



La **Journée**
des **Sciences** de la **Terre**
et de l'**Environnement**
22^e édition

Recueil des résumés

Jeudi 14 mars 2024

**IN
RS**

Institut national
de la recherche
scientifique

Conférenciers invités

Geneviève Bordeleau¹, professeur

¹Institut national de la recherche scientifique, Centre Eau Terre Environnement, Québec, Canada

Georges Beaudoin¹, professeur

¹Université Laval, département de géologie et de génie géologique, Québec, Canada

Présentations orales

Session # 1: Environnement

Extraction et purification durable des ETR et autres métaux à partir des déchets de piles non-triés: Cas des piles Ni-MH

Aba Marie Anne-Antoine Otron (INRS-ETE)

Peu importe la typologie des piles, leur durée de vie limitée font qu'elles constitueront tôt ou tard une masse de déchets dont la gestion s'avère problématique tant leur contenu est élevé en éléments et métaux à fort intérêt économique aussi jugés critiques par plusieurs pays (ETR, Li, Ni, Co, Zn, etc.), mais aussi toxiques pour l'environnement et l'humain (Cd, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn, Zn). Leur exploitation en tant que source secondaire demeure, pour l'instant, le seul moyen permettant de rallier la contrainte économique à la contrainte environnementale. Au Canada, la grande majorité des piles usagées sont incinérées ou enfouies; seulement un peu plus de 15% sont acheminés vers les filières de recyclage. Dans l'ensemble des procédés développés, un tri est préalablement intégré car, les piles sont traitées en fonction de leur chimie. Ce tri reste largement manuel et nécessite une logistique bien définie qui limite le potentiel du recyclage tout en le rendant fastidieux, lourd et coûteux. L'objectif de ce projet est de développer un procédé d'extraction et de purification durable des éléments de terres rares (ETR) et autres métaux à partir des déchets de piles non-triés.

La mise en place de cette filière technologique supprime l'étape de tri et comprend deux grandes parties. La première a permis de produire un concentré de ETR, de Ni et de Co à partir des déchets de piles Ni-MH. La seconde prendra en compte l'intégration et l'évaluation de la filière de traitement développée avec les piles Ni-MH pour le traitement des déchets de piles non-triées tout en y ajoutant une évaluation de la filière complète de traitement avec recirculation des eaux de procédé, suivie de l'évaluation technico-économique.

Production of polyhydroxyalkanoate (PHA) biopolyesters by thermophilic bacteria using waste substrates

S. Chavan (INRS-ETE), R.D. Tyagi (Huzhou University), P. Drogui (INRS-ETE)

Western civilization has been strongly defined by synthetic plastics. An important current problem is the discharge of harmful poisons into the environment as a result of the nondegradable petrochemical-based plastic's augmentation and their improper disintegration process. To counter this major issue, research has been directed towards biopolymers production such as polyhydroxyalkanoates (PHA). These materials are typically regarded as biodegradable and sustainable alternatives to conventional petro-plastics, which are generally stored by microbial cells as intracellular granules. Despite its numerous advantages, the amount of these polymers produced at an industrial scale is still less than the synthetic plastics due to its high production cost. In addition to this, the microorganism used in the bioprocess is also critical. Mesophilic microbes are widely used in large bioprocessing. Still, there's a higher risk of cross-contamination from other mesophilic microbiota in this process, making it difficult to scale up. To address these concerns, extremophiles (E.g., thermophiles) can be the best probable alternative that contributes to a highly efficient and productive ecosystem. The use of thermophiles for PHA synthesis has several advantages, but one of the key components of the Next-Generation Industrial Biotechnology idea is the process's improved resilience against contamination by typical mesophilic microorganisms. With the aim, to develop a thermophilic bioprocess for PHA production, potential thermophilic PHA-producing bacteria have been isolated, identified and characterized using various enrichment techniques from activated sludge from paper and pulp industry, in Quebec City, Canada. Representative high PHA-yielding isolates were then processed for further optimization studies. The maximum PHA content: 57% and 72% w/w respectively from isolated strains identified as *Schelegelella thermodepolymerans* and *Caldimonas Taiwanensis* respectively. In a nutshell, at the INRS-ETE we have designed and constructed biological machines for the production of sustainable products which will help us to protect our environment and to mitigate the problem of climate change.

Évaluation de la biodiversité et la détection d'espèces à statut spécial sur deux sites miniers sur le territoire d'Eeyou Istchee

Fidji Sandré (INRS-ETE), Tuan Anh To, Julie Couillard, Valérie S. Langois (INRS-ETE)

L'utilisation de l'ADN environnemental (ADNe) pour bonifier les études d'impact environnemental, notamment pour l'évaluation de la biodiversité et la détection d'espèces rares, est de plus en plus considérée par le secteur privé et le secteur réglementaire. En partenariat avec le Gouvernement de la Nation Crie (GNC), ce projet vise à caractériser la présence de dix animaux d'importance crie entourant deux sites miniers. Les dix espèces d'intérêt comprennent l'esturgeon jaune, le caribou des bois, le quiscale rouilleux, le carcajou, la petite chauve-souris brune, l'hirondelle de rivage, la belette pygmée, le campagnol-lemmings de Cooper, l'omble de fontaine et la musaraigne palustre. Plusieurs stations d'échantillonnage ont été visitées lors de l'été 2022 et 2023. Les extractions de l'ADNe ont été complétées et la validation de la qualité des échantillons par la trousse ePlantTM a permis d'établir que 99% des échantillons sont de qualité pour procéder à l'analyse. Les résultats préliminaires de trois espèces ont été testés jusqu'à maintenant et suggèrent que l'omble de fontaine vit dans les cours d'eau à proximité d'une des mines. En revanche, ni l'ADNe de l'esturgeon jaune, ni celui du caribou des bois n'a été détecté sur ce site minier. Les analyses des autres échantillons sont en cours et les résultats finaux seront présentés. Ces résultats permettront de faire un bilan de la biodiversité et du suivi de l'écosystème durant la vie utile et post-opérationnelle de ces mines.

Suivi des micromammifères au Québec : l'analyse de l'ADN environnemental dans le sol donne-t-elle des résultats comparables aux pièges mortels?

Marie-Pier Brochu (INRS-ETE), Valérie S. Langois (INRS-ETE), Hugo Asselin (UQAT)

Au Québec, les micromammifères représentent 23 espèces de musaraignes, campagnols, souris et taupes. À l'heure actuelle, le suivi de ces populations est principalement effectué à l'aide de pièges mortels, ce qui n'est pas compatible avec une vision de conservation des espèces. Une méthode alternative non invasive serait préférable, donc la possibilité d'analyser l'ADN environnemental (ADNe) des micromammifères à partir d'échantillons de sol a été étudiée. L'objectif de notre étude était de comparer la détection de deux espèces de micromammifères par l'analyse de l'ADNe dans le sol versus par les pièges mortels. À l'automne 2022, des échantillons de sol ont été collectés à plusieurs reprises autour de 10 pièges mortels dans le Parc national de la Jacques-Cartier (QC, Canada). L'ADNe a été analysé à l'aide d'ensembles amorces/sonde nouvellement développés pour détecter spécifiquement la musaraigne fuligineuse (*Sorex fumeus*) et la musaraigne cendrée (*Sorex cinereus*) via la PCR quantitative (qPCR). Les résultats montrent que la détection via l'ADNe correspond à la détection par les pièges à 50 % pour la musaraigne fuligineuse et à 9 % pour la musaraigne cendrée. Ces faibles taux de détection sont probablement dus aux quantités restreintes d'ADN que les musaraignes relâchent dans l'environnement, une limite exacerbée par la difficulté d'isoler l'ADNe réparti sur une grande superficie de sol. En conclusion, la méthode basée sur l'ADNe doit connaître plusieurs améliorations avant d'être utilisée pour le suivi des populations de micromammifères au Québec.

Session # 2: Hydrogéologie

Evaluating Groundwater Contributions to the Carbon and Water Balance of Thermokarst Ponds

Reginald Somera (Université Laval), Jean-Michel Lemieux (Université Laval)

Permafrost mounds develop in discontinuous and sporadic permafrost regions. In response to climate warming, the permafrost contained within these mounds thaw, leaving depressions enclosed by high ramparts that accumulate water from precipitation and thawed permafrost. Resulting thermokarst lakes are important in the carbon cycle, in sub-arctic and arctic Canada, due to their ongoing emissions of greenhouse gasses (GHGs). One largely overlooked component of thermokarst hydrological systems is groundwater; since permafrost typically acts as a barrier to groundwater flow toward thermokarst lakes, this assumption may have previously been acceptable. As permafrost mounds undergo increased thaw in the near-future, hydrological systems, and particularly thermokarst systems, are anticipated to become more connected, above and below the surface.

This research investigates fluxes between thermokarst lakes and groundwater reservoirs in the Tasiapik Valley, near Umiujaq (Nunavik, Québec). Geomorphological and sedimentological observations were first applied to discern lakes of thermokarst origin from those that were not, and to identify conditions conducive to groundwater exchange. For select thermokarst lakes, a water and mass budget approach were applied using in-situ field measurements to understand the influence of groundwater. Lastly, groundwater-surface water interactions were interpreted using geochemical and isotopic tracers including: major ions, stable water isotopes, and dissolved carbon forms and their isotopes.

Hydrogeological, geochemical and geomorphological evidence in the Tasiapik Valley indicate the presence of at least two thermokarst pond types, with contrasting hydrological connectivities to the subsurface. These unique thermokarst pond types are supported by water and mass budget results. At a watershed scale, years of water isotope data support that most ponds here have evaporative fluxes that are exceeded by hydrological inputs. Positive relationships between historic $\delta^{13}\text{CDIC}$ and DOC results suggest the respiration of DOC is a primary source of CO_2 from pond surfaces, however, dissolved carbon dynamics in these groundwater-surface systems are still being explored.

A multimodel study of the hydrodynamics of the Fox Creek area (Alberta) from bedrock formations to surface water/groundwater interactions

Bárbara Menseses Vega (INRS-ETE), **Claudio Paniconi** (INRS-ETE), **Christine Rivard** (NRCan-QC)

The Geological Survey of Canada is currently conducting a multidisciplinary project that aims to assess the potential impacts of oil and gas development on water resources in the Fox Creek area (west-central Alberta, Canada). The study area corresponds to a 700 km² watershed with a regional bedrock aquifer located in the Paskapoo Formation. As part of this project, a conceptual model of this watershed was developed based on a characterization from provincial geological and hydrogeological data, fieldwork, and laboratory analyses. This conceptual model was then used as a basis for a series of numerical simulations of increasing complexity, comprising a 2D groundwater model (FLONET), a 3D groundwater model (FEFLOW), 2D and 3D variable saturation models (CATHY), and a 3D groundwater/surface water model (CATHY). This multimodel approach allowed us to first examine the interactions between the upper Paskapoo Fm. and the underlying units, as well as the ratio of hydraulic conductivity and recharge values, in response to rainfall forcing (input directly as a recharge boundary condition). Determining the interactions between upper and lower units to be relatively weak, it was possible to restrict the modeling domain to the Paskapoo Fm., then to its upper part, and to add the unconsolidated surficial sediments for a detailed investigation of groundwater/surface water (GW/SW) interactions, in this case with direct atmospheric (rainfall and evaporation) forcing. From these simulations, topography was found to exert a strong control on flow behavior. Transient simulations with the coupled GW/SW model revealed the importance of land surface saturation dynamics. For instance, while the saturation excess mechanism for overland flow generation was found to be dominant, infiltration excess runoff also occurs, not only during heavy rainfall events but also under ponding-assisted conditions. The spatial and temporal behavior of the different model outputs is currently being investigated.

Comparaison des algorithmes métaheuristiques pour l'estimation des copules mixtes hydrologiques

Emna Gontara (INRS-ETE), Fateh Chebana (INRS-ETE)

Extreme events are often described by several correlated random variables. Floods are characterized by their peaks, volumes and durations. Hydrological Frequency Analysis (HFA) has been carried out widely to investigate the behaviour of hydrological variables, especially regarding hydrological risk. Copulas are considered to accurately capture the dependence between those variables in the context of multivariate HFA. Although homogeneity is one of the most essential assumptions for a wide range of applications, it is not always fulfilled. This is attributed to climate change, human activities and the nature of hydrometeorological events. Therefore, mixture copulas are appropriate. Since metaheuristic algorithms are highly effective at optimizing various applications, combined with pseudo-maximum likelihood, they are relevant for mixture copulas' parameter estimation. For a comparison of their performance under hydrological constraints, an extensive simulation study is conducted. Simulation results show improved performance over the traditional method. They also have similar performance, although there is a significant difference in the time consumed to reach convergence. Mixture proportion ω holds significant importance within a mixture framework.

Multivariate non-stationary tests in hydrology frequency analysis

Dorsaf Goutali (INRS-ETE), Fateh Chebana (INRS-ETE)

Hydrological Frequency analysis (HFA) is one of the most used statistical technique commonly used to study hydrological events such as floods. The later are considered as multivariate events described through their peak and volume among other dependent variables/features. On the other hand, under a changing climate there have been a growing number of studies consider trends in multivariate series. However, the available multivariate trend tests are not suitable for HFA and have various drawbacks: they are component-wise, are define as simple combinations of univariate tests, do not take into account the dependence between the variables, and cannot identify the affected component (e.g. volume, flood peak, or their dependence). Therefore, this study aims to develop appropriate multivariate tests to take account for non-stationarity (NS) while avoiding the limitations of existing tests. A simulation study is carried out in order to evaluate the performances of the proposed tests and to compare them with those of existing ones. Results indicate that the proposed tests outperform the existing ones. The proposed tests are general and can be adapted to a large number of environmental sciences among other fields.

