIBSI est un outil d'aide à la décision qui permet aux gestionnaires de l'eau d'explorer divers modes d'aménagement des ressources et du territoire à l'échelle du bassin versant comme l'évaluation de pratiques de gestion bénéfiques d'assainissement agricole (ex. bandes riveraines, plan agroenvironnemental de fertilisation) et l'évaluation des risques de contamination ponctuelle et diffuse des sources d'eau potable.

RESPONSABLES SCIENTIFIQUES :

H2D2/MODELEUR : **Yves Secretan**, yves.secretan@ete.inrs.ca

HYDROTEL/PHYSITEL et GIBSI : **Alain N. Rousseau**, alain.rousseau@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 enrochement
- 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 tomodynamomètre (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 :
Yves Gratton, yves.gratton@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.

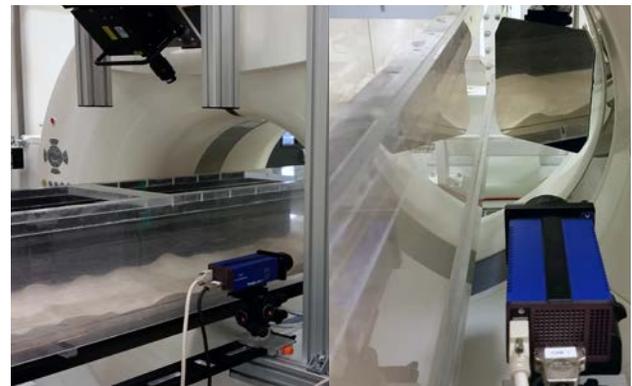
Différents dispositifs confèrent à cet équipement une flexibilité d'application unique. Le tomodensitomètre est sensible à des variations de densité de 0,1%. Il est doté d'une ouverture de 78 cm de diamètre et d'une configuration sources/détecteurs permettant des mesures à 360° autour du corps analysé. 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.

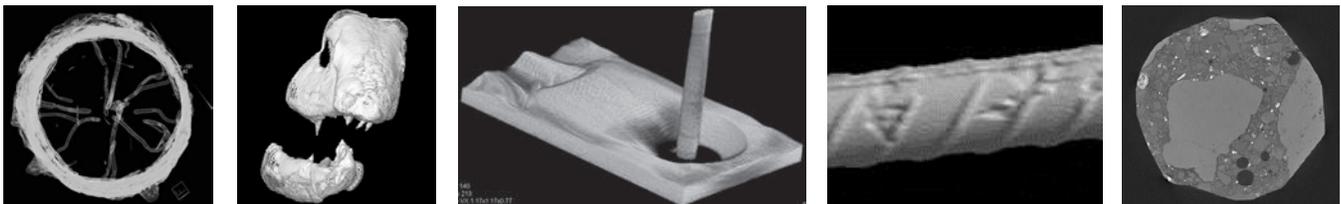
Les champs d'application de cet équipement d'une grande précision sont multiples et extrêmement variés: génie maritime (mesure du transport sédimentaire), génie géologique (risques géologiques et comportement des hydrates de gaz), hydrogéologie (migration des fluides et des polluants), foresterie (impacts 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

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE:
Pierre Francus, pierre.francus@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 microbiens et fongiques, des inoculants microbiens, 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 cytofluorimètre.



Centrifugeuse en continu

CHEF DES OPÉRATIONS :

Mathieu Drouin, mathieu.drouin@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, des solides que 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



Décanteurs lamellaires 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

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/électroflocculation 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 multiphase 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 mesures permettant la caractérisation des sols et des phases aqueuses et organiques échantillonnés lors des essais (granulométrie, courbe caractéristique, densité, viscosité, tension interfaciale, angles de contact)



Essai d'extraction multiphase 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 enfoncement (pénétration au cône) dans les dépôts meubles et l'autre est munie d'un marteau hydraulique pour faire des sondages par rotoperçusion jusqu'à 50 m dans le roc et les dépôts meubles selon les conditions.



Foreuse Geotech sur le terrain

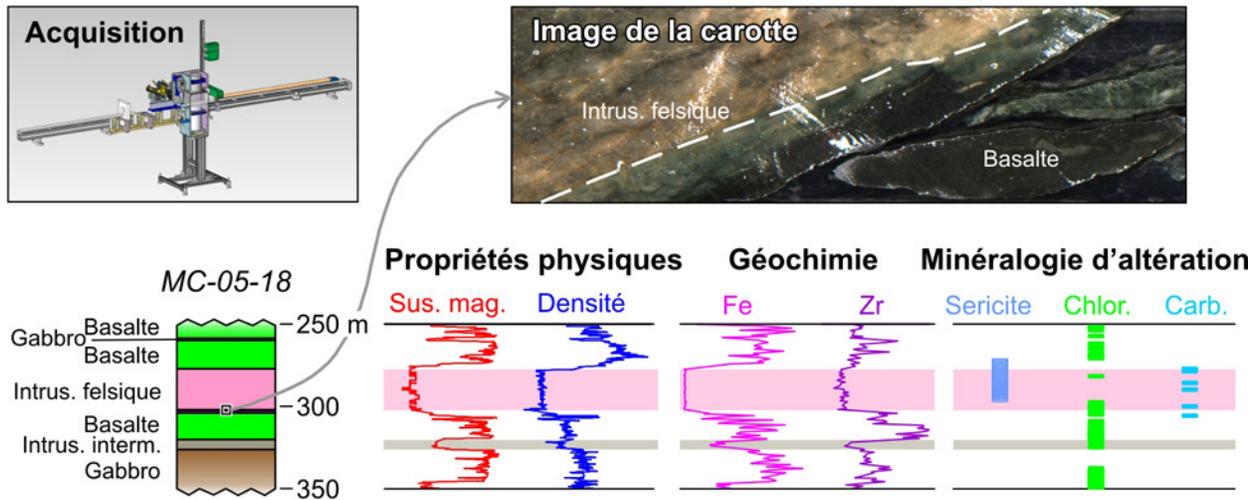
RESPONSABLE SCIENTIFIQUE :

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 méthodes et technologies 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



Levé sur glace

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

