

## Rapport annuel 2016-2017



**Rapport annuel du 1<sup>er</sup> mai 2016 au 30 avril 2017**

Disponible en format électronique : [www.ete.inrs.ca/ete/publications#rapports\\_annuels](http://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**

Vladimir Antonoff (haut), Annie Jomphe-Chevrier (bas)

**Autres crédits photos**

Hachem Agili, Aqua Hacking, Denis Bernier, Pamela Carls, Yohann Chiu, Arnaud De Coninck, Mathieu Des Roches, Yann Dribault, Christian Fleury, Jean-Sébastien Gosselin, Lyal Harris, Clémence Jouveau du Breuil, laetitiaphotographe.com, Michel Lavoie, René Lefebvre, Daniel Mennerich, Katrina Mueller, Tram Nam, Antoine Nicault, Louis-César Pasquier, Sylvain Perrier, Marc Richer-Lafèche, Pierre-Simon Ross, Amélie Thériault, Harold Vigneault

**Pour information**

Institut national de la recherche scientifique

Centre Eau Terre Environnement

490, de la Couronne

Québec (Québec) G1K 9A9

CANADA

Téléphone : 418 654-2524

Courriel : [info@ete.inrs.ca](mailto:info@ete.inrs.ca)

Site Internet : [www.ete.inrs.ca](http://www.ete.inrs.ca)

© INRS, Centre Eau Terre Environnement, 2017

Dépôt légal, Bibliothèque nationale du Québec

Dépôt légal, Bibliothèque et Archives Canada

## Centre Eau Terre Environnement

### Institut national de la recherche scientifique

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

L'INRS est composé de quatre centres thématiques :

- **Eau Terre Environnement** (Québec)
- **Énergie Matériaux Télécommunications** (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
- 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 seizième rapport annuel du Centre Eau Terre Environnement de l'Institut national de la recherche scientifique pour l'année 2016-2017.

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



Ce rapport fait état des projets importants de l'année dans les différents domaines d'intérêt du Centre. Citons d'abord l'obtention de deux nouvelles chaires de recherche, une sur le potentiel géothermique du Nord et l'autre en sédimentologie environnementale. D'autres exemples sont le développement de procédés de gestion et de valorisation des rejets miniers, l'examen des effets toxiques du pétrole sur les invertébrés et poissons d'eau douce du Québec, le développement d'outils de gestion et d'analyse de réseaux de suivi de la température de l'eau des rivières à saumon, ainsi que la cartographie en ligne des inondations au Québec. 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 2016-2017. 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

2016-2017

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

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

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

### Des exemples de recherche appliquée aux défis actuels

#### Composé à valoriser

L'industrie minière génère de grandes quantités de résidus dont certains pourraient être valorisés, réduisant ainsi la quantité de rejets et augmentant la rentabilité des opérations. Le silicate d'aluminium est un de ces résidus. L'objectif du projet est de déterminer des avenues potentielles de valorisation du silicate d'aluminium. Ce composé possède des propriétés physicochimiques très intéressantes dans de nombreuses applications industrielles. Il s'agit donc de caractériser les sous-produits des silicates d'aluminium et de faire des essais préliminaires afin d'évaluer différents scénarios de valorisation en termes de faisabilité.



#### Mer à boire

Dessaler l'eau de mer pour produire de l'eau potable est un procédé coûteux, mais essentiel dans certaines régions arides du monde. L'expertise de l'INRS dans les électrotechnologies pour le traitement de l'eau est mise à profit dans ce projet visant à améliorer les performances technico-économiques d'une unité de dessalement de l'eau de mer. L'approche consiste à intégrer au procédé de dessalement par osmose inverse une étape de prétraitement par électrocoagulation-électroflottation en utilisant le solaire comme source d'énergie. Le but est de déterminer le potentiel et les limites de cette nouvelle approche en vue d'une réduction des coûts.



#### Résidus à valeurs multiples

Au Maroc, la production de fruits génère une importante activité économique. Les fruits sont majoritairement transformés en jus. Le marc, le résidu de cette transformation, est riche en carbone et en d'autres molécules bioactives. Il peut être utilisé comme substrat pour la production microbienne d'enzymes, on peut en extraire des produits à valeur ajoutée comme les polyphénols (antioxydants naturels), et enfin, il peut servir d'aliment pour les animaux. L'objectif est de développer une stratégie complète de valorisation du marc de fruits à la fois respectueuse de l'environnement et qui réduira les coûts de production d'enzymes tout en créant de l'activité économique.



## 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 CO<sub>2</sub>  
guy.mercier@ete.inrs.ca

**Louis-César Pasquier\*** | Traitement des gaz et décontamination  
louis-cesar.pasquier@ete.inrs.ca



### BIOCONVERSION

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

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

\* Arrivé à l'automne 2017

## Quelques publications récentes

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

- **Ben Ghacham A, Pasquier L-C, Cecchi E, Blais J-F et Mercier G** (2016). CO<sub>2</sub> sequestration by mineral carbonation of steel slags under ambient temperature: Parameters influence, and optimization. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 23 (17): 17635-17646.  
DOI : 10.1007/s11356-016-6926-4
- **Dirany A, Drogui P** et El Khakani MA (2016). Clean electrochemical deposition of calcium carbonate to prevent scale formation in cooling water systems. *Environ. Chem. Lett.*, 14 (4): 507-514.  
DOI : 10.1007/s10311-016-0579-x
- Hakizimana JN, Gourich B, Chafi M, Stiriba Y, Vial C, **Drogui P** et Naja J (2017). Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling approaches. *Desalination*, 404 (Février): 1-21.  
DOI : 10.1016/j.desal.2016.10.011
- **Hegde K, Brar SK, Verma M** et Surampalli RY (2016). Current understandings of toxicity, risks and regulations of engineered nanoparticles with respect to environmental microorganisms. *Nanotechnol. Environ. Eng.*, 1 : Art. 5.  
DOI : 10.1007/s41204-016-0005-4
- **Pachapur VL, Das RK, Brar SK**, Le Bihan Y et Buelna G (2017). Valorization of crude glycerol and eggshell biowaste as media components for hydrogen production: A scale-up study using co-culture system. *Bioresource Technol.*, 225 (Février): 386-394.  
DOI : 10.1016/j.biortech.2016.11.114
- **Tanong K, Coudert L, Mercier G et Blais J-F** (2016). Recovery of metals from a mixture of various spent batteries by a hydrometallurgical process. *J. Environ. Manage.*, 181 (Octobre): 95-107.  
DOI : 10.1016/j.jenvman.2016.05.084
- **Yellapu SK, Kaur R et Tyagi RD** (2017). Detergent assisted ultrasonication aided *in situ* transesterification for biodiesel production from oleaginous yeast wet biomass. *Bioresource Technol.*, 224 (Janvier): 365-372.  
DOI : 10.1016/j.biortech.2016.11.037

## Une diversité de partenaires de recherche

- Centre national en électrochimie et en technologies environnementales
- Englobe
- Gouvernement du Maroc
- Ministère des Relations internationales et de la Francophonie du Québec
- Nemaska Lithium
- Ressources naturelles Canada

## Biogéochimie aquatique

2016-2017

### 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

#### Or noir, quels impacts sur la faune?

Le transport d'hydrocarbures est un sujet d'actualité au Québec et au Canada. Nos connaissances des impacts potentiels de futurs déversements pour la faune aquatique sont encore insuffisantes. L'objectif de ces études est de déterminer les effets létaux et sous-létaux (développement, reproduction, etc.) de pétroles conventionnels et non conventionnels (sables bitumineux) sur deux espèces d'invertébrés benthiques et deux espèces de poissons, représentatifs des milieux aquatiques d'eau douce du Québec. Les effets des pétroles seront évalués par contamination des sédiments ou de la colonne d'eau à la suite de leur dispersion mécanique à l'aide d'essais de toxicité en laboratoire.