Session # 3: Géologie

Phreatomagmatic fragmentation and tephra deposition from a maar forming eruption, Blue Lake Crater, OR, USA

Sophie Hastings Leiter (INRS-ETE), Pierre-Simon Ross (INRS-ETE)

Blue Lake is a basaltic andesite maar volcano located in the Central Oregon Cascades, USA. It erupted <3 ka making it one of the youngest eruptions in the Cascades (Johnson & Cashman, 2020). The eruption excavated a ~500 by 1000 m crater and produced interlayered lithic-rich phreatomagmatic fallout deposits and surges, as well as magmatic fallout. The tephra sheet extends up to 11 km from the crater in the NNE direction. Here we present detailed stratigraphy for each of the eruptive units including grain size distribution, componentry, and for the juvenile ash, morphometric parameters, crystallinity, and vesicularity collected from 20 tephra pits, based on the standardized method outlined in Comida et al. (2022) and Ross et al. (2022). Additionally, we expanded the existing isopach map, and drew a total thickness isopleth map, as well as isopach and isopleth maps for individual units. Stratigraphy shows the evolution from the initial lithic-rich phreatomagmatic excavation phase to phreatomagmatic base surges intercalated with and overlain by lithic-rich fall deposits. A brief spell of magmatic behavior is then followed by hybrid phreato-strombolian eruptive activity to end the eruption. The componentry and grain size vary over the course of each package of units, representing changes in explosivity and column height. We are compiling a dataset of morphometric parameters, crystallinity, and vesicularity for 30 samples, that will illuminate differences in fragmentation between units, expanding our understanding of the eruption dynamics over the course of the eruption.

The Riviere Noire Intrusive Suite: an unusual mineralisation of rare earth elements in the Lac Saint-Jean region (Grenville Central)

Frederico Pingitore (Université Laval), Bertrand Rottier (Université Laval), Marc Contantin (Université Laval), Abdelali Moukhsil (Minitère de Ressources naturelles du Quebec)

Rare earth elements (REE) have become fundamental raw materials for the development of modern technologies creating an increase of their demand. Alkaline magmatic rocks are important sources of REE, hence understanding the processes leading to their formation and controlling their emplacement are important to provide REE supply for our society. The allochthonous belt of the Western and Central Grenville Province hosts several kilometric scale REE-rich alkaline intrusions that are poorly constrained in terms of their petrogenetic processes, such as the source of the melts, and the processes leading to the REE-enrichment within these alkaline rocks. Most of these REE-rich alkaline intrusions were emplaced during and after the Grenvillian Orogeny (ca. 1090 to 980 Ma). The Riviere Noire intrusive suite (RNIS), focus of this study, is an intrusive alkaline suite that crops out north to Lac Saint Jean (Quebec). The intrusion is constituted by five facies here reported in chronological order based on crosscutting relationship: (1) pyroxenites forming a cumulate of clinopyroxene, K-feldspar, apatite and titanite; (2) Alkalic gabbro dykes; (3) monzonite dykes; (4) monzonite to syenite aplitic dykes; (5) syenite to granite pegmatitic dykes. All the different facies show a strong enrichment in BaO (up to 3.7 wt.%) and no depletion in Nb and Ta. They show a parallel chondrite normalized REE pattern characterized by high LREE and low HREE content. The highest REE content (up to 0.3 wt.%) are recorded in the pyroxenite cumulate and are hosted in allanite, apatite, and titanite. The alkalic gabbro dykes crosscutting the pyroxenite cumulate are also enriched in REE (up to 0.16 wt.%). Dating (U-Pb zircon and titanite + Lu-Hf analyses in zircon), mineral chemistries (EPMA and LA-ICPMS) and oxythermobarometric calculation are currently in progress to constraint the source, the transcrustal evolution, processes leading to the REE-enrichment of the different facies of RNIS.

Development of in situ sulfur isotope analyses of apatite by LA-ICP-QQQ-MS

Luis Krampert (Université Laval), **Bertrand Rottier** (Université Laval), **Crystal Laflamme** (Université Laval), **Guillaume Barré** (Université Laval), **Georges Beaudoin** (Université Laval)

Sulfur is incorporated into the apatite structure and the S isotopic composition ($\delta^{34}\text{S}$) can provide valuable insights into the source of S or fluid exsolution processes involving S. Here, the efficient and cost-effective LA-ICP-QQQ-MS technique is calibrated for in situ analysis of S isotopes in apatite. The triple quadrupole configuration benefits from two sequential quadrupoles operated in tandem, between which a collision/reaction cell filled with oxygen gas is placed. This is done to avoid isobaric interferences and shift the masses of the target isotopes from ^{32}S and ^{34}S to $^{32}\text{S}^{16}\text{O}$ and $^{34}\text{S}^{16}\text{O}$, respectively.

A set of apatite standards with well-defined S isotopic compositions is used to check the reproducibility of S isotope analysis by LA-ICP-QQQ-MS and to optimize the method. The first promising results were obtained using the following measurement parameters: Fluence of 4 J/m², spot size of 80 μm , and frequency of 15 Hz. Data reduction was conducted by normalizing the results with the published $\delta^{34}\text{S}$ values. Subsequently, the instrumental and mass drifts were corrected by bracketing the standards with themselves. The analytical precision is given based on 20 analyses of each standard.

Apatite with low S content (< 1200 ppm) yields less precise results for its $\delta^{34}\text{S}$ composition: MLS with $1.4 \pm 3.6\%$ (160 ppm S), OL-1 with $10.1 \pm 2.0\%$ (841 ppm S), and DLS with $-1.4 \pm 2.5\%$ (1161 ppm S). Analyses on S-rich (> 1200 ppm) apatite returned more precise results: BR96 with $19.0 \pm 1.4\%$ (3484 ppm S), SLAP with $13.4 \pm 1.1\%$ (3484 ppm S), MG with $13.5 \pm 1.4\%$ (4686 ppm S), and Sly-1 with $28.4 \pm 2.2\%$ (4846 ppm S). The initial non-optimized test demonstrates a reproducibility of $\sim 2\%$ (1σ) for S isotope analyses of apatite by LA-ICP-QQQ-MS. However, analyses on apatite with a low S content return results with a lower precision. Future analyses will be directed toward the optimization of the technique.

Styles tectonométamorphiques dans l'arrière-pays de l'orogène de l'Ungava (Nunavik, Québec, Canada) : Résultats préliminaires

Medhi Jouhari (Université Laval), **Carl Guilmette** (Université Laval), **Kyle Larson** (University of British Columbia Okanagan), **Isabelle Therriault** (University of British Columbia Okanagan), **Marc-Antoine Vanier** (Ministère des Ressources naturelles et des Forêts)

L'Orogène Paléoprotérozoïque Trans-Hudsonien (OTH) s'est formé suite à la collision du Craton du Supérieur et de la Province de Churchill, lors de l'assemblage du supercontinent Nuna/Columbia. L'Orogène d'Ungava (OU) est un segment de l'OTH situé dans la partie la plus septentrionale du Québec (Nunavik) et il expose un domaine de ceinture de chevauchement-plies d'avant-pays remarquablement bien préservé. Ce domaine d'avant-pays est lié par une zone de sutures à un arrière-pays peu documenté. L'arrière-pays comprend deux fenêtres de roche du Craton Supérieur (Domaine de Kovik) chevauchées par le Domaine de Narsajuaq d'âge Archéen à Paléoprotérozoïque.

L'éclotite Paléoprotérozoïque rétrogradée dans la fenêtre tectonique ouest du Domaine de Kovik indique un métamorphisme à ultra-haute pression lors du développement de l'OU. Des roches similaires n'ont pas été identifiées dans la fenêtre est qui expose des granulites Archéennes polymétamorphiques surimprimées par un métamorphisme au grade amphibolite durant le Paléoprotérozoïque. Le Domaine de Narsajuaq enregistre un métamorphisme prograde généralisé au faciès granulitique au Paléoprotérozoïque. Cependant, l'absence de données géochronologiques absolues et de détails concernant l'évolution des grades métamorphiques des unités de l'OU entravent la compréhension de l'évolution polymétamorphique et la différenciation du métamorphisme Archéen de celui du Paléoprotérozoïque. Le projet actuel vise à mener une étude détaillée de l'étendue et de la chronologie du métamorphisme dans l'arrière-pays, y compris une enquête sur la surimpression métamorphique Archéenne-Paléoprotérozoïque.

Dans cette communication scientifique, nous discuterons de nos premières conclusions, y compris la découverte de granulites à haute pression Paléoprotérozoïque dans la fenêtre est de Kovik, qui pourraient représenter une unité géologique nouvellement identifiée. De plus, de nouvelles données géochronologiques indiquent que (i) les gabbros coronotiques de Kovik, autrefois considérés comme Paléoprotérozoïques, sont en réalité d'origine Archéenne et (ii) les granulites de moyenne pression et haute température dans le Narsajuaq sont Paléoprotérozoïques et contemporaines de l'orogénèse d'Ungava.

Session # 4: Géophysique & Transfert de Chaleur

Quantification of scale effects in thermal conductivity assessment: Application for geothermal systems in the St. Lawrence Lowlands, Canada, and Eastern Antioquia, Colombia

David Moreno (INRS-ETE), **Jasmin Raymond** (INRS-ETE)

Thermo-physical properties of subsurface materials play an essential role in the exploration and exploitation of geothermal energy. Thermal conductivity is a crucial property that directly influence the length of vertical ground heat exchangers, thereby influencing the technical and economic feasibility of ground-coupled heat pump (GCHP) systems. Methods for assessing subsurface thermal conductivity are spatially limited. This limitation implies that the values might deviate depending on the scale of observation, a phenomenon known as “scale effects”. These effects can be particularly observed in measurements of heterogeneous geological medium, such as layered and fractured materials. Thermal conductivity measured in the laboratory at millimeter or centimeter scales can significantly differ when extrapolated to field scale, potentially leading to inaccuracies in the design and implementation of GCHP systems, which may compromise its technical and financial viability. The objective of this work will be to quantify scale effects associated with the evaluation of thermal conductivity and improve the upscaling of effective thermal conductivity at different field scales. The methodology will be: meter-scale rock samples from the bedrock of the St. Lawrence Lowlands will be collected for thermal conductivity scanning, aiming to evaluate the 2D distribution of thermal conductivity. Simultaneously, a X-ray scanner will be used to determine the 3D distribution of the samples density and porosity, with 3D imaging employed to detect discontinuities within the samples. Once both data sets are compiled, correlations between the 2D thermal conductivity and the 3D density and porosity data will be developed. Efforts will be made to develop 3D thermal conductivity models of samples. Heat transfer simulations, potentially using COMSOL Multiphysics, will be conducted to evaluate the equivalent thermal conductivity at different scales from the laboratory to the field. The final stage of the methodology involves applying the models and findings obtained to improve the bedrock thermal conductivity map of the St. Lawrence Lowlands, develop a bedrock thermal conductivity map in eastern Antioquia, Colombia, and evaluate technoeconomically the GCHP systems in these study zones.

Évaluation multi-échelle des caractéristiques hydrogéologiques et thermiques des milieux poreux pour mieux comprendre le rôle des hétérogénéités en géothermie

Mathieu Des Roches (INRS-ETE), Pierre Francus (INRS-ETE), Christine Rivard (NRCan-QC), Jasmin Raymond (INRS-ETE), Stéphanie Larmagnat (NRCan-QC)

Les besoins en énergie exercent au Québec une pression sans cesse croissante sur le réseau électrique, au point où de nouvelles grandes infrastructures de production sont envisagées par le gouvernement. Les systèmes géothermiques relativement profonds (> 800 m), qui constituent une source d'énergie renouvelable, permettent de produire de la chaleur au moyen d'un fluide pompé. L'utilisation de cette chaleur pour chauffer des bâtiments permettrait de réserver l'électricité à d'autres fins.

L'hétérogénéité de la roche affecte de manière significative la circulation du fluide ainsi que le transfert de chaleur. L'erreur induite lors de l'évaluation des propriétés hydrogéologiques et thermiques se reflète au final sur les prévisions de performance et de la rentabilité des systèmes géothermiques. De nouvelles approches sont donc requises pour intégrer l'hétérogénéité de ces propriétés à différentes échelles afin de réduire l'incertitude sur les prédictions de performances de ces systèmes.

Ce projet vise à produire une représentation volumétrique à l'échelle millimétrique des propriétés réservoirs pour intégrer les hétérogénéités dans des simulations numériques à plus grande échelle d'écoulement de fluide et de transfert de chaleur. Pour y arriver, un protocole sera développé et impliquera entre autres l'acquisition et l'analyse d'images tomographiques de carottes intactes et fracturées. Le passage aux échelles centimétrique puis métrique sera réalisé à partir de l'entraînement de modèles en apprentissage automatique qui servira à prédire la distribution spatiale des propriétés étudiées.

L'étude des hétérogénéités et en particulier des réseaux 3D de pores permettra de mieux comprendre les processus physiques impliqués. En intégrant les effets d'échelles, l'évaluation de l'écoulement des fluides et du transfert de chaleur sera plus représentative et permettra d'améliorer les prédictions de performance des systèmes géothermiques ou de séquestration du CO₂.

Development of a statistical framework and clustering for mine seismic hazard assessment

Mostafa Zarechahouki (Université Laval), **Christian Dupuis** (Université Laval), **Bernard Giroux** (INRS-ETE)

Underground excavations can significantly impact the stress state of the rock mass. This can lead to stress redistribution and potential inelastic deformations, and subsequently can manifest as seismic events. These events may be triggered by mining operations or by the redistribution of stresses amongst the geological structure. When large events occur, they can pose substantial risks to underground operations and jeopardize the safety of underground workers. Seismic events often cluster spatially and temporally around the area where the stress change is concentrated. The identification of these clusters and understanding of the underlying mechanisms can help improve the safety of infrastructures and personnel and minimize production delays. Traditional clustering methods struggle with underground seismic event clustering due to challenges like undefined number of clusters, noise susceptibility, and sampling bias. To overcome these issues, a feature-based algorithm was adapted, automating the optimization of clustering parameters. This approach allows for multiple iterations to identify clusters with varying densities. The S to P-wave energy ratio (EsEp ratio) was incorporated as an additional feature to spatial attributes in the clustering process to provide further means to differentiate overlapping clusters with distinct source mechanisms. The clustering algorithm was validated on synthetic data and applied to a real seismicity dataset from a Canadian mine. After identifying all clusters, we scrutinized them further using magnitude-time history charts. This allowed us to merge clusters from the same source mechanism. Further examination of the EsEp ratio and frequency-magnitude charts provided insights into probable seismic mechanisms. Short-term analysis indicated that post-blast seismic events typically follow a Poisson distribution, but stress redistribution can cause increased seismic activity beyond expectations. Leveraging the clustering algorithm can help locate these events spatially and highlight potential hazards. The application of the methodology improves seismic analysis, integrates into safety systems, enhances hazard assessment, and aids decision-making in mining.

Machine Learning Applications in Geoscience: Revisiting Recent Research and Contributions

Mojtaba Bavand (INRS-ETE), **Mattieu Cedou** (Mira Geoscience Ltd.), **Martin Blouin** (Geostack, Québec), **Erwan Gloaguen** (INRS-ETE), **Shiva Tirdad** (NRCan-QC), **Bernard Giroux** (INRS-ETE)

The increasing prominence of Machine Learning in Earth sciences is attributed to its effectiveness in addressing real-world high-dimensional challenges. This versatile approach has found applications in tackling complex geoscience issues across a spectrum of geophysical and geochemical data, including seismic, electromagnetic, magnetic data, and geochemical compositional data. Tasks such as fault detection, inverse problems, and mineral prospectivity mapping (MPM) benefit from multiple tools of machine learning. This presentation offers a review of our recent research in machine learning applications within geoscience, featuring various case studies and projects. The initial research segment highlights the application of super-resolution methods to enhance the resolution of aeromagnetic maps, with a case study in the Québec province. The next experiment introduces a machine learning workflow tailored for 3D geophysical inverse problems using an adapted encoder-decoder architecture (U-Net). The performance of the trained 3D inversion model is evaluated in the Malartic Mine area, located in the Abitibi subprovince of Québec. Finally, we explore the potential of ensemble machine learning methods for the prediction of gold grade, utilizing geochemical compositional data analysis in Australia.

Affiches

Thématique : Géophysique et Transfert de Chaleur

#1: Geothermal potential of four South Slave region Communities (Northwest Territories, Canada)

Michaël Thibault (INRS-ETE), Miora M. Rajaobelison (INRS-ETE), Jasmin Raymond (INRS-ETE), Félix-Antoine Comeau (INRS-ETE), Viktor Terlaky (Northwest Territories Geological Survey), Juliet Newson (Reykjavik University, Iceland School of Energy)

The South Slave Region (Northwest Territories, Canada) is known to have the highest heat flow (>60 mW/m²) in the Western Canadian Sedimentary Basin. However, its geothermal energy potential is poorly known. This project aims to fill this knowledge gap by focusing on the eastern margin of the basin, specifically near the communities of Fort Providence, Kakisa, Hay River, and Enterprise. The objective of this presentation is to review research efforts to better define the geothermal potential of these remote communities. The sedimentary rock sequence on which the communities lie is relatively thin (500 to 750 m) and has low permeability on average (<10 - 14 mD). The nature, composition, and thermal properties of the Precambrian basement lying under the sedimentary basin are currently unknown. These represent potential limitations for geothermal development of conventional geothermal energy systems that rely on deep aquifers. The first phase of the project was to determine the thermal properties of sedimentary rocks in the region, which resulted in the definition of thermofacies and creation of a thermostratigraphic log for each community. In 2022, 84 samples of 8 different geological formations were collected from 43 wells at the Geological Survey of Canada's (GSC) Core Repository in Calgary. Geochemical analysis and measurement of thermal and hydraulic properties were carried out at the Open Geothermal Laboratory (INRS, Québec City). The second phase was to predict the geothermal gradient and Earth's natural heat flow for each community. Based on the previous thermostratigraphic assessment and available bottom-hole temperature from vintage well logs and drill-stem tests, new 1D temperature models were created to predict the subsurface temperature in the sedimentary sequence below each community. The geothermal gradient is estimated to be over 40 °C/km and the Earth's natural heat flow is up to 100 mW/m². The third phase is to define a range of thermal conductivity expected in the Precambrian basement to predict subsurface temperature below the sedimentary sequence. A rock sampling campaign was conducted in August 2023 in the South Slave Region and at the GSC Core Repository in Calgary. Some sedimentary units unsampled during the first sampling campaign were additionally sampled. This ongoing laboratory assessment will refine and reduce the uncertainty in the distribution of thermal properties along the stratigraphic sequence. The results will serve as the basis for numerical simulations of deep borehole heat exchanger operations for each community. Such a closed-loop system, coupled with heat pumps, could be an interesting heat-producing technology for the South Slave Region where numerical modelling will help to define the thermal output.

#2 : Tassement au dégel du pergélisol riche en glace à Umiujaq, Nunavik

Madeleine St-Cyr (Université Laval), **Richard Fortier** (Université Laval)

La tendance au réchauffement climatique de près de 3 °C observée au Nunavik (Québec), Canada, depuis le début des années 1990 a eu des impacts majeurs sur la dégradation du pergélisol. La principale évidence de cette dégradation est le tassement au dégel du pergélisol. Il s'agit d'un aléa naturel majeur qui affecte les écosystèmes et les infrastructures nordiques. Malgré les impacts de cet aléa naturel sur le développement durable des communautés inuit, il existe très peu d'études sur le suivi annuel des taux de tassement au dégel du pergélisol.

Conséquemment, le principal objectif du projet de recherche est d'étudier les tassements au dégel du pergélisol riche en glace dans la vallée Tasiapik, près de la communauté inuit d'Umiujaq, au Nunavik.

Afin d'étudier à la fois les variations spatiales et temporelles des tassements au dégel, des méthodes de nivellement et de télédétection sont utilisées. Des marqueurs distribués dans la vallée ont été nivelés annuellement entre 2004 et 2023 à l'aide de diverses méthodes comme le niveau optique, la station totale ou encore le GPS différentiel (DGPS-Differential Global Positioning System). La méthode de télédétection LiDAR (Light Detection and Ranging) a également été utilisée à partir de l'été 2011 afin d'augmenter la résolution spatiale des données de tassements au dégel mesurées. À l'aide des nuages de points LiDAR, des modèles numériques de terrain et de surface, ainsi qu'une carte des tassements au dégel dans la vallée ont pu être créés, mettant en valeur des tassements d'ordre métrique au cours des 20 dernières années. En s'intéressant aux tassements, mais également aux températures de l'air et du sol, et à l'épaississement du mollisol, on espère mieux comprendre la dynamique de dégradation du pergélisol et la relation de cause à effet entre le climat et les tassements au dégel. Ces connaissances pourront servir au développement et à l'entretien des infrastructures nordiques construites sur le pergélisol et sont essentielles au développement durable des communautés inuit du Nunavik.

#3 : Beyond the Surface: Insights from Borehole Petrophysical Data for Orogenic Gold Deposits

Yasaman Nemati (Université Laval), Christian J. Dupuis (Université Laval), Bernard Giroux (INRS-ETE), Richard Smith (Laurentian University), Rita Rodrigues (Université Laval), Bertrand Rottier (Université Laval)

Orogenic gold deposits have historically contributed more than 75% of the world's gold production. Orogenic gold deposits are characterized by quartz-carbonate veins, where gold enrichment is often associated with sulfides either in the veins or disseminated in the host rocks. The texture of the rock matrix is affected by the presence of the abundance of quartz-carbonate veins and sulfides. This leads to significant changes in electrical resistivity, chargeability, and elastic properties. To explore these changes, this study focuses on the Rouyn Property, an orogenic gold deposit situated within the Abitibi sub-province, 7 km south of Rouyn-Noranda. Borehole geophysical data were collected from seven wells. These logs include spectral gamma ray (SGR), magnetic susceptibility (MS), electrical resistivity (N), spontaneous potential (SP), full waveform sonic (FWS), induced polarization (IP), optical televiewer (OTV), and Caliper data.

The Piché Group, mostly formed of carbonated schists, is the main host for gold mineralisation. The Piché Group was identified from the lithological log and the SGR along with the MS logs. OTV data and core images were used to assess the abundance of veins. We observed a significant correlation between electrical resistivity and abundance of veins. We also observed that the altered zones saw increases in P- and S-wave velocities. These zones also exhibit IP and SP variations that suggest that sulfides were heterogeneously distributed in the alteration zones.

These results have allowed us to characterize hydrothermally altered parts of the Piché Group. We developed an alteration index that is based on the multi-electrode resistivity measurement. We will present this index and the conceptual model that describes the effects of hydrothermal alteration in the Piché Group.

This work shows how the use of physical properties can significantly enhance the understanding of the spatial distribution of quartz-carbonate veins. This could lead to more efficient exploration in orogenic gold deposits. This study was funded by Metal Earth, and the publication number is MERC-ME-2024-10.

Thématique : Géologie

#4 : Neoproterozoic crustal architecture of the northern Pontiac Subprovince (Superior Craton, Canada): New insights from phase equilibria modelling and multi-method petrochronology

Isaac Siles Malta (Université Laval), Carl Guilmette (Université Laval), Antoine Godet (Geological Survey of Canada), Douglas Tinkham (Laurentian University), Matthijs Smit (University of British Columbia), Bruna Coldebella (Université Laval), Crystal LaFlamme (Université Laval), Georges Beaudoin (Université Laval)

Metamorphic rocks record transient first-order parameters (P, T, and thermal gradients - TG) that are critical to identifying changes in the thermal state of orogenic belts through time. The Neoproterozoic Era is of particular interest as multiple studies suggest it is the time of initiation of modern-day plate tectonics. The Pontiac Subprovince (PS) in the SE Superior craton is a Neoproterozoic metasedimentary belt with a complex tectonic evolution that is highly debated. In its northern part, prograde metamorphism is recorded in turbidites by the succession of index minerals - biotite, garnet, staurolite, kyanite, and sillimanite. Mapping of metamorphic zones, phase equilibria modelling, and Lu-Hf garnet and U-Pb monazite/zircon geochronology from multiple zones are integrated to decipher the evolution of the northern PS. Garnet zone-rocks experienced a clockwise path with peak P-T conditions at 8.1 kbar/585 °C along low-TG of ~20 °C/km. In contrast, staurolite and sillimanite/melt zone-rocks followed isobaric heating and isothermal decompression paths with peak P-T conditions of 5.8 kbar/600 °C and 5.9 kbar/710 °C, respectively, along moderate-TG of ~33 °C/km. Subsolidus monazite and garnet growth at 2667 Ma and 2657 Ma record the timing of prograde metamorphism. Suprasolidus zircon overgrowths in the sillimanite/melt zone at 2647 Ma record the timing of high-T cooling. These results indicate a short-lived residence for these rocks at mid-crustal conditions and the coeval development of diverse P-T-t paths along two contrasting thermal gradients. Our data cannot be interpreted in the framework of tectonic models (exotic terrane, accretionary prism, and plume-related rift basin) previously proposed for the PS. Our data is more compatible with a sagduction process, where previous numerical modelling indicates high heat influx into the shallow crust caused by pooling voluminous magmas produces a crustal overturn, allowing the development of diverse P-T-t paths, fast burial and exhumation rates, and contrasting thermal gradients.

#5 : Links between volcanogenic massive sulfide endowment and volcanic rock geochemistry: comparing two assemblages from the Archean Abitibi greenstone belt

Octavio Vite-Sánchez (INRS-ETE), Pierre-Simon Ross (INRS-ETE), Patrick Mercier-Langevin (GSC-CGC)

Volcanogenic massive sulfide (VMS) deposits display stratigraphic and structural controls at the district scale. Notably, within the Abitibi greenstone belt, assemblages exhibit distinct endowments; the Stoughton-Roquemaure (S-R) assemblage contributes <1% of VMS tonnage, while the less voluminous Blake River (BR) assemblage hosts nearly half.

Analyzing a dataset of 4541 volcanic mafic to felsic samples from these assemblages, Principal Component Analysis identifies Th, Ti, and Yb as key elements. Subsequently, a Th/Yb versus Zr/Ti diagram, reveals twelve geochemical clusters with the help of clustering machine learning techniques. Two major groups, tholeiitic basalts and high-Th basalts, constitute 46% of the dataset.

In the Phanerozoic, tholeiitic basalts ($\text{Th/Yb} < 0.2$, flat REE) are linked to extensional geodynamic contexts, while high-Th basalts ($\text{Th/Yb} > 0.5$, LREE enrichments) associated with continental/island arc environments are unexpectedly intercalated in the Abitibi (Archean), challenging modern tectonic norms.

Utilizing the Magma Chamber Simulator, we model most of the geochemical groups using a parental tholeiitic mafic composition, exploring fractional crystallization (FC), assimilation-fractional crystallization (AFC), and magma mixing processes. Our work examine the possibility that a mafic parental tholeiitic composition might yield rocks with moderate to high Th/Yb ratios (> 0.2) and LREE enrichments through assimilation or mixing with a TTG-like composition.

Geological formations hosting VMS deposits predominantly feature mafic to intermediate compositions with moderate to high Th/Yb ratios, although not all with these characteristics are fertile. Felsic compositions in BR and S-R primarily consist of volcanic rocks with moderate to high Th/Yb ratios (> 0.2 -10). However, groups closely associated with VMS activity, featuring moderate Th/Yb ratios (0.2-1), are more prevalent in the well-endowed BR. The presented petrogenetic models enhance our understanding of Archean greenstone belt petrogenesis, with ongoing research aimed at unraveling controls on VMS fertility.

#6 : Caractérisation de l'évolution du magmatisme Paléoproterozoïque du domaine Sud, ceinture de Cape Smith, Nunavik, Québec

Simon Tournier (Université Laval), Cristina Accotto (Université Laval), Crystal LaFlamme (Université Laval), Carl Guilmette (Université Laval), Marc-Antoine Vanier (Direction de l'Acquisition des Connaissances Géoscientifiques (DACG), MRNF); Guillaume Mathieu (Direction de l'Acquisition des Connaissances Géoscientifiques (DACG), MRNF)

Le domaine Sud de la ceinture de Cape Smith (Nunavik, Québec) est un bassin volcanosédimentaire d'âge Paléoproterozoïque. Le domaine Sud est composé du groupe de Povungnituk et du groupe de Chukotat. Le groupe de Povungnituk se serait formé en lien avec un rift entre 2040 Ma et 1950 Ma, ou en lien avec un panache mantellique. Il est composé de roches volcaniques et sédimentaires. Le groupe de Chukotat, s'est mis en place en lien avec un panache mantellique actif il y a 1882 Ma. Il est constitué de roches mafiques et ultramafiques.

Cette étude se concentre sur des observations lithologiques sur le terrain ainsi que sur la pétrographie et la composition chimique des unités volcaniques du domaine Sud afin de mieux comprendre la source et l'évolution de son magmatisme. Afin de répondre aux différentes interrogations, nous avons effectué deux campagnes de terrain lors des étés 2022 et 2023. Les échantillons récoltés sont utilisés dans le cadre d'une étude pétrographique et géochimique afin de caractériser l'évolution du magmatisme du domaine sud.

La formation de Beuparlant (unité volcanique du groupe de Povungnituk) est caractérisée par un magmatisme basaltique tholéiitique métamorphisé au faciès schistes vert. Les analyses géochimiques de cette unité (REE, Ti, Nb, Yb) indiquent une origine de type E-MORB à P-MORB. Le groupe de Chukotat est caractérisée par un magmatisme basaltique komatiitique à komatiitique, affecté par un métamorphisme du faciès schiste vert. Ici, les analyses géochimiques indiquent plutôt une origine de type N-MORB à P-MORB.

Ces résultats préliminaires, notamment la géochimie des unités étudiées, indiquent que le groupe de Povungnituk se serait plutôt mis en place lors d'une ouverture océanique en lien avec un rift. Le groupe de Chukotat serait issu d'un panache mantellique, ce qui est cohérent avec les connaissances actuelles du domaine Sud.

#7 : Les roches de la Réserve Faunique La Vérendrye : une fenêtre sous la carapace du Craton du Supérieur

Jérémy Darveau (Université Laval), **Carl Guilmette** (Université Laval), **Antoine Godet** (Commission géologique du Canada - Direction du Québec ; Université Laval), **Marine Jouvent** (Université Laval), **Myriam Côté-Roberge** (ministère des Ressources Naturelles et des Forêts)

Formé au cœur du Bouclier canadien il y a plus de 2,5 milliards d'années, le Craton du Supérieur représente la plus grande étendue de roches anciennes sur Terre. Son sous-bassement rocheux très recristallisé a enregistré les conditions de pression-température présentes lors de sa formation, caractéristiques du style tectonique à l'époque. Ainsi, l'étude des roches présentes sous la carapace du Craton du Supérieur permet de mieux comprendre le mode de formation des premiers continents, qui demeure un sujet de forte controverse en géologie.

Cependant, l'exposition à la surface du sous-bassement recristallisé du Craton du Supérieur demeure rare et souvent restreinte aux accidents tectoniques plus récents ayant pu le faire remonter à la surface. À cet effet, dans la Réserve Faunique La Vérendrye, la zone de transition avec la chaîne de montagnes des Laurentides, formée il y a 1 milliard d'années, représente une potentielle exposition du sous-bassement recristallisé du Craton du Supérieur transporté à la surface par la formation des Laurentides.

L'exposition de ces roches dans la Réserve Faunique La Vérendrye permet de tester cette hypothèse. À l'été 2023, la géologie des rivages du Grand Lac Victoria et du Réservoir Dozois a été cartographiée par bateau et 48 échantillons de roche ont été récoltés à des fins d'analyses chimiques et d'observation au microscope.

Les roches recristallisées riches en minéraux ferromagnésiens échantillonnées se distinguent chimiquement en deux groupes. Le premier groupe est peu déformé et a enregistré une faible recristallisation associée à la formation des Laurentides. Le deuxième groupe est très déformé et a enregistré une intense recristallisation lors de la formation du Craton du Supérieur. En somme, même si les roches de la Réserve Faunique La Vérendrye ont été remaniées lors de la formation des Laurentides, les roches du deuxième groupe représentent une fenêtre sous la carapace du Craton du Supérieur.

#8 : Two temporally distinct events of pegmatite formation at the Lac Jacques pegmatite swarm in central Grenville Province (Lac-Saint-Jean region, Québec)

Pedro Alves (Université Laval), Bertrand Rottier (Université Laval), Crystal LaFlamme (Université Laval), Abdelali Moukhsil (MRNF)

Numerous LREE-rich granitic pegmatites are hosted in the allochthonous Medium-Pressure Belt (aMP Belt) of the central Grenville Orogen. Previous dating (U-Pb zircon) of nine pegmatites hosted in the aMP Belt reveals two periods of LREE-rich pegmatite formation at 1060-1040 and 1015-990 Ma. The Lac Jacques pegmatite swarm, located in Lac-Saint-Jean region (Québec), is a typical example of LREE-rich pegmatites. It consists of >100 undeformed granitic dykes intruding a deformed/migmatized metagabbro. Two main suites of pegmatites are recognized: syenogranitic and pink granitic dykes. Both are weakly peraluminous, but only the pink pegmatites are enriched in LREE, Nb, and Th, hosted by allanite, monazite, and pyrochlore. The leucosomes occur in situ along the foliation of the metagabbro and as mobilized melts crosscutting it. LA-ICP-MS U-Pb dating of zircon was conducted on the metagabbro, the mobilized melt, and on the two pegmatite types. The metagabbro has two chemically and texturally distinct zircon populations. One population yields a date of 1098 ± 24 Ma, interpreted as the age of peak metamorphism, whereas a second population yields a date of 1022 ± 2 Ma, interpreted as a younger thermal event. The mobilized melt yields a date of 1051 ± 7 Ma, which is coeval with a syenogranitic pegmatite that yields a crystallization age at 1048 ± 4 Ma. Two pink pegmatites yield crystallization ages at 1010 ± 7 and 1006 ± 2 Ma. Based on previous studies, pegmatites in the Grenville Province are interpreted to be sourced from anatectic melts. The obtained ages suggest that two crustal partial melting events associated with pegmatite formation may be recorded in the Lac Jacques swarm, at ~ 1050 and ~ 1010 Ma, which is coherent with regional data. These ages are significantly younger than the peak metamorphic age recorded by the metagabbro, suggesting that the central Grenville Orogen might have been affected by several distinct events of partial melting after peak metamorphism.

#9 : Evaluation du risque des crues par copule dans le bassin versant Côtier Algérois, nord Algérie (cas non stationnaire)

Amira Fredj (INRS-ETE)

Les risques causés par les événements hydrologiques extrêmes ont eu de graves répercussions sur la vie socioéconomique et le fonctionnement des milieux naturels dans le monde entier. Pour évaluer ces risques, on fait appel à l'analyse fréquentielle. Cette dernière peut évoluer de l'approche univariée, qui se concentre sur l'examen d'une seule variable, vers l'approche multivariée qui prend en compte plusieurs variables simultanément.

Dans l'analyse fréquentielle multivariée, il est commun de considérer le plus souvent que les séries de données sont stationnaires, qui n'ai pas le cas avec les données de la station hydrométrique de notre cas d'étude (volume et débit de pointe). De ce fait, cette étude se consacre sur une analyse fréquentielle multivariée le cas non stationnaire des crues du bassin versant « côtier Algérois est » de la région nord d'Algérie de la station d'azze foune.

L'évaluation des crues est estimée à l'aide de trois étapes. La 1ère étape préliminaire consiste à effectuer des tests de tendances (stationnarité) sur les données caractérisant la crue. L'étape suivante se concentre sur la création d'un modèle de copule non stationnaire pour analyser la variation temporelle de la distribution conjointe bivariée. Sur la base des résultats précédentes, des quantiles multivariés de volume et débits de pointes non stationnaire de périodes de retour différentes seront obtenus à l'aide de l'approche « most likely design ».

#10 : *Mining-induced microseismicity detection using a deep convolutional neural network*

Sepideh Vafaei (INRS-ETE), Bernard Giroux (INRS-ETE), Erwan Gloaguen (INRS-ETE)

Mining-induced microseismicity is a hazard to deep and high stress mining operations and can pose significant risks to the safety of the personnel. Seismic events result from a combination of local stress and geological conditions and can be driven by a variety of failure mechanisms. Therefore, monitoring such events in mining operations is beneficial to establish a microseismic early warning system to help in the optimization of day-to-day issues such as strata control and forecasting failure events such as rockbursts and outbursts. To ensure the effectiveness of this monitoring process, it's essential to compile a thorough inventory of microseismic occurrences, ranging from low to high magnitude events, to evaluate the rockmass reactions to mining activities. Yet, identifying low-magnitude events in mining areas proved to be difficult due to the prevalent background noise. Recent progress in deep learning, especially Convolutional Neural Networks (CNNs) trained on vast seismic datasets, has demonstrated enhanced abilities in automatically detecting events and accurately determining arrival times using seismic data from regional networks. Here, PhaseNet is employed as a deep learning arrival-time picking method based on U-Net, to detect the P and S wave arrivals of microseismic events. It uses unfiltered three-component seismic waveforms as input and generates probability distributions of P and S arrivals and noise as output. The performance of the algorithm is tested using synthetic microseismograms simulated using finite-difference time-domain elastic modeling, with various levels of added noise. The results indicate that PhaseNet is effective in handling noisy waveforms, enabling the detection of low-magnitude events that may be less detectable via other conventional methods, and it achieves high picking accuracy and recall rates. The trained model on synthetic microseismograms is precise enough for both P and S wave arrival-time picking with acceptable accuracy, enabling improved locations of the microseismic events in the proposed mine.

Thématique : Environnement

#11 : *Nouveaux biosurfactants glycolipidiques à partir des résidus alimentaires*

Nihed Tellili (INRS-ETE), Tarek Rouissi (INRS-ETE), Slim Cherif (ENIS-Tunisie), Ines Mnif (ENIS-Tunisie)

Notre étude propose une alternative innovante pour la valorisation de l'huile de friture pour la production de nouveaux biosurfactants glycolipidiques. Cette approche s'inscrit dans une démarche de développement durable, offrant une solution écoresponsable pour la gestion des déchets alimentaires tout en générant un produit utile pour applications industrielles étendues.

Notre méthode utilise une souche bactérienne isolée d'une eau de mer contaminée. L'isolement a été effectué via une méthode d'enrichissement, suivi par une évaluation de la production de biosurfactant sur milieux solide et liquide. Un plan d'expérience a été élaboré pour formuler un milieu économique, composé de 0,2% d'extrait de levure, 0,15% K₂HPO₄, 0,05% MgSO₄, et 1% d'huile de friture, enrichi de 0,001% de solution d'oligoéléments. Les conditions de culture optimales ont été identifiées à 37°C avec une aération de 30% et une agitation de 150 tr/min pendant 48 heures. La caractérisation du biosurfactant a révélé une réduction de la tension superficielle à 26.6 mN/m, une concentