

CENTRE EAU TERRE ENVIRONNEMENT

Rapport annuel 2019-2020



Institut national
de la recherche
scientifique

INRS.CA

Rapport annuel du 1^{er} mai 2019 au 30 avril 2020

Disponible en format électronique : <https://inrs.ca/inrs/planification-strategique/programmations-scientifiques-et-rapports-dactivite/>

Rédaction et mise en page

Mathilde Renaud

Révision

Jean-Daniel Bourgault

Crédits photo

Hachem Agili, Paschale Bégin, Denis Bernier, Sylvia Bonilla, Laétitia Boudaud, Denis Chalifour, Karem Chokmani, Clément Clerc, Arnaud De Coninck, Mathieu Des Roches, Mariem Fadhlouli, Christian Fleury, Lyal Harris, Clémence Jouveau du Breuil, Valérie Langlois, Isabelle Laurion, Michel Leclerc, Josée Lecompte, René Lefebvre, Antoine Nicault, Louis-César Pasquier, Sylvain Perrier, Danaé Pitre, Jimmy Poulin, Jasmin Raymond, Marc Richer-Laflièche, Thomas Robert, Renaud Soucy La Roche

Pour information

Institut national de la recherche scientifique

Centre Eau Terre Environnement

490, de la Couronne

Québec (Québec) G1K 9A9

CANADA

Téléphone : 418 654-INRS

Courriel : info@ete.inrs.ca

Site Internet : www.inrs.ca

© INRS, Centre Eau Terre Environnement, 2020

Dépôt légal, Bibliothèque nationale du Québec

Dépôt légal, Bibliothèque et Archives Canada

CENTRE EAU TERRE ENVIRONNEMENT

Institut national de la recherche scientifique

L'Institut national de la recherche scientifique (INRS) est dédié à la recherche fondamentale et appliquée, aux études de cycles supérieurs et à la formation de chercheurs. L'Institut oriente ses activités vers le développement économique, social et culturel du Québec, tout en assurant le transfert des connaissances et des technologies dans l'ensemble des secteurs où il œuvre. 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 interdisciplinaires :

- **Eau Terre Environnement (Québec)**
- Énergie Matériaux Télécommunications (Varenes et Montréal)
- Armand-Frappier Santé Biotechnologie (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 thématiques de recherche :

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

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





C'est avec grand plaisir que nous présentons le rapport annuel du Centre Eau Terre Environnement de l'Institut national de la recherche scientifique pour l'année 2019-2020.

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

Ce rapport fait état des avancées de l'année dans les axes de recherche du Centre. Citons d'abord l'arrivée de cinq nouveaux chercheurs dans les domaines des biotechnologies, de la géochimie, de la géomatique, de la géologie structurale et du génie côtier. Ensuite, le financement d'un nouveau laboratoire en écologie microbienne aquatique permettra l'épanouissement de cet axe de recherche. Citons également des exemples de projets de recherche, dont un modèle de prévision des extrêmes de mortalité et de morbidité liés à la météo, une collaboration franco-québécoise pour étudier l'effet du passage des bateaux sur l'érosion des berges, une recherche transdisciplinaire sur l'accès à l'eau potable dans les communautés nordiques et un projet d'équipe pour une valorisation des digestats de biométhanisation. Ces quelques exemples de nouveaux projets, parmi d'autres, font état du dynamisme de notre corps professoral et de leurs équipes de recherche.



Photo du haut : Île Bylot, un des sites d'étude de l'équipe de microbiologie aquatique; photos du bas : nouveaux professeurs arrivés au Centre entre avril 2019 et janvier 2020 : Kokou Adjallé, Geneviève Bordeleau, Saïed Homayouni, Renaud Soucy La Roche et Jacob Stolle.

Le présent rapport se veut donc un survol des réalisations du Centre pour l'année 2019-2020. 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.

Jean-François Blais, directeur
André St-Hilaire, directeur par intérim



Assainissement et valorisation 2019-2020

Chaque canadien produit annuellement plus de 700 kg de déchets solides; ces déchets ont un énorme 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 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 boues d'épuration et de sols et résidus contaminés. Les procédés élaborés font régulièrement l'objet de brevets et de transferts technologiques vers les entreprises.

Des exemples de recherche et de formation appliquées aux défis actuels

Des biomasses à valoriser

L'obtention de produits à valeur ajoutée, tels que les biocarburants et les biomatériaux, à partir de biomasses lignocellulosiques (forestières ou agricoles) représente une alternative écologique aux produits dérivés des matières fossiles. Ces biomasses, principalement composées de cellulose, hémicellulose et lignine, constituent une matière première abondante, renouvelable et à faible coût. Cependant, l'un des défis de leur valorisation est le développement d'un procédé efficace de prétraitement permettant de retirer le plus possible de lignine (composant essentiel de la paroi cellulaire des plantes) afin d'améliorer la conversion biochimique des autres composants. Dans ce programme de recherche, deux procédés écologiques et économiques de prétraitement, l'extrusion réactive et la biodélicignification, seront optimisés et combinés en vue de rentabiliser la valorisation de ces biomasses.



Photo : Asea! (CC BY-NC-SA 2.0) via flickr

Un pesticide à dégrader

L'atrazine, l'un des pesticides les plus utilisés en Amérique du Nord, se retrouve partout dans l'environnement, et même dans l'eau potable. Ce pesticide n'est pas dégradé efficacement par les traitements des eaux conventionnels. Deux professeurs de l'INRS ont combiné leurs expertises pour développer un nouveau procédé pour dégrader l'atrazine sans utiliser de produits chimiques. Les chercheurs ont optimisé un procédé existant, la photo-électro-catalyse, dans lequel la lumière et un potentiel électrique génèrent à la surface d'électrodes des radicaux libres qui interagissent avec les molécules d'atrazine et les dégradent. Le procédé a été testé avec succès sur des échantillons d'une rivière d'une région agricole du Québec, mais des améliorations sont encore à venir.