Photo : Alaska Region USFWS [CC] via Flickr

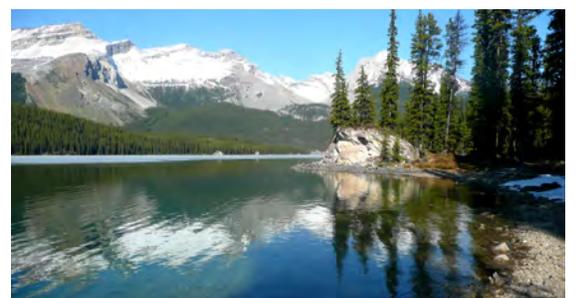
#### Terres rares, quels impacts sur la faune?

Des projets d'exploitation minière d'éléments des groupes platine et des terres rares sont en préparation au Québec et au Canada. Ces métaux sont très recherchés, car essentiels dans les hautes technologies. Ici aussi, nos connaissances sur les effets toxiques de ces éléments chez les organismes aquatiques sont insuffisantes. Une base de données écotoxicologiques est donc nécessaire et un réseau de chercheurs canadiens travaille en ce sens. L'INRS étudie principalement la biodisponibilité de ces éléments chez des algues unicellulaires ainsi que le transfert trophique vers un herbivore aquatique.



#### Ressource précieuse à protéger

Un réseau pancanadien de suivi de l'état de santé des lacs a été mis en place avec la collaboration de chercheurs de 14 universités et 9 organismes gouvernementaux. Le grand objectif du réseau est de développer des outils pour évaluer l'état de santé des lacs canadiens afin d'être mieux à même de protéger cette précieuse ressource des menaces actuelles et futures. Une professeure de l'INRS est impliquée dans l'axe de recherche visant à élaborer des indices novateurs de la condition de santé des lacs à l'aide de la télédétection, notamment des outils optiques pour quantifier la biomasse des microalgues et des cyanobactéries.



## Grands thèmes abordés et chercheurs impliqués



### ÉCOTOXICOLOGIE

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

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

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

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



### GÉOCHIMIE ENVIRONNEMENTALE

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



### LIMNOLOGIE

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

\* Arrivée à l'automne 2017

\*\* Retraite en 2017

## Quelques publications récentes

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

- **Clayer F, Gobeil C et Tessier A** (2016). Rates and pathways of sedimentary organic matter mineralization in two basins of a boreal lake: Emphasis on methanogenesis and methanotrophy. *Limnol. Oceanogr.*, 61 (S1): S131-S149. DOI : 10.1002/lno.10323
- **Fadhlaoui M et Couture P** (2016). Combined effects of temperature and metal exposure on the fatty acid composition of cell membranes, antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in yellow perch (*Perca flavescens*). *Aquat. Toxicol.*, 180 (Novembre): 45-55. DOI : 10.1016/j.aquatox.2016.09.005
- **Leguay S, Campbell PGC et Fortin C** (2016). Determination of the free-ion concentration of rare earth elements by an ion-exchange technique: Implementation, evaluation and limits. *Environ. Chem.*, 13 (3): 478-488. DOI : 10.1071/EN15136
- **Negandhi K, Laurion I et Lovejoy C** (2016). Temperature effects on net greenhouse gas production and bacterial communities in Arctic thaw ponds. *FEMS Microbiol. Ecol.*, 92 (8): fiw117. DOI : 10.1093/femsec/fiw117
- **Pannetier P, Caron A, Campbell PGC, Pierron F, Baudrimont M et Couture P** (2016). A comparison of metal concentrations in the tissues of yellow American eel (*Anguilla rostrata*) and European eel (*Anguilla anguilla*). *Sci. Total Environ.*, 569-570 (Novembre): 1435-1445. DOI : 10.1016/j.scitotenv.2016.06.232
- **Ponton DE, Caron A, Hare L et Campbell PGC** (2016). Hepatic oxidative stress and metal subcellular partitioning are affected by selenium exposure in wild yellow perch (*Perca flavescens*). *Environ. Pollut.*, 214 (Juillet): 608-617. DOI : 10.1016/j.envpol.2016.04.051

## Une diversité de partenaires de recherche

- Association pour la protection de l'environnement du lac Saint-Charles et des Marais du Nord
- Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec
- Environnement et Changement climatique Canada
- International Zinc Association
- Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation du Québec
- Stantec
- Ministère de l'Environnement et de l'Action en matière de changement climatique (Ontario)

## 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

### Algues vues du ciel

Les éclosions de fleurs d'eau d'algues bleu vert (cyanobactéries) inquiètent les autorités, car celles-ci peuvent être toxiques et poser des risques pour la santé et l'approvisionnement en eau. L'INRS a développé un outil de suivi de la concentration en chlorophylle *a*, un indice de présence de fleurs d'eau d'algues (FEA), basé sur l'imagerie satellitaire du capteur MODIS. La résolution spatiale de 250 m de ce capteur rend impossible le suivi des FEA dans les petits lacs et près des rives. L'objectif est donc d'élaborer une approche d'estimation de la concentration en chlorophylle *a* destinée à pallier ce manque en utilisant les données Landsat dont la résolution spatiale est de 30 m avec la même méthodologie que pour les données MODIS.



### Indice de qualité d'habitat

Le saumon est un poisson prisé des pêcheurs et des gastronomes. Une bonne gestion de l'espèce et de son habitat est essentielle à sa survie et au maintien de la pêche. Un indice de qualité de l'habitat du saumon est actuellement en développement. L'approche repose sur la modélisation et la cartographie à grande échelle de la profondeur et de la vitesse du courant de rivières à saumon types du Québec ainsi que sur une analyse des préférences d'habitat à différentes échelles. La méthode servira ultimement d'outil de gestion pour l'ensemble des rivières à saumon du Québec.



### Scénarios climatiques nordiques

Le climat change dans le nord du Québec et les populations doivent s'adapter. L'objectif du projet est d'élaborer des scénarios climatiques pour le Nunavik (au nord du 55° parallèle) afin d'appuyer les efforts d'adaptation aux changements climatiques. Des travaux précédents ont permis d'améliorer les connaissances sur le climat de référence du Nunavik en utilisant des réanalyses comme données alternatives aux stations météorologiques qui sont rares dans le Nord et essentiellement localisées sur les côtes. Certaines variables climatiques et hydrologiques qui n'avaient pas été analysées dans la phase antérieure (extrêmes de température et de précipitations, vents et hydrologie) pourront l'être dans le présent projet grâce à l'avancement des connaissances.



## 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** | Aquareponsabilité municipale et gestion intégrée | jean-pierre.villeneuve@ete.inrs.ca



### HYDROLOGIE STATISTIQUE

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

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

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



### HYDROLOGIE ET HYDRAULIQUE URBAINES

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

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



### OCÉANOGRAPHIE

**Yves Gratton\*** | Dynamique des fluides



### TÉLÉDÉTECTION

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

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

\* Retraite en 2017

## Quelques publications récentes

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

- **Dugdale SJ**, Frandsen JB, Corey E, **Bergeron NE**, Lapointe M et Cunjak RA (2016). Main stem movement of Atlantic salmon parr in response to high river temperature. *Ecol. Freshw. Fish.*, 25 (3): 429-445.  
DOI : 10.1111/eff.12224
- **Fossey M** et **Rousseau AN** (2016). Assessing the long-term hydrological services provided by wetlands under changing climate conditions: A case study approach of a Canadian watershed. *J. Hydrol.*, 541 part B (Octobre): 1287-1302.  
DOI : 10.1016/j.jhydrol.2016.08.032
- **Gignac C**, **Bernier M**, **Chokmani K** et **Poulin J** (2017). IceMap250 - Automatic 250 m sea ice extent mapping using MODIS data. *Remote Sens.*, 9 (1): Art. 70.  
DOI : 10.3390/rs9010070
- Holanda PdS, Blanco CJC, Mesquita ALA, Brasil Junior ACP, Moura de Figueiredo N, Negrao Macêdo E et **Secretan Y** (2017). Assessment of hydrokinetic energy resources downstream of hydropower plants. *Renew. Energ.*, 101 (Février): 1203-1214.  
DOI : 10.1016/j.renene.2016.10.011
- Kirilov S, Dmitrenko I, Tremblay B, **Gratton Y**, Barber D et Rysgaard S (2016). Upwelling of Atlantic water along the Canadian Beaufort Sea continental slope: Favorable atmospheric conditions and seasonal and interannual variations. *J. Climate*, 29 (12): 4509-4523.  
DOI : 10.1175/JCLI-D-15-0804.1
- Kwak J, **St-Hilaire A** et **Chebana F** (2017). A comparative study for water temperature modelling in a small basin, the Fourchue River, Quebec, Canada. *Hydrol. Sci. J.*, 62 (1): 64-75.  
DOI : 10.1080/02626667.2016.1174334
- **Masselot P**, Dabo-Niang S, **Chebana F** et **Ouarda TBMJ** (2016). Streamflow forecasting using functional regression. *J. Hydrol.*, 538 (Juillet): 754-766.  
DOI : 10.1016/j.jhydrol.2016.04.048
- **Sena GNY**, **Chokmani K**, **Gloaguen E** et **Bernier M** (2016). Analyse multi-échelles de la variabilité spatiale de l'équivalent en eau de la neige (EEN) sur le territoire de l'Est du Canada / Multi-scale analysis of the spatial variability of the water equivalent of snow (EEN) on the eastern territories of Canada. *Hydrol. Sci. J.*, 62 (3): 359-377.  
DOI : 10.1080/02626667.2015.1022552

## Une diversité de partenaires de recherche

- Agence spatiale canadienne
- Environnement et Changement climatique Canada
- Fondation pour la conservation du saumon atlantique
- Gouvernement du Île-du-Prince-Édouard
- Gouvernement du Québec (Développement durable, Environnement et Lutte contre les changements climatiques; Forêt, Faune et Parcs; Sécurité publique; Transports, Mobilité durable et Électrification des transports)
- Tetra Tech
- Ville de Québec
- Yukon Energy

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

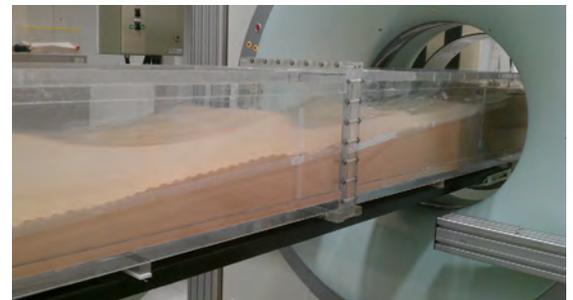
La forte demande pour les ressources minérales, pétrolières et gazières, la gestion durable des eaux souterraines, les risques environnementaux liés aux processus géologiques et l'impact des changements climatiques sont autant de problématiques auxquelles les chercheurs tentent de répondre.

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

### Ce que révèlent les sédiments

L'INRS a une nouvelle chaire de recherche en sédimentologie environnementale. Les travaux de la chaire comportent deux volets distincts. Dans le premier volet, on s'intéresse à la reconstruction pour les derniers siècles de la dynamique d'érosion, d'hypoxie et d'eutrophisation de lacs répartis sur le globe en intégrant des données historiques, géographiques et sédimentaires. Le second volet porte sur la caractérisation des processus sédimentaires dans des lacs, des rivières et sur des plages. Cette caractérisation sera réalisée à partir de modèles physiques reproduits dans un canal hydraulique et analysés par tomodynamométrie dans les laboratoires de l'INRS.



### Dans les profondeurs de la Terre

Dans un contexte où la demande mondiale pour les métaux est en forte croissance, on note un intérêt grandissant pour les mines ultraprofondes. Ces mines comportent des risques géotechniques particuliers que l'on doit être en mesure d'évaluer avec précision. Ce projet vise à développer un algorithme d'intelligence artificielle permettant l'estimation en temps réel des risques géotechniques pour les mines ultraprofondes. Des tests préliminaires ont démontré le potentiel de l'analyse prédictive par intelligence artificielle pour prédire les risques de coup de toit dans les mines.



Photo : Daniel Mennerich [CC] via Flickr

### Eau souterraine, un trésor caché

Au Québec, l'eau souterraine permet d'approvisionner près de 90 % du territoire habité et d'alimenter 20 % de la population. Malgré cela, nos connaissances de la ressource demeurent fragmentaires. L'objectif du projet est de développer des indicateurs de l'état des ressources en eau souterraine et de faire un suivi de l'effet des changements climatiques. Ces indicateurs proviendront surtout des niveaux d'eau mesurés par le Réseau de suivi des eaux souterraines du Québec. On vise d'abord la rive sud du Saint-Laurent où l'on possède plus de données grâce au Programme d'acquisition des connaissances sur les eaux souterraines réalisé de 2009 à 2015.



## 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 noms des auteurs du Centre ETE sont en gras)

- **Bouchedda A, Giroux B** et Allard M (2017). Down-hole magnetometric resistivity inversion for zinc and lead lenses localization at Tobermalug, County Limerick, Ireland. *J. Appl. Geophys.*, 137 (Février): 25-33.  
DOI : 10.1016/j.jappgeo.2016.12.010
- **Castellazzi P, Martel R**, Galloway DL, Longuevergne L et Rivera A (2016). Assessing groundwater depletion and dynamics using GRACE and InSAR: Potential and limitations. *Groundwater*, 54 (6): 768-780.  
DOI : 10.1111/gwat.12453
- **Jenny J-P**, Normandeau A, **Francus P**, Taranu ZE, Gregory-Eaves I, **Lapointe F**, Jautzy J, Ojala AEK, Dorioz J-M, Schimmelmänn A et Zolitschka B (2016). Urban point sources of nutrients were the leading cause for the historical spread of hypoxia across European lakes. *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, 113 (45): 12655-12660.  
DOI : 10.1073/pnas.1605480113
- **Paradis D, Gloaguen E, Lefebvre R** et **Giroux B** (2016). A field proof-of-concept of tomographic slug tests in an anisotropic littoral aquifer. *J. Hydrol.*, 536 (Mai): 61-73.  
DOI : 10.1016/j.jhydrol.2016.02.041
- **Raymond J**, Lamarche L et **Malo M** (2016). Extending thermal response test assessments with inverse numerical modeling of temperature profiles measured in ground heat exchangers. *Renew. Energ.*, 99 (Décembre): 614-621.  
DOI : 10.1016/j.renene.2016.07.005
- **Ross P-S**, Carrasco Nùnez G et Hayman P (2017). Felsic maar-diatreme volcanoes: A review. *Bull. Volcanol.*, 79 : Art. 20.  
DOI : 10.1007/s00445-016-1097-1
- **Scudeler C, Paniconi C**, Pasetto D et Putti M (2017). Examination of the seepage face boundary condition in subsurface and coupled surface/subsurface hydrological models. *Water Resour. Res.*, 53 (3): 1799-1819.  
DOI : 10.1002/2016WR019277
- Waffle L, Godin L, **Harris LB** et Kontopoulou M (2016). Rheological and physical characteristics of crustal-scaled materials for centrifuge analogue modelling. *J. Struct. Geol.*, 86 (Mai): 181-199.  
DOI : 10.1016/j.jsg.2016.02.014

## Une diversité de partenaires de recherche

- Agence spatiale canadienne
- Compagnies minières
- Consortium Ouranos
- Gouvernement du Québec (Développement durable, Environnement et Lutte contre les changements climatiques; Énergie et Ressources naturelles; Sécurité publique)
- Hydro-Québec
- Ville de Québec

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

### ASSAINISSEMENT ET VALORISATION

#### Assainissement et décontamination

- Développement de biofilms nitrifiant sur de nouveaux supports pour améliorer la performance microbienne pour des applications environnementales (resp. Satinder Kaur Brar; financ. Centre national en électrochimie et en technologies environnementales, Université de Sherbrooke)
- Développement de nouvelles formulations d'enzymes-biochars immobilisés pour le traitement des eaux usées chargées en contaminants émergents : carbamézipine et diclofénac (resp. Satinder Kaur Brar; financ. Ministère des Relations internationales et de la Francophonie du Québec – Coopération Québec-Maharashtra)
- Développement d'une base de données sur le lessivage des terres rares (resp. Jean-François Blais; coll. G. Mercier; financ. Ressources naturelles Canada)

#### Bioconversion de biomasses

- Nouvelle option biologique pour la clarification des jus de fruits (resp. Satinder Kaur Brar; financ. CRSNG – Subvention d'engagement partenarial)
- Valorisation des résidus de fruits en bioproduits commercialisables dans le cadre d'une approche de gestion intégrée durable (resp. Satinder Kaur Brar; financ. Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche Scientifique et de la Formation des Cadres du Maroc)

#### Traitement et valorisation de résidus

- Développement de procédés de gestion/valorisation des rejets miniers et de résidus de procédés issus de l'extraction et de la concentration des terres rares à partir de roches de type carbonatites (resp. Jean-François Blais; coll. G. Mercier; financ. FRQNT – Partenariat - Développement durable du secteur minier, Commerce Resources Corp)
- Développement d'un prototype pour séquestrer le CO<sub>2</sub> à la cheminée d'un grand émetteur par carbonatation minérale de résidus miniers de silicate de magnésium (resp. Guy Mercier; coll. J.-F. Blais; financ. Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation du Québec – Programme de soutien à des projets de recherche, MITACS – Programme Élévation)
- Étude de la faisabilité de la production de MgO à faible impact carbone (resp. Guy Mercier; financ. Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation du Québec – Programme de soutien à des projets de recherche, MITACS – Programme Accélération)
- Étude du potentiel de séquestration du CO<sub>2</sub> industriel par les résidus de flottation de mine Arnaud (resp. Guy Mercier; coll. J.-F. Blais; financ. FRQNT – Partenariat - Développement durable du secteur minier)
- Étude du potentiel de valorisation des résidus de silicates d'aluminium provenant de l'exploitation des gisements de spodumène (resp. Jean-François Blais; financ. CRSNG – Subvention d'engagement partenarial, Nemaska Lithium)

- Optimisation du procédé hydrométallurgique de Nemaska Lithium pour valoriser des sous-produits de silicates d'aluminium (resp. Jean-François Blais; coll. G. Mercier; financ. COREM, Nemaska Lithium)
- Traitement et valorisation des déchets de piles alcalines – phase 1 (resp. Jean-François Blais; coll. G. Mercier; financ. CRSNG – Programme de l'Idée à l'Innovation)
- Valorisation des résidus de bauxite pour l'épuration des gaz d'une aluminerie (CO<sub>2</sub> et SO<sub>2</sub>) (resp. Guy Mercier; coll. J.-F. Blais; financ. FRQNT – Partenariat - Développement durable du secteur minier)
- Valorisation des silicates d'aluminium issus de l'extraction du lithium à partir du spodumène comme ajouts cimentaires et comme matière première pour différentes industries (resp. Jean-François Blais; financ. CRSNG – Subvention d'engagement partenarial, Nemaska Lithium)

### BIOGÉOCHIMIE AQUATIQUE

#### Écotoxicologie

- Effets létaux et sous-létaux de bitumes dilués, dispersés ou non, sur des invertébrés d'eau douce (resp. Patrice Couture; financ. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec)
- Effets létaux et sous-létaux de bitumes dilués, dispersés ou non, sur des poissons d'eau douce (resp. Patrice Couture; coll. N. Bergeron et V. Langlois; financ. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec)
- Métaux dans l'environnement : atténuation des risques et gestion durable (resp. Claude Fortin; coll. P.G.C. Campbell; financ. Environnement et Changement climatique Canada)

#### Limnologie

- Nouvelle approche hydrolimnologique appliquée pour quantifier la contamination provenant des eaux usées domestiques : le cas du lac St-Charles (resp. Isabelle Laurion; financ. Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation du Québec – Programme de soutien à des projets de recherche, MITACS – Programme Élévation)
- Réseau canadien sur l'état des lacs du Canada (resp. Isabelle Laurion; financ. CRSNG – Subvention de réseaux stratégiques)

### HYDROLOGIE

#### Analyse statistique et climat

- Développement d'outils de transfert de connaissances afin de soutenir la recherche, l'intervention et la surveillance en santé publique et changements climatiques (resp. Fateh Chebana; financ. Institut national de la santé publique du Québec)
- Élaboration du portrait climatique régional en climat futur en soutien à l'analyse des impacts et de l'adaptation aux changements climatiques au Nunavik (resp. Alain Mailhot; financ. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec)

## Habitat du poisson

- Développement d'outils de gestion et d'analyse de réseaux de suivi de la température de l'eau sur les rivières à saumon (resp. André St-Hilaire; coll. N. Bergeron; financ. CRSNG – Subvention d'engagement partenarial)
- Évaluations du potentiel de production de saumon atlantique et fragmentation de leur habitat naturel (resp. Normand Bergeron; financ. MITAS – Programme Accélération)
- Inclusion de la température de l'eau dans un modèle généraliste d'habitat du saumon atlantique (resp. André St-Hilaire; financ. Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation du Québec – Programme de soutien à des projets de recherche, MITACS – Programme Accélération, Fondation pour la conservation du saumon atlantique)
- Mise à jour de la méthode de détermination des unités de production pour les rivières à saumon atlantique du Québec (resp. Normand Bergeron; financ. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec)
- Modélisation du potentiel de production des rivières à saumon du Québec à partir d'imagerie haute résolution (resp. Normand Bergeron; financ. Fondation pour la conservation du saumon atlantique)
- Projet de caractérisation des habitats du saumon des rivières de Gaspé (resp. Normand Bergeron; financ. Fondation pour le saumon du Grand Gaspé)
- Utilisation des refuges thermiques par les saumons géniteurs (resp. Normand Bergeron; financ. Fondation pour la conservation du saumon atlantique)

## Hydrologie statistique et environnementale

- Développement et adaptation d'un outils multimodules de prévision hydrologique et thermique dans un contexte d'assimilation de données (resp. André St-Hilaire; coll. F. Chebana; financ. Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation du Québec – Programme de soutien à des projets de recherche, MITACS – Programme Accélération)
- Développement d'outils d'évaluation et d'atténuation des impacts potentiels de la récolte de tourbe sur la qualité de l'eau des cours d'eau récepteurs (resp. André St-Hilaire; coll. S. Duchesne et C. Fortin; financ. FRQNT – Partenariat - Développement durable du secteur minier, Association des producteurs de tourbe horticole du Québec)
- Inventaire, numérisation et analyse des données de température de l'eau disponibles aux services hydrologiques nationaux (resp. André St-Hilaire; coll. N. Bergeron; financ. Environnement et Changement climatique Canada)
- Prévion des apports dans les réservoirs du Yukon dans un contexte de changements climatiques (resp. Alain Rousseau; financ. CRSNG – Subvention de recherche et développement coopératifs, Yukon Energy)
- Prise en compte des changements climatiques lors de l'évaluation des impacts cumulatifs des prélèvements d'eau (resp. André St-Hilaire; financ. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec)
- Révision des lignes directrices pour l'établissement de débits réservés environnementaux à l'Île-du-Prince-Édouard dans un contexte de changements climatiques (resp. André St-Hilaire; financ. Gouvernement de l'Île-du-Prince-Édouard)
- Revue des méthodes hydrologiques et hydrauliques permettant d'estimer les débits réservés environnementaux (resp. André St-Hilaire; financ. Wetlands International Mali)

## Hydrologie urbaine

- Gestion durable des eaux pluviales en climat continental froid et humide (resp. Sophie Duchesne; financ. CRSNG – Subvention de recherche et développement coopératifs, Techo-Bloc, Tetra Tech, Vinci Consultants)
- Nouveau modèle basé sur les données pour la demande urbaine en eau (resp. Fateh Chebana; CRSNG – Subvention d'engagement partenarial)
- Planification du renouvellement des conduites d'égout (resp. Sophie Duchesne; financ. Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation – Programme de soutien à des projets de recherche, MITACS – Programme Accélération)
- Planification et suivi des campagnes de mesures pour identifier les sources de coliformes fécaux dans le fleuve St-Laurent et la rivière St-Charles (resp. Sophie Duchesne; coll. Y. Secretan; financ. Ville de Québec)
- Pratiques de gestion durable des eaux pluviales (resp. Sophie Duchesne; financ. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec)

## SCIENCES DE LA TERRE

### Environnements géologiques et ressources naturelles

- Analyse de la perception des québécois sur le développement des ressources minérales et comparaison de l'acceptabilité sociale avec le développement d'autres ressources naturelles (resp. Michel Malo; coll. C. Rivard, CGC; financ. FRQNT – Partenariat - Développement durable du secteur minier)
- Analyse des bassins sédimentaires du Burkina Faso (resp. Michel Malo; financ. Effigis géo-solutions)
- Évaluation du potentiel de stockage géologique du CO<sub>2</sub> de la structure de Bonaventure à l'aide d'un modèle géologique 3D (resp. Erwan Gloaguen; financ. CRSNG – Subvention d'engagement partenarial)
- Modèle géologique 3D du réservoir de la structure Massé (resp. Michel Malo; coll. J. Raymond; financ. MITACS – Programme Élévation)
- Contrôles de la distribution, style, composition et âge de zones aurifères minéralisées du gisement Horne (resp. Pierre-Simon Ross; coll. P. Mercier-Langevin, CGC; financ. Falco Resources)
- Ressources naturelles et effets environnementaux associés à l'activité volcanique (resp. Pierre-Simon Ross; financ. Ministère des Relations internationales et de la Francophonie du Québec)
- Stratigraphie volcanique de la Ceinture de Colomb-Chaboullié et contexte de mise en place des sulfures massifs volcanogènes (resp. Pierre-Simon Ross; financ. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec)

### Géostatistique

- Prévion des risques géotechniques en temps réel pour les mines ultraprofondes à l'aide d'algorithmes statistiques (resp. Erwan Gloaguen; financ. Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation du Québec – Programme de soutien à des projets de recherche, MITACS – Programme Accélération)

## Géothermie

- Caractérisation des performances mécaniques et thermiques d'un tuyau conçu pour la géothermie (resp. Jasmin Raymond; financ. Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation du Québec – Programme de soutien à des projets de recherche, MITACS – Programme Accélération)
- Chaire de recherche sur le potentiel géothermique du Nord (resp. Jasmin Raymond; financ. Institut nordique du Québec)
- Potentiel des ressources et technologies géothermiques pour l'approvisionnement énergétique des mines du Nord (resp. Jasmin Raymond; coll. M. Malo; financ. FRQNT – Partenariat - Développement durable du secteur minier)

## Hydrogéologie

- Réhabilitation *in situ* des sols contaminés et protection des eaux souterraines (resp. Richard Martel; financ. CRSNG – Subvention à la découverte individuelle)

## Sédimentologie

- Chaire de recherche du Canada en sédimentologie environnementale (resp. Pierre Francus; financ. Secrétariat des Chaires de recherche du Canada)
- Évaluation des impacts du transport des sédiments par l'optimisation de la gestion de l'ouverture de la vanne du barrage Samson de la rivière Saint-Charles - Phase 1 (resp. Pierre Francus; financ. Ville de Québec)
- Projet PERSISTANCE : risque de faible hydraulicité persistante dans les bassins hydroélectriques du Québec-Labrador : une perspective millénaire (resp. Pierre Francus; financ. CRSNG – Subvention de recherche et développement coopératifs, Consortium Ouranos)

## Techniques novatrices

- INTROSPECTiON du mobilier archéologique à l'ère du numérique (resp. Pierre Francus; financ. Fonds de recherche du Québec-Société et culture – Projets de recherche franco-québécois)
- Suivi des mouvements du sol à Québec à l'aide d'interférométrie radar (resp. Richard Martel; financ. Agence spatiale canadienne, Ville de Québec)

## TÉLÉDÉTECTION

- Cartographie en ligne des inondations au Québec (resp. Karem Chokmani; financ. Ministère de la Sécurité publique Québec)
- Réseau Safe Passage (phase 2) : Recherche sur la glace de mer en vue du développement du Nord (resp. Monique Bernier; financ. Savoir Polaire Canada)
- Suivi des conditions de glaces de rive et de vagues à l'aide de caméras et d'imagerie satellitaire à proximité d'infrastructures maritimes au Nunavik dans un contexte de changements climatiques (resp. Monique Bernier; financ. Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports du Québec)
- Suivi des fleurs d'eau d'algues bleu-vert ou cyanobactéries (FEA) par télédétection dans les petits lacs et dans le littoral près des rives (resp. Karem Chokmani; financ. CRSNG – Subvention d'engagement partenarial, Groupe Hémisphères)
- Utilisation de l'imagerie hyperspectrale embarquée sur drone pour la calibration et la validation d'un algorithme basé sur l'imagerie Sentinel-2 pour le suivi des fleurs d'eau d'algues et/ou cyanobactéries dans les eaux douces du Québec méridional (resp. Karem Chokmani; coll. I. Laurion; financ. Agence spatiale canadienne)

## Les publications

### Publications scientifiques

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

[www.ete.inrs.ca/ete/publications#rapports\\_annuels](http://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](http://www.ete.inrs.ca/ete/publications/rapports)

[www.ete.inrs.ca/ete/publications/theses-memoires](http://www.ete.inrs.ca/ete/publications/theses-memoires)

### Revue des Sciences de l'eau

[www.rse.inrs.ca](http://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](http://www.ete.inrs.ca/ete/publications/theses-memoires).

### Capsules INRSciences

[www.ete.inrs.ca/ete/publications#CapsulesINRSciences](http://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

**26-27 septembre 2016** : [7<sup>e</sup> édition de l'atelier STAHY](#) de l'International Commission on Statistical Hydrology (ICSH), une entité de l'International Association of Hydrological Sciences (IAHS), organisé au Centre par le professeur Fateh Chebana et son équipe.



Participants à l'atelier STAHY 2016 tenu au Centre.

**4-6 novembre** : [Changement global : comprendre et s'adapter](#). Deuxième édition du congrès étudiant Eau Terre Environnement organisé par l'Association étudiante du Centre.

**8 décembre** : [Colloque sur la géothermie](#) organisé au Centre par le professeur Jasmin Raymond et son équipe.

**21 avril 2017** : Conférence et table ronde tenues dans le cadre de l'événement Convergences : réflexion sur l'avenir des ressources hydriques au Canada coorganisé par l'INRS à Québec.

## 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.

Au printemps 2016, deux étudiants ont remporté des prix pour la qualité de leurs affiches. Le doctorant Yohann Chiu, de l'équipe du professeur Fateh Chebana, a remporté la palme de la meilleure affiche scientifique au colloque annuel de l'Association des statisticiens et statisticiennes du Québec (mai) et une seconde fois à la conférence étudiante de la Canadian Society for Epidemiology and Biostatistics (juin). L'étudiante à la maîtrise Caroline Bélanger, de l'équipe du professeur Pierre-Simon Ross, a remporté le prix de la Mineral Deposit Division pour son affiche présentée en juin au congrès annuel GAC-MAC (Geological Association of Canada-Mineralogical Association of Canada).

En mai, l'étudiante à la maîtrise Louise-Emmanuelle Paris, de l'équipe du professeur Claude Fortin, a remporté le premier prix du concours de vulgarisation scientifique SCIENCE SLAM SETAC-Europe.

En septembre, la doctorante Dhouha Ouali, de l'équipe du professeur Fateh Chebana, a reçu le prix de la meilleure affiche étudiante à l'Atelier STAHY 2016.

En octobre, une équipe d'étudiants du Centre a fait bonne figure en prenant la 4<sup>e</sup> position au Défi AquaHacking organisé dans le cadre du Sommet AQUA HACKING 2016 Unis pour le Saint-Laurent. L'équipe H2EAU était composée de six étudiants au doctorat en sciences de l'eau. L'application qu'ils ont développée pour ce défi est disponible sur [goexplo.ca](http://goexplo.ca).



En partant de gauche de la photo : Sarah Goubet, Marie-Ève Jean et Etienne Foulon; en partant de la droite : Yohann Chiu et Charles Gignac; absent de la photo : François Clayer (© Aqua Hacking).

En novembre, lors du Congrès étudiant Eau Terre Environnement, plusieurs étudiants se sont distingués pour la qualité de leur communication scientifique. Des prix quotidiens ont été remis pour la meilleure présentation orale à François Clayer, Lauriane Dinis et Pierre-Lucas Masselot. Les trois meilleures affiches ont été primées : Marc Laurencelle, Rosemarie Gagnon-Poiré et Maria José Moreno Correia.

En décembre, un article sur les travaux de François Lapointe, doctorant dans l'équipe du professeur Pierre Francus, a été publié sur [GeoSpace](#), un blogue de l'American Geophysical Union sur les sciences de la Terre et de l'espace.

Le doctorant Vinayak Pachapur, de l'équipe de la professeure Satinder Kaur Brar, a reçu une bourse de la Next Generation Scientists for Biodiesel pour présenter une affiche à la National Biodiesel Conference & Expo en Californie en janvier 2017.

Enfin, au printemps, lors de la collation des grades 2016-17 de l'INRS, plusieurs diplômés du Centre se sont distingués :

- Prix pour la meilleure thèse de doctorat : Maxime Fossey, diplômé en sciences de l'eau sous la direction du professeur Alain Rousseau.
- Prix pour le meilleur mémoire de maîtrise : Maher Nasr, diplômé en sciences de la Terre sous la direction des professeurs Michel Malo et Jasmin Raymond.
- Prix pour l'innovation : Vinayak Pachapur, diplômé du doctorat en sciences de l'eau, pour sa contribution à l'élaboration d'un procédé de production d'énergie à partir de matières résiduelles qui ne génère pas de gaz à effet de serre et réduit les coûts.
- Prix du rayonnement international : Elsa Goerig, diplômée du doctorat en sciences de la Terre, pour sa participation à bon nombre de congrès et symposiums internationaux, soit en tant que membre de l'organisation ou pour y présenter ses travaux.

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

Le professeur Normand Bergeron a reçu le prix Salar Jean-Paul Duguay 2016 de la Fédération québécoise du saumon atlantique en reconnaissance de sa contribution à la recherche scientifique sur le saumon atlantique et à la conservation de l'espèce.

Le professeur René Lefebvre est lauréat du prix Robert N. Farvolden 2016 pour l'excellence de ses contributions scientifiques dans le domaine des eaux souterraines au Canada. Cette distinction est attribuée conjointement par la Société canadienne de géotechnique et la Section nationale canadienne de l'Association internationale des hydrogéologues.

Le professeur Rajeshwar Dayal Tyagi a été reçu Fellow par l'International Water Association en reconnaissance de sa contribution dans le domaine de l'eau. Il est le seul chercheur canadien élevé à ce rang en 2016. Il a également reçu le prix Mahatma Gandhi Pravasi Samman 2016 qui récompense des personnalités qui contribuent au rayonnement de l'Inde par leurs réalisations exceptionnelles.

## L'effort de vulgarisation

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

Chez les professeurs, Karem Chokmani a été sollicité par plusieurs médias (radio et télévision) suite au lancement en novembre de son nouveau laboratoire de télédétection environnementale par drones. Jasmin Raymond a pour sa part accordé deux entrevues à la radio en cours d'année sur le thème de la géothermie suite à l'obtention d'une chaire de recherche sur le sujet. Alain Rousseau a répondu à une question d'un auditeur sur l'eau douce à l'émission radio de vulgarisation scientifique *Les Années Lumière*.

Des étudiants du Centre participent régulièrement à des chroniques radio de vulgarisation scientifique à l'émission *Futur simple* de CKRL. Deux doctorants, Corinne Bourgault-Brunelle et Hachem Agili, l'ont fait en cours d'année.

Deux chercheurs du Centre ont contribué en 2016 à des reportages publiés par *Québec Science* : Patrick Drogui pour *Une eau encore bonne à boire?* et Satinder Kaur Brar pour *Précieuses épices*.

Sur le plan des activités de vulgarisation, l'année a été particulièrement riche. Le 23 mai 2016, deux membres du Centre, Isabelle Lavoie et Ilies Tebbiche, ont présenté leurs travaux dans le cadre du festival Pinte de science, un événement international de vulgarisation scientifico-ludique.

Le mois de mars a été bien rempli avec trois événements auxquels les étudiants du Centre ont participé. Le 8 mars, une visite pour faire découvrir la recherche étudiante et les laboratoires du Centre a été organisée pour les étudiants universitaires de la région. Le 18 mars avait lieu la journée Les filles et les sciences visant à faire connaître aux adolescentes de la région les professions scientifiques et technologiques. Enfin, le 22 mars, avait lieu la finale institutionnelle du concours Ma thèse en 180 secondes/Three Minute Thesis. Les doctorants doivent relever le défi de présenter leur thèse en 3 min top chrono. Des étudiants du Centre, Saurabh Kumar Ram et Louise-Emmanuelle Paris, ont remporté les deux premières positions de la finale anglophone.



Les étudiants du Centre parlent de leur projets de recherche lors de la visite guidée du 8 mars 2017.

## Les programmes d'études

[www.ete.inrs.ca/ete/etudier/programmes](http://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 les programmes de maîtrise 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 de recherche.

### 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



Comité organisateur du congrès étudiant Eau Terre Environnement 2016

## 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](http://www.inrs.ca/recherche/stages-postdoctoraux)

Stages d'été au Centre :

[www.stages.ete.inrs.ca](http://www.stages.ete.inrs.ca)

## Professeurs-chercheurs

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

## Professeurs émérites

Bernard Bobée  
Peter G.C. Campbell  
Georges Drapeau

## Professeurs honoraires

Pierre Lafrance  
André Tessier

## Professeurs associés

Aïcha Achab, Centre Eau Terre Environnement, INRS (INRS-ETE)  
Jason M.E. Ahad, Commission géologique du Canada, bureau de Québec (CGC-Québec)  
Jean-Christian Auclair, INRS-ETE  
Antonio Avalos Ramirez, Centre national en électrochimie et en technologies environnementales (CNETE)  
Jean H. Bédard, CGC-Québec

Christian Bégin, CGC-Québec  
Marie-Amélie Boucher, UQAC  
Sébastien Castonguay, CGC-Québec  
Louise Corriveau, CGC-Québec  
Simon Courtney, University of Waterloo  
Gregory Dipple, University of British Columbia  
Benoît Dubé, CGC-Québec  
Mathieu J. Duchesne, CGC-Québec  
Salah-Eddine El Adlouni, Université de Moncton  
Jean-Pierre Fortin, INRS-ETE  
Jaime Max Gárfias Soliz, Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA, Mexique)  
Pierre Gosselin, Institut national de la santé publique du Québec (INSPQ)  
Carl Guilmette, Université Laval  
Sylvio J. Gumiere, Université Laval  
Alexis Hannart, Institut Franco-Argentin d'études sur le climat et ses impacts, CNRS (Argentine)  
Michel Houlié, CGC-Québec  
Amélie Janin, Yukon Research Centre  
Sandra Kentish, University of Melbourne (Australie)  
Valérie Langlois, Collège militaire royal du Canada  
Denis Lavoie, CGC-Québec  
Séverine Le Faucheur, Université de Genève (Suisse)  
Michel Leclerc, INRS-ETE  
Sinh Lequoc, INRS-ETE  
Patrick Mercier-Langevin, CGC-Québec  
Yves Michaud, CGC-Québec  
Jean-Louis Morel, Université de Lorraine (France)  
Miroslav B. Nastev, CGC-Québec  
Michel A. Parent, CGC-Québec  
Didier Perret, CGC-Québec  
Reinhard Pienitz, Université Laval  
Nicolas Pinet, CGC-Québec  
Monique Poulin, Université Laval  
Milla Rautio, UQAC  
John F. V. Riva, INRS-ETE  
Christine Rivard, CGC-Québec  
Alfonso Rivera, CGC-Québec  
Maïkel Rosabal Rodriguez, UQAM  
René Roy, Hydro-Québec  
Martine M. Savard, CGC-Québec  
Marie-Odile Simonnot, Université de Lorraine (France)  
Alain Soucy, INRS-ETE

## Professeurs et chercheurs invités

Olivier Blein, BRGM (France)  
Raoul-Marie Couture, Norwegian Institute for Water Research (Norvège)  
Sylvie Daniel, Université Laval  
Daniel Fortier, Université de Montréal  
Philippe Gachon, UQAM  
Soizic Morin, Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (France)  
André Poirier, GEOTOP, UQAM  
José R. Valéro, retraité, Service canadien des forêts

\* devenu honoraire en cours d'année

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.

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

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

Les **laboratoires de recherche** sont localisés sur le campus urbain de l'Université du Québec au centre-ville de Québec. Ils comprennent un 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 LISTE au parc technologique



Station de recherche CIRSA au Saguenay

## 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](mailto: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  $\mu\text{m}$ ) 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.

### 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](mailto:pierre.francus@ete.inrs.ca)

[ete.inrs.ca/giras](http://ete.inrs.ca/giras)  
[ete.inrs.ca/meb](http://ete.inrs.ca/meb)

## Biogéochimie aquatique et limnologie

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

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

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



Appareil de chromatographie en phase gazeuse

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

RESPONSABLE DU LABORATOIRE :

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

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



Drones de types hélicoptère et multirotor du laboratoire TED

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

RESPONSABLES SCIENTIFIQUES :

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

Équipe TENOR et TED : **Karem Chokmani**, karem.chokmani@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).

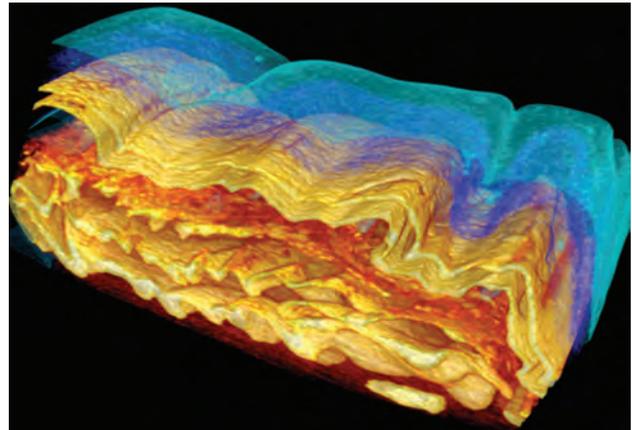


Image en 3D d'un modèle de plissement durant l'écoulement canalisé

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE :

**Lyal Harris**, [lyal.harris@ete.inrs.ca](mailto:lyal.harris@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](http://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](mailto:yves.secretan@ete.inrs.ca)

HYDROTEL/PHYSITEL et GIBSI : **Alain N. Rousseau**, [alain.rousseau@ete.inrs.ca](mailto: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 m<sup>3</sup> pour simuler des marées
- Système bidirectionnel de circulation d'eau pouvant atteindre un débit de 5 m<sup>3</sup>/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 :  
**Taha B.M.J. Ouarda**, taha.ouarda@ete.inrs.ca

[lhe.ete.inrs.ca](http://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.

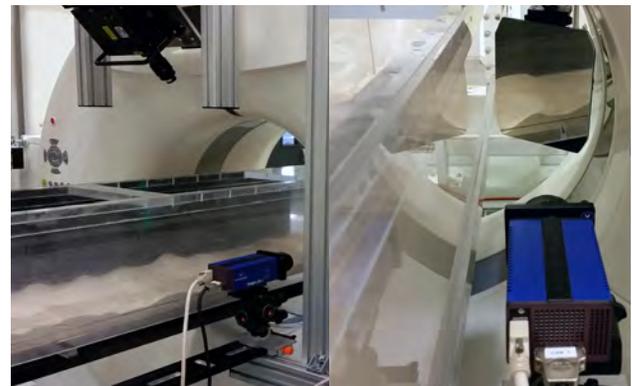
Différents dispositifs confèrent à cet équipement une flexibilité d'application unique. Le tomodensitomètre est sensible à des variations de densité de 0,1%. Il est doté d'une ouverture de 78 cm de diamètre et d'une configuration sources/détecteurs permettant des mesures à 360° autour du corps analysé.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

GESTIONNAIRES :

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

**Mathieu Des Roches**, mathieu.des\_roches@ete.inrs.ca

[ctscan.ete.inrs.ca](http://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

[lbe.ete.inrs.ca](http://lbe.ete.inrs.ca)

## Assainissement et décontamination

Mise en œuvre à échelle préindustrielle d'un train de technologies impliquant des processus chimiques, physiques et biologiques afin de développer ou optimiser des procédés de décontamination tant pour des liquides, 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 ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_x$ , etc.) peuvent être étudiés.



Remorque servant d'usine mobile



Décanteurs lamellaires avec instrumentation



Laboratoire d'expérimentations à environnement contrôlé



Montage de séquestration du  $\text{CO}_2$  par carbonatation minérale

Les principales unités modulaires sont les suivantes :

### Filière liquide

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

### Filière solide

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

### Filière gazeuse

- Réacteur (18 L)
- Cellule de précipitation

#### RESPONSABLES SCIENTIFIQUES :

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

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

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

## Électrotechnologies environnementales

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

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

Les principaux équipements sont les suivants :

- Potentiostat/galvanostat
- Titrateur potentiométrique
- Spectrophotomètres UV-vis et de photoluminescence
- Cellules d'électrophotocatalyse et d'ozonation
- Réacteurs de photocatalyse et de sonochimie
- Deux réacteurs d'électrooxydation/électrodéposition de type laboratoire (2-5 L) et une unité de type préindustriel (100-150 L)
- Deux réacteurs d'électrocoagulation/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](http://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 m<sup>3</sup> 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

## 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

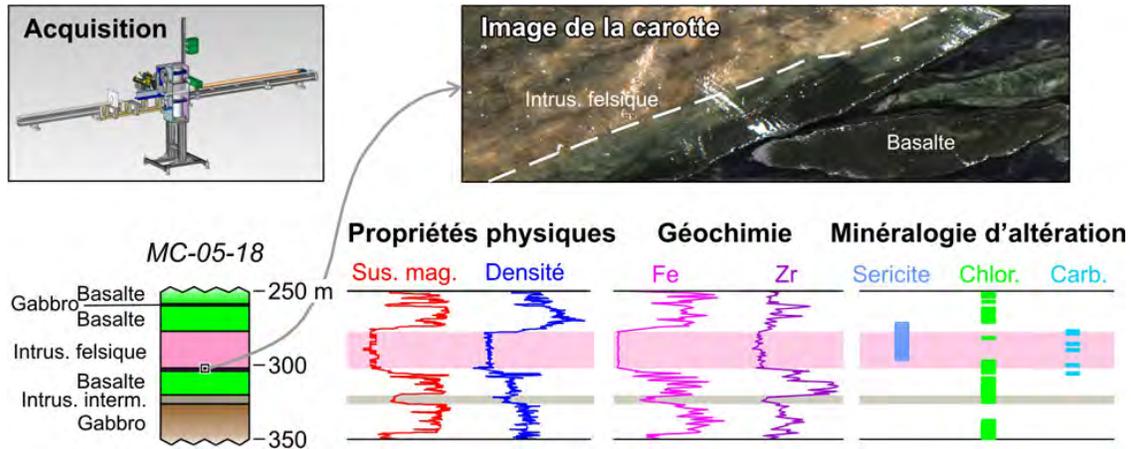
RESPONSABLE SCIENTIFIQUE :

**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](http://lamroc.ete.inrs.ca)

## Géophysique

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

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

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



Levé sur glace

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