Photo : aqua.mech (CC BY 2.0) via flickr

Du CO₂ à fixer

Dans le but de réduire les quantités de CO₂ émises dans l'atmosphère, la capture, le stockage et la valorisation du CO₂ sont une solution incontournable. La valorisation du CO₂ vise à transformer ce gaz que l'on considère comme un déchet en une matière première. Jumeler la valorisation du CO₂ à celle des matières résiduelles est la démarche au centre des travaux de l'équipe de carbonatation industrielle de l'INRS. En utilisant la carbonatation minérale, le groupe donne une seconde vie aux résidus miniers, industriels et autres matières alcalines (contenant du Mg, Ca et Fe) en stabilisant le CO₂ sous forme solide. Ces travaux mènent vers des technologies innovantes et de nouveaux matériaux qui intègrent les principes de développement durable et d'économie circulaire.



Grands thèmes abordés et chercheurs impliqués



ASSAINISSEMENT ET VALORISATION

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

Patrick Drogui | Électrotechnologies et traitements des eaux
patrick.drogui@ete.inrs.ca

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



BIOTRANSFORMATION

Kokou Adjallé | Biotechnologies environnementales
kokou.adjalle@ete.inrs.ca

Rajeshwar Dayal Tyagi | Bioconversion de résidus
rd.tyagi@ete.inrs.ca

Quelques publications récentes

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

- Chen J, **Adjalle KD**, Lai TT, Barnabé S, Perrier M et Paris J (2019). Effect of mechanical pretreatment for enzymatic hydrolysis of woody residues, corn stover and alfalfa. *Waste and Biomass Valorization*, EN LIGNE.
<https://doi.org/10.1007/s12649-019-00856-x>
- **Cuprys A, Lecka J**, Proulx F, Brar SK et **Drogui P** (2019). Appearance of ciprofloxacin/chlortetracycline-resistant bacteria in waters of Quebec City in Canada. *Journal of Infection and Public Health*, 12 (6): 897-899.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jiph.2019.04.012>
- **Du Breuil C, Pasquier L-C**, Dipple GM, **Blais J-F**, Iliuta MC et **Mercier G** (2019). Mineralogical transformations of heated serpentine and their impact on dissolution during aqueous-phase mineral carbonation reaction in flue gas conditions. *Minerals*, 9 (11): Art. 680.
<http://dx.doi.org/10.3390/min9110680>
- **Komtchou S**, Delegan N, **Dirany A, Drogui P**, Robert D et El Khakani MA (2020). Photo-electrocatalytic oxidation of atrazine using sputtered deposited TiO₂: WN photoanodes under UV/visible light. *Catalysis Today*, 340 (Janvier): 323-333.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.cattod.2019.04.067>
- **Mouedhen I**, Coudert L, **Blais J-F** et **Mercier G** (2019). Prediction of physical separation of metals from soils contaminated with municipal solid waste ashes and metallurgical residues. *Waste Management*, 93 (Juin): 138-153.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2019.05.031>

Une diversité de partenaires de recherche

- BOSK bioproduits
- Consortium de recherche et innovations en bioprocédés industriels au Québec (CRIBIQ)
- Consortium de recherche et d'innovation en transformation métallique (CRITM)
- ECO₂
- Gouvernement du Québec (Environnement, Transports)
- Gouvernement du Canada (Ressources naturelles, Santé)
- Plasma-Québec
- Ville de Québec



Biogéochimie aquatique

2019-2020

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 dans les écosystèmes.

Au Centre Eau Terre Environnement de l'INRS, des recherches sont menées sur la dispersion des contaminants, l'assimilation et les effets chez les organismes vivants et la détection des changements environnementaux dans les écosystèmes. On étudie également le fonctionnement des écosystèmes aquatiques ainsi que le rôle qu'ils jouent sur le climat.

Des exemples de recherche et de formation appliquées aux défis actuels

Un métal potentiellement toxique

Le bismuth (Bi) est de plus en plus utilisé, dans certains cas en remplacement du plomb, dans de nombreux alliages et des cosmétiques par exemple. Sa présence croissante dans le milieu naturel et son potentiel toxique peu connu font qu'il est pertinent de l'inclure dans les analyses de risques et les études d'impacts environnementaux. Comme les autres métaux, le Bi peut menacer l'intégrité des écosystèmes aquatiques et altérer la chaîne trophique. Un projet de recherche de l'INRS vise à quantifier l'impact de ce métal en eau douce sur les premiers niveaux trophiques qui sont susceptibles d'entraîner des répercussions importantes sur l'écosystème. Ce projet permettra également de développer de nouveaux outils d'évaluation et de suivi des milieux contaminés.



Un dégel lourd de conséquences

Avec le réchauffement climatique, le pergélisol dégèle. Lorsque le pergélisol est riche en glace et en matière organique, ce dégel crée de petites mares qui émettent d'importantes quantités de gaz à effet de serre (GES). Un projet de recherche interdisciplinaire impliquant des chercheurs de l'INRS et des universités McGill et de Montréal s'intéresse au rôle des processus microbiens du sol dans ces émissions. Ces mares sont en contact avec les sols adjacents qui s'affaissent et s'érodent, mais à certains endroits, les plantes aquatiques et les biofilms prennent le dessus et stabilisent le sol. L'échantillonnage sur le terrain dans un continuum sol-eau sera combiné avec des expériences d'incubation sur les sols et les sédiments des mares afin de déterminer quelles variables microbiennes et biogéochimiques contrôlent les patrons d'émission de GES observés et surtout l'âge du carbone émis.



Un équilibre perturbé

Les milieux humides abritent une grande diversité d'espèces. Bon nombre d'insectes s'y reproduisent et servent de nourriture aux amphibiens qui à leur tour sont mangés par les oiseaux. Une équipe de recherche de l'INRS qui s'intéresse en particulier aux grenouilles a commencé à étudier le Bti. Ce biopesticide est appliqué dans les milieux humides près des zones habitées pour réduire la reproduction des insectes piqueurs. En s'attaquant à certaines larves d'insectes, le Bti élimine ce maillon de la chaîne alimentaire. Les grenouilles pourraient aussi être affectées par le Bti, et dans ce cas, ne joueraient plus leur rôle dans le contrôle des populations d'insectes. C'est tout l'équilibre écologique de l'écosystème qui en serait perturbé.



Grands thèmes abordés et chercheurs impliqués



ÉCOTOXICOLOGIE

Patrice Couture | Poissons d'eau douce
patrice.couture@ete.inrs.ca

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

Landis Hare | Écologie d'eau douce
landis.hare@ete.inrs.ca

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



LIMNOLOGIE

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

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

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

Quelques publications récentes

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

- **Chen Aharchaou I, Beaubien C, Campbell PGC et Fortin C** (2020). Lanthanum and cerium toxicity to the freshwater green alga *Chlorella fusca*: applicability of the biotic ligand model. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 39 (5): 996-1005.
<http://dx.doi.org/10.1002/etc.4707>
- Beirao J, **Bailion L**, Litt MA, **Langlois VS** et Purchase CF (2019). Impact of crude oil and the dispersant Corexit™ EC9500A on capelin (*Mallotus villosus*) embryo development. *Marine Environmental Research*, 147 (Mai): 90-100.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2019.04.004>
- Bertucci A, Pierron F, Ye T, Gonzalez P, **Couture P** et Baudrimont M (2019). Identification and expression of microRNAs in european eels *Anguilla anguilla* from two natural sites with different pollution levels. *Environmental Pollution*, 250 (Juillet): 274-283.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.029>
- **Kochoni GMÉ et Fortin C** (2019). Iron modulation of copper uptake and toxicity in a green alga (*Chlamydomonas reinhardtii*). *Environmental Science & Technology*, 53 (11): 6539-3545.
<http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.9b01369>
- **Lavoie I**, Morin S, **Laderriere V, Paris L-E et Fortin C** (2019). Assessment of diatom assemblages in close proximity to mining activities in Nunavik, Northern Quebec (Canada). *Environments*, 6 (6): Art. 74.
<http://dx.doi.org/10.3390/environments6060074>
- Matveev A, **Laurion I** et Vincent WF (2019). Winter accumulation of methane and its variable timing of release from thermokarst lakes in subarctic peatlands. *Journal of Geophysical Research - Biogeosciences*, 124 (11): 3521-3535.
<http://dx.doi.org/10.1029/2019JG005078>

Une diversité de partenaires de recherche

- AGAT Laboratoires
- Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec
- International Institute for Sustainable Development Experimental Lakes Area
- Génome Québec
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs
- Régie intermunicipale de gestion des déchets solides de la région de Coaticook

Hydrologie et télédétection

2019-2020

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 et de formation appliquées aux défis actuels

Modélisation = meilleure planification

Les inondations causent chaque année des dommages importants au Québec. Un groupe de chercheurs de l'INRS travaillent depuis de nombreuses années à améliorer les prévisions et la gestion des inondations. Ils ont entre autres conçu une plateforme web pour aider les gestionnaires à mieux planifier la réponse aux inondations quant à la vulnérabilité des populations et aux dommages attendus. Les chercheurs développent également des modèles mathématiques basés sur l'intelligence artificielle pour améliorer la prévision des risques d'inondation dans un contexte climatique en évolution. Ces outils servent pour les prévisions à court terme comme les crues printanières, mais aussi à long terme pour la conception des ouvrages hydrauliques comme les barrages et les digues.



Corrosion = bris de conduites

Les réseaux de distribution d'eau potable dans les villes comprennent des kilomètres et des kilomètres de conduites souvent vieillissantes et dont l'entretien et la réparation sont complexes et coûteux. La corrosion des conduites est la cause de bris qui occasionnent des inconvénients aux citoyens. Le but de ce projet de recherche de l'INRS est de faire des recommandations sur les meilleurs moyens de prévenir la corrosion des conduites d'aqueduc. Le projet inclut une analyse de données fournies par la ville partenaire et un examen de conduites brisées à l'aide d'un tomographisme (CT scan). Des modèles mathématiques sont utilisés par les chercheurs pour déterminer et prédire le taux de bris des conduites afin de déterminer les meilleurs moyens de protection.



Milieux humides = services écologiques

Les milieux humides rendent de nombreux services écologiques comme l'atténuation des faibles débits ou des crues, la filtration de l'eau ou le réapprovisionnement des aquifères. La perte de milieux humides par le développement a un effet cumulatif au sein d'un bassin versant. Au Québec, lorsqu'un promoteur détruit un milieu humide, il doit légalement en conserver, restaurer ou créer un autre de la même superficie. Cependant, ce remplacement n'aura pas nécessairement le même impact dans la dynamique hydrologique du bassin versant. Une équipe de l'INRS travaille à identifier des réseaux de milieux humides à conserver afin de contribuer aux programmes de préservation et de restauration à l'échelle du bassin versant de la rivière Saint-Charles à Québec.



Grands thèmes abordés et chercheurs impliqués



HYDROLOGIE ET HYDRAULIQUE DES BASSINS VERSANTS

Normand E. Bergeron | Habitat du poisson
normand.bergeron@ete.inrs.ca

Alain N. Rousseau | Modélisation hydrologique
alain.rousseau@ete.inrs.ca

Jean-Pierre Villeneuve | Gestion intégrée
jean-pierre.villeneuve@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



HYDROLOGIE STATISTIQUE

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

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

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



TÉLÉDÉTECTION

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

Karem Chokmani | Télédétection et hydrologie
karem.chokmani@ete.inrs.ca

Saeid Homayouni | Géomatique de l'environnement
saeid.homayouni@ete.inrs.ca

* Retraite en 2020

Quelques publications récentes

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

- Abbasnezhadi K, **Rousseau AN**, Wruth AM et Zahmatkesh Z (2019). Synchronized generation of high-resolution gridded precipitation and temperature fields. *Journal of Hydrology*, 573 (Juin): 631-647. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.03.096>
- Alobaidi MH, Meguid MA et **Chebana F** (2020). Varying-parameter modeling within ensemble architecture: Application to extended streamflow forecasting. *Journal of Hydrology*, 582 (Mars): Art. 124511. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124511>
- **Boudreau J, Bergeron NE, St-Hilaire A** et **Chebana F** (2019). Stream temperature modeling using functional regression models. *Journal of the American Water Resources Association*, 55 (6): 1382-1400. <http://dx.doi.org/10.1111/1752-1688.12778>
- **Doghri M, Duchesne S**, Poulin A et **Villeneuve J-P** (2020). Comparative study of pressure control modes impact on water distribution system performance. *Water Resources Management*, 34 : 231-244. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-019-02436-z>
- Jamshidpour N, Safari A et **Homayouni S** (2020). A GA-based multi-view, multi-learner active learning framework for hyperspectral image classification. *Remote Sensing*, 12 (2): Art. 297. <http://dx.doi.org/10.3390/rs12020297>
- Martel J-L, **Mailhot A** et Brissette F (2020). Global and regional projected changes in 100-yr subdaily, daily, and multiday precipitation extremes estimated from three large ensembles of climate simulations. *Journal of Climate*, 33 (3): 1089-1103. <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0764.1>
- **Ouarda TBMJ, Charron C** et **St-Hilaire A** (2020). Uncertainty of stationary and nonstationary models for rainfall frequency analysis. *International Journal of Climatology*, 40 (4): 2373-2392. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.6339>
- **Oubennaceur K, Chokmani K**, Nastev M, **Gauthier Y, Poulin J, Tanguy M, Raymond S** et **Lhissou R** (2019). New sensitivity indices of a 2D flood inundation model using gauss quadrature sampling. *Geosciences*, 9 (5): Art. 220. <http://dx.doi.org/10.3390/geosciences9050220>

Une diversité de partenaires de recherche

- Administration régionale Kativik
- Association de protection de la rivière Moisie
- Commission mixte internationale
- Consortium Ouranos
- Geosapiens
- Gouvernement du Québec (Environnement, Sécurité publique, Transports)
- Pêches et Océans Canada
- Villes de Québec et de Montréal

Sciences de la Terre 2019-2020

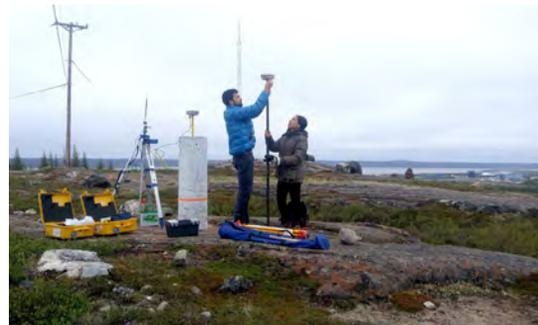
Érosion des côtes, exploitation minière, eau souterraine : les géosciences sont très présentes dans l'actualité

La gestion durable des ressources minérales, pétrolières et gazières, et des eaux souterraines, l'évaluation des risques géologiques et l'impact des changements climatiques sont autant de problématiques auxquelles les chercheurs tentent de répondre. Le Centre géoscientifique de Québec résulte d'une entente de partenariat unique au Canada entre un établissement universitaire, le Centre Eau Terre Environnement de l'INRS, et un organisme 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 et de formation appliquées aux défis actuels

Relever le défi du stockage

Les communautés nordiques isolées dépendent des combustibles fossiles pour leur production d'énergie. Dans le contexte actuel, une transition vers les énergies renouvelables est souhaitable, mais plusieurs défis restent à relever pour y arriver. Une équipe de recherche de l'INRS poursuit depuis quelques années des travaux de recherche dans le Nord du Québec pour démontrer la faisabilité d'utiliser le stockage thermique souterrain dans le pergélisol pour combler une partie des besoins des communautés. Il s'agit d'une solution innovante pour chauffer les bâtiments en hiver grâce à l'énergie solaire produite en excès durant l'été. Les travaux de recherche en cours visent entre autres à résoudre la problématique du stockage énergétique de longue durée en climat froid.



Fouiller l'histoire du sous-sol

La province de Grenville comprend les racines d'une chaîne de montagnes comparable à l'Himalaya, mais âgée d'un milliard d'années, qui s'étend sur 2000 km à la marge sud-est du Bouclier canadien. Une équipe de l'INRS amorce un projet de recherche qui vise à étudier en détail une zone de cisaillement grenvillienne dans la région du lac des Commissaires au Saguenay-Lac-Saint-Jean, récemment identifiée par des partenaires du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles. L'étude en cours caractérisera la structure de cette zone de cisaillement, les conditions de déformation et de métamorphisme, la corrélation potentielle avec d'autres zones de déformation similaires et les implications pour l'évolution de la province de Grenville.



Anticiper les risques naturels

La ville de Baie-Saint-Paul est une zone de transition abrupte entre la montagne et la mer. Elle est sujette à plusieurs risques naturels, dont une ligne de faille active, des glissements de terrain, de l'érosion côtière et des inondations. Une équipe de recherche de l'INRS et ses collaborateurs de la Commission géologique du Canada et des universités Brock et d'Ottawa sont chargés d'examiner des solutions durables pour remédier à la vulnérabilité de cette zone côtière. Des travaux sur le terrain seront combinés à la modélisation numérique et physique dans le grand canal à vagues de l'INRS afin d'aider la communauté à mieux anticiper les risques et déterminer les meilleures pratiques.



Grands thèmes abordés et chercheurs impliqués



EAUX SOUTERRAINES

Geneviève Bordeleau | Géochimie isotopique
genevieve.bordeleau@ete.inrs.ca

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
jasmin.raymond@ete.inrs.ca



ENVIRONNEMENTS GÉOLOGIQUES ET RESSOURCES NATURELLES

Lyal Harris | Géologie structurale et géophysique
lyal.harris@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

Renaud Soucy La Roche | Géologie structurale
renaud.soucy_la_roche@ete.inrs.ca



GÉOPHYSIQUE ET GÉOSTATISTIQUE

Bernard Giroux | Géophysique appliquée
bernard.giroux@ete.inrs.ca

Erwan Gloaguen | Assimilation de données géoscientifiques
erwan.gloaguen@ete.inrs.ca



HYDRODYNAMIQUE ET SÉDIMENTOLOGIE

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

Damien Pham Van Bang | Hydrodynamique et transport
sédimentaire | damien.pham_van_bang@ete.inrs.ca

Jacob Stolle | Hydrodynamique côtière et fluviale
jacob.stolle@ete.inrs.ca

Quelques publications récentes

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

- **Anterrieu O, Giroux B, Gloaguen E** et Carde C (2019). Non-destructive data assimilation as a tool to diagnose corrosion rate in reinforced concrete structures. *Journal of Building Engineering*, 23 (Mai): 193-206. <http://dx.doi.org/10.1016/j.job.2019.01.033>
- Boujia N, Schmidt F, Chevalier C, Siegert D et **Pham Van Bang D** (2019). Effect of scour on the natural frequency responses of bridge piers: development of a scour depth sensor. *Infrastructures*, 4 (2): Art. 21. <http://dx.doi.org/10.3390/infrastructures4020021>
- Camporese M, **Paniconi C**, Putti M et McDonnell JJ (2019). Fill and spill hillslope runoff representation with a Richards equation-based model. *Water Resources Research*, 55 (11): 8445-8462. <http://dx.doi.org/10.1029/2019WR025726>
- **Chassiot L, Francus P, De Coninck A**, Lajeunesse P, Cloutier D et Labarre T (2019). Spatial and temporal patterns of metallic pollution in Québec City, Canada: Sources and hazard assessment from reservoir sediment records. *Science of the Total Environment*, 673 (Juillet): 136-147. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.021>
- **Giordano N** et **Raymond J** (2019). Alternative and sustainable heat production for drinking water needs in a subarctic climate (Nunavik, Canada): Borehole thermal energy storage to reduce fossil fuel dependency in off-grid communities. *Applied Energy*, 252 (Octobre): Art. 113463. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113463>
- **Longpré-Girard M, Martel R, Robert T, Lefebvre R**, Lauzon J-M et Thomson N (2020). Surfactant foam selection for enhanced light non-aqueous phase liquids (LNAPL) recovery in contaminated aquifers. *Transport in Porous Media*, 131 : 65-84. <http://dx.doi.org/10.1007/s11242-019-01292-0>
- Godin L, **Soucy La Roche R**, Waffle L et **Harris LB** (2019). Influence of inherited Indian basement faults on the evolution of the Himalayan orogen. *Geological Society*, 481 : 251-276. <http://dx.doi.org/10.1144/SP481.4>
- **Ross P-S, Bourke A, Schnitzler N** et Conly A (2019). Exploration vectors from near infrared spectrometry near the McLeod volcanogenic massive sulfide deposit, Matagami district, Québec. *Economic Geology*, 117 (4): 613-638. <http://dx.doi.org/10.5382/econgeo.4656>

Une diversité de partenaires de recherche

- Électricité de France
- Ero Copper
- Institut nordique du Québec (INQ)
- Gouvernement du Québec (Environnement, Ressources naturelles)
- Gouvernement du Canada (Défense nationale, Ressources naturelles)
- Réseau Québec maritime (RQM)
- Vale Inco
- Ville de Québec

Les programmes d'études

inrs.ca/les-etudes/programmes-d-etudes/etudier-en-environnement-et-geosciences/

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

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

Quatre parcours de bidiplomation sont également offerts en collaboration avec un institut marocain, deux universités françaises et une université islandaise.

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

Cheminevements bidiplômants

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

Troisième cycle

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

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 :

inrs.ca/les-etudes/stages-postdoctoraux/

Stages d'été au Centre :

www.stages.ete.inrs.ca



Doctorantes Sarah Wallace, Julie Robitaille et Paisley Thomson, gagnantes de prix au colloque Gananoque 2019, et leur directrice Valérie Langlois

Professeurs-chercheurs

Kokou Adjallé
 Normand E. Bergeron
 Monique Bernier*
 Jean-François Blais
 Geneviève Bordeleau
 Satinder Kaur Brar**
 Fateh Chebana
 Karem Chokmani
 Jérôme Comte
 Patrice Couture
 Patrick Drogui
 Sophie Duchesne
 Claude Fortin
 Pierre Francus
 Bernard Giroux
 Erwan Gloaguen
 Landis Hare
 Lyl Harris
 Saeid Homayouni
 Valérie Langlois
 Isabelle Laurion
 Isabelle Lavoie
 René Lefebvre
 Alain Mailhot
 Richard Martel
 Taha B.M.J. Ouarda
 Claudio Paniconi
 Louis-César Pasquier
 Damien Pham Van Bang
 Jasmin Raymond
 Marc Richer-Lafèche
 Pierre-Simon Ross
 Alain N. Rousseau
 Renaud Soucy La Roche
 André St-Hilaire
 Jacob Stolle
 Rajeshwar Dayal Tyagi
 Jean-Pierre Villeneuve

Professeurs émérites

Bernard Bobée
 Peter G.C. Campbell
 Georges Drapeau

Professeurs honoraires

Charles Gobeil
 Yves Gratton
 Pierre Lafrance
 Michel Malo
 Guy Mercier
 Yves Secretan
 André Tessier

Professeurs associés

Aïcha Achab (retraîtée), INRS
 Jason M.E. Ahad, Commission géologique du Canada, bureau de Québec (CGC-Québec)
 Sonia Arriaga Garcia, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT, Mexique)
 Patrick Athéba, Université Félix-Houphouët-Boigny (Côte d'Ivoire)
 Jean-Christian Auclair (retraîté), INRS
 Antonio Avalos Ramirez, Centre national en électrochimie et en technologies environnementales (CNETE, Cégep de Shawinigan)
 Jean H. Bédard, CGC-Québec
 Christian Bégin, CGC-Québec
 Claude Bernard, Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)
 Daniela Blessent, Universidad de Medellín (Colombie)
 Pierre Blier, UQAR
 Gaële Bouchet-Triffault, Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec (MELCC)
 Gérardo Buelna, Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ)
 Daniel Caissie, Pêches et Océans Canada
 Athyna Cambouris, Agriculture et Agroalimentaire Canada
 Céline Campagna, Institut national de la santé publique du Québec (INSPQ)
 Sébastien Castonguay, CGC-Québec
 Emmanuelle Cecchi, UQAT
 Louise Corriveau, CGC-Québec
 Lucie Coudert, UQAT
 Simon Courteney, University of Waterloo
 Jean-Pierre Dedieu, Centre national de la recherche scientifique (CNRS, France)
 Philippe Després, Université Laval
 Mélanie Desrosiers, MELCC
 Oumar Dia, CRIQ
 Gregory Dipple, University of British Columbia
 Bernard Doyon, Cégep F.X. Garneau
 Benoît Dubé, CGC-Québec
 Mathieu J. Duchesne, CGC-Québec
 Salah-Eddine El Adlouni, Université de Moncton
 Jean-Pierre Fortin (retraîté), INRS
 Jaime Max Gárfias Soliz, Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA, Mexique)
 Pierre Gosselin, INSPQ
 Nicolas Gruyer, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, MELCC
 Carl Guilmette, Université Laval
 Sylvio J. Gumiere, Université Laval
 Yasser Hamdi, Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN, France)
 Peter Hodson, Queen's University
 Michel Houlié, CGC-Québec
 David Huard, Consortium Ouranos
 Maria Iliuta, Université Laval
 Amélie Janin, Yukon Research Centre
 Sandra Kentish, University of Melbourne (Australie)
 Isabelle Larocque, L.A.K.E.S Institute (Suisse)
 Denis Lavoie, CGC-Québec
 Yann Le Bihan, CRIQ
 Séverine Le Faucheur, Université de Genève (Suisse)
 Michel Leclerc (retraîté), INRS
 Yvon Maranda (retraîté), MELCC
 Patrick Mercier-Langevin, CGC-Québec
 Christopher Metcalfe, Trent University

* Retraite en cours d'année (devenue honoraire)

** Départ en cours d'année (devenue associée)

Yves Michaud, CGC-Québec
Jean-Louis Morel, Université de Lorraine (France)
Jean Morin, Environnement et Changement climatique Canada
Miroslav B. Nastev, CGC-Québec
Carmen Neculita, UQAT
Daniel Paradis, CGC-Québec
Michel A. Parent, CGC-Québec
Geneviève Pelletier, Université Laval
Didier Perret, CGC-Québec
Reinhard Pienitz, Université Laval
Nicolas Pinet, CGC-Québec
Annie Poulin, École de technologie supérieure
Monique Poulin, Université Laval
Milla Rautio, UQAC
Sébastien Raymond, Co-operators Assurance et Services financiers
Nicolas Reynier, Ressources naturelles Canada
Christine Rivard, CGC-Québec
Alfonso Rivera, CGC-Québec
Maïkel Rosabal Rodriguez, UQAM
Tarek Rouissi, Centre technologique des résidus industriels (CTRI), Cégep
Rouyn-Noranda
René Roy, Consortium Ouranos
Martine M. Savard, CGC-Québec
Balasubramanian Sellamuthu, Centre de recherche du centre hospitalier de
l'Université de Montréal
Marie-Odile Simonnot, Université de Lorraine (France)
Alain Soucy (retraité), INRS
Rao Y. Surampalli, Global Institute for Energy, Environment and Sustainability
(GIEES, É.-U.)
Sonia Thiboutot, Recherche et développement pour la défense - Centre de
recherches de Valcartier
Richard Turcotte, MELCC
José R. Valéro (retraité), Service canadien des forêts
Warwick F. Vincent, Université Laval
Dajana Vuckovic, Concordia University
Pamela Welbourne, Queen's University
David Wright, University of Maryland (É.-U.)

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 équipements mobiles, ainsi qu'une station de recherche en milieu naturel.



Édifice INRS au centre-ville de Québec

Les **laboratoires de recherche** sont localisés dans l'édifice de l'INRS au centre-ville de Québec. Ils comprennent un laboratoire général et plusieurs laboratoires spécialisés ainsi que des salles de microscopie et de préparation des échantillons. Le Centre dispose notamment d'une salle blanche de classe 10 000 pour l'analyse des métaux traces, une de classe 1000 incluant un espace de travail de classe 100 et des salles environnementales pour des expériences à température contrôlée. On retrouve dans ces laboratoires un ensemble très complet d'équipements d'analyse essentiels à la recherche avancée ainsi que d'importantes capacités de modélisation et de traitement de données.

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

Le Centre dispose également d'**équipements mobiles** permettant de réaliser sur le terrain des travaux spécialisés de biogéochimie, d'hydrogéologie et de géophysique.

La **station de recherche CIRSA**, située à Sacré-Cœur au Saguenay près de l'embouchure de la rivière Sainte-Marguerite, offre aux équipes de recherche du Centre un espace de travail et de formation dans un environnement naturel exceptionnel. Elle comprend un laboratoire et peut accueillir jusqu'à 30 personnes.

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

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



Laboratoires LISTE au parc technologique



Station de recherche CIRSA au Saguenay

POUR EN SAVOIR PLUS :

Carole Parent, agente de valorisation, carole.parent@ete.inrs.ca

Stéfane Prémont, responsable des laboratoires, stefane.premont@ete.inrs.ca

LABORATOIRES DE RECHERCHE

En complément des laboratoires spécialisés, les services communs 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 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).

Biogéochimie et écotoxicologie aquatique

Analyse des métaux traces dans des échantillons liquides ou solides

Les recherches contribuent à mieux cerner les impacts des contaminants métalliques sur les organismes aquatiques et à déterminer les paramètres qui influencent la biodisponibilité des métaux. Les analyses permettent de discriminer les différentes « formes chimiques » des métaux dans l'environnement ambiant des organismes, à la surface des membranes cellulaires, voire dans le milieu intracellulaire. Les principaux équipements sont les suivants :

- Analyseurs de mercure en phase solide et en phase aqueuse
- 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) et ICP-MS couplé à un HPLC
- Ultracentrifugeuse



Appareil de chromatographie en phase gazeuse

RESPONSABLE DU LABORATOIRE :

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

Limnologie

Analyses bio-optiques et biogéochimiques en eau douce

Les recherches visent à évaluer les effets des changements climatiques et du dégel du pergélisol sur la dynamique de mélange et la transparence de l'eau en milieu lacustre, et leurs conséquences sur le réseau alimentaire microbien, les émissions de gaz à effet de serre et l'habitat oxythermique. Le développement d'outils optiques pour la détection précoce des fleurs d'eau d'algues et de cyanobactéries et autres problématiques liées au brunissement des eaux fait aussi partie des travaux.

Sur le terrain, les équipements permettent de faire le suivi des microorganismes possédant une fluorescence naturelle (fluoroprobe), d'établir des profils verticaux (photomètre, profileurs physicochimiques) et de mesurer les gaz dissous dans l'eau et les émissions de CO₂ à l'interface eau-air.

Au laboratoire, les équipements permettent de caractériser et dénombrer les petites particules (cytomètre en flux), de décrire leur morphométrie et leur taxonomie (microscope inverse par épifluorescence) et d'étudier leur physiologie (fluorimètre PAM).



Bouée d'échantillonnage sur un lac

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE :

Isabelle Laurion, isabelle.laurion@ete.inrs.ca

Écotoxicogénomique

Améliorer la compréhension des effets des contaminants chez les organismes vivants

Le laboratoire en écotoxicogénomique et perturbation endocrinienne (LEPE) regroupe l'expertise, les connaissances, l'infrastructure et l'instrumentation nécessaires pour tester les effets des contaminants sur la santé des organismes vivants. Les expériences se font en laboratoire, en microcosme, en mésocosme et sur le terrain. L'équipe développe des biomarqueurs uniques pour chaque espèce visée afin de comprendre et valider les mécanismes d'action des contaminants. Le groupe est également spécialisé dans l'étude des perturbateurs endocriniens et possède, entre autres, des lignées cellulaires ultra-sensibles qui permettent d'identifier les contaminants capables d'altérer la réponse hormonale.



Salle environnementale multifonctionnelle

Ce laboratoire possède une composante bio-informatique en génomique avec une série de logiciels pour analyser de grandes bases de données. La composante laboratoire comprend un ensemble d'instruments dédiés à la biologie moléculaire et cellulaire. La composante expérimentale inclut, entre autres, des salles environnementales multifonctionnelles, des incubateurs/couveuses automatiques et une hotte cellulaire avec incubateur à CO₂.

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE :

Valérie Langlois, valerie.langlois@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 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 un de type préindustriel (100-150 L)
- Deux réacteurs d'électrocoagulation/électrofloculation de type laboratoire et un de type préindustriel
- Bioréacteur à membrane de type laboratoire (4-6 L) et une de type préindustriel (100-150 L)
- Unités de traitement membranaire allant de la microfiltration à l'osmose inverse



Équipements pour expérimentation préindustrielle au LISTE

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE :

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

leepo.ete.inrs.ca

Téledétection appliquée

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

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

L'équipe dispose également de logiciels spécialisés en traitement d'images et en géomatique, ainsi que l'instrumentation terrain (géoradar, carottiers de neige et de glace, capteurs hydrométéorologiques, etc.) nécessaire au développement et à la validation des algorithmes.

Le laboratoire de Téledétection Environnementale par Drone (TED) allie les avantages de la téledétection, soit la richesse et qualité de l'information, à la souplesse de déploiement offerte par les drones. Il comprend différents types de drones (hélicoptère, multicoptère) et de capteurs (caméra hyperspectrale 400-1700 nm, caméra multispectrale à filtres interchangeable, caméra infrarouge thermique, appareil photo numérique, capteur LIDAR [à venir]), et l'ensemble des logiciels nécessaires au traitement des données. Une remorque aménagée peut servir de station de contrôle ou de laboratoire lors des travaux de terrain et des vols de drone.



Équipe du laboratoire TENOR sur le terrain



Drone de type multicoptère du laboratoire TED



Drone de type hélicoptère du laboratoire TED

RESPONSABLES SCIENTIFIQUES :

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

Saied Homayouni, saeid.homayouni@ete.inrs.ca

TED et TENOR - **Karem Chokmani**, karem.chokmani@ete.inrs.ca

Analyse par microfluorescence X

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

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



Scanner 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.

Microscopie électronique à balayage

Imagerie 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

RESPONSABLE TECHNIQUE:

Arnaud De Coninck, arnaud.de_coninck@ete.inrs.ca

Géothermie

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

Le laboratoire sert à mesurer les propriétés thermiques et hydrauliques des matériaux géologiques. Il comprend un scanneur infrarouge, un compteur de flux de chaleur, un perméamètre et porosimètre combiné et des appareils de coupe spécialisés. Ces équipements sont complémentaires au tomodensitomètre de l'INRS et peuvent être mis en commun pour combiner les techniques de scanographie infrarouge et aux rayons X, une première pour un laboratoire en géothermie. Les nouvelles connaissances serviront entre autres à valoriser les environnements favorables aux systèmes géothermiques superficiels et profonds, améliorer la conception des composantes souterraines des systèmes géothermiques et développer des technologies géothermiques plus compétitives.



| Une partie des équipements du laboratoire ouvert de géothermie

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

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE : **Jasmin Raymond**, jasmin.raymond@ete.inrs.ca

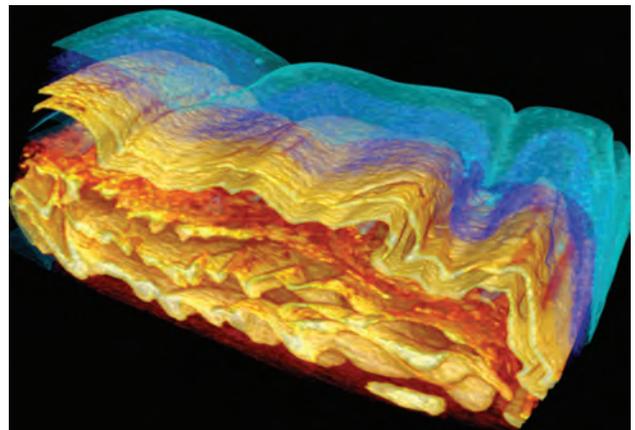
log.ete.inrs.ca

RESPONSABLE DU LABORATOIRE : **Félix-Antoine Comeau**, felix-antoine.comeau@ete.inrs.ca

Géodynamique

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

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



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

Les principaux équipements sont les suivants :

- o 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.
- o 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).
- o 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).

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE :
Lyal Harris, lyal.harris@ete.inrs.ca

LABORATOIRES POUR L'INNOVATION SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE EN ENVIRONNEMENT (LISTE)

Ces laboratoires regroupent des équipements plus imposants qui ne cadrent pas avec des laboratoires 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 :

- 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 14 systèmes d'acquisition de données avec supports pour instruments de mesure (niveau d'eau, vitesse d'écoulement, turbidité, topographie, etc.)



| Canal hydraulique (© Denis Bernier)

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

RESPONSABLES SCIENTIFIQUES :

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

Jacob Stolle, jacob.stolle@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

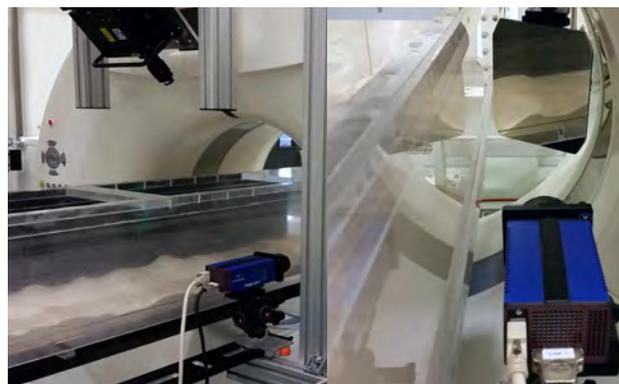
L'infrastructure est composée d'un tomodensitomètre **Siemens SOMATOM Definition AS+ 128**, d'une unité de traitement et de stockage des données, d'un laboratoire de sédimentologie et d'appareils d'hydraulique, de biosédimentologie et d'hydrologie. L'ampleur de cette infrastructure est unique au Canada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



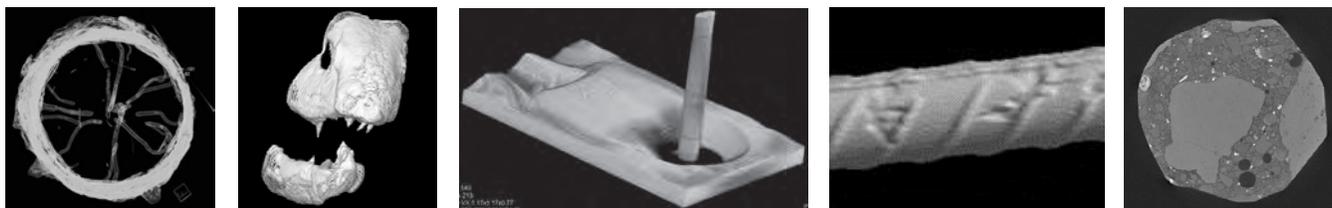
Tomodensitomètre SOMATOM Definition AS+ 128

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 courantmètre, 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.



Mesures de PIV

Les champs d'application de cet équipement d'une grande précision sont multiples et extrêmement variés: génie maritime (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 (structure 3D d'alliages), pétrographie (analyse de carottes de roches) et archéologie (structure interne de pièces métalliques).



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

RESPONSABLES SCIENTIFIQUES :

Pierre Francus, pierre.francus@ete.inrs.ca | **Damien Pham Van Bang**, damien.pham_van_bang@ete.inrs.ca

GESTIONNAIRES :

Louis-Frédéric Daigle, louis-frederic.daigle@ete.inrs.ca | **Mathieu Des Roches**, mathieu.des_roches@ete.inrs.ca

ctscan.ete.inrs.ca

Biotechnologies environnementales

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

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

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



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

Deux hydrolyseurs d'une capacité respective de 150 L 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.

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 cytofluoromètre.



Centrifugeuse en continu

RESPONSABLE DES OPÉRATIONS :
Mathieu Drouin, mathieu.drouin@ete.inrs.ca

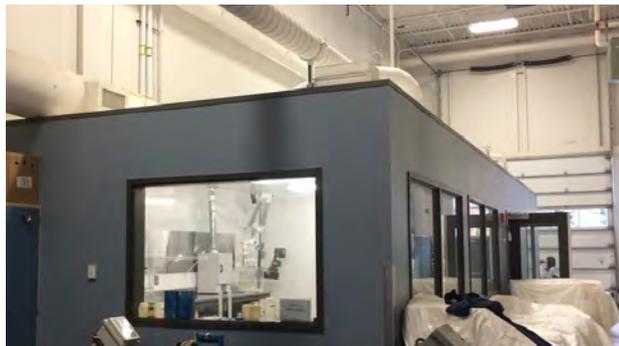
lbe.ete.inrs.ca

Décontamination et valorisation

Mise en oeuvre à échelle préindustrielle de procédés pour traiter et valoriser des résidus contaminés tant solides que liquides ou gazeux

Cette plateforme multifonctionnelle permet d'opérer différents types de procédés physiques, chimiques et biologiques pour le traitement de sols et sédiments contaminés, de boues d'épuration, de lisiers, de déchets dangereux, ainsi que de gaz, effluents et résidus industriels.

Différents équipements de séparation physique (filtration, décantation, gravimétrie), de réaction (différents volumes), de préparation de matériel (fours, broyeurs, concasseur) sont disponibles. Le laboratoire dispose également d'équipements de mesures permettant le suivi des paramètres physicochimiques des procédés testés.



Laboratoire d'expérimentation à environnement contrôlé



Décanteurs lamellaires avec instrumentation



Unité de démonstration de procédés de carbonatation minérale

Les équipements suivants sont disponibles :

- Réacteurs et bioréacteurs de 1 m³ de style cuve agitée
- Réacteurs à pression et température contrôlées (300 ml, 4 et 18,2 L)
- Unité de démonstration de procédés de carbonatation minérale (3 réacteurs 400 L et 1 cristalliseur de 800 L)
- Unités de séparation solide/liquide par décantation lamellaire
- Filtre-presse pour la déshydratation
- Équipements de granulation
- Équipements de broyage et de micronisation à l'échelle démonstration (jusqu'à 150 kg/h)
- Fours de traitement thermique/calcination à différentes échelles (jusqu'à 14 kg/h)
- Systèmes automatisés de contrôle et de suivi du pH et du potentiel d'oxydoréduction
- Pompes doseuses pour produits chimiques et réacteurs de mélange
- Sources d'alimentation électrique contrôlées et réacteurs électrolytiques
- Systèmes d'automatisation pour l'opération des procédés en mode continu

RESPONSABLES SCIENTIFIQUES :

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

Louis-César Pasquier, louis-cesar.pasquier@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

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 mesure 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

ÉQUIPEMENTS MOBILES

Ces équipements sont utilisés pour réaliser des essais ou des analyses directement sur les sites d'intérêt. Outre ceux décrits 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 pour caractériser les aquifères sur le terrain et les modéliser de façon 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 pour les sondages par enfoncement (pénétration au cône) dans les dépôts meubles, et une autre munie d'un marteau hydraulique pour les sondages par rotopercussion jusqu'à 50 m dans le roc et les dépôts meubles selon les conditions.



Foreuse Geotech sur le terrain

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE:

René Lefebvre, rene.lefebvre@ete.inrs.ca

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 avec les techniques suivantes :

- Tomographie géoélectrique : imagerie du Quaternaire et du socle rocheux jusqu'à 800 m
- Levé audiomagnétotellurique : imagerie géoélectrique du socle rocheux jusqu'à 2000 m
- Induction électromagnétique : mesures de la conductivité électrique des matériaux géologiques
- Levé gravimétrique : mesures terrestres ou sur glace pour 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

Centre Eau Terre Environnement
490, de la Couronne
Québec (Québec) G1K 9A9 CANADA
T 418 654-4677
info@ete.inrs.ca

INRS.CA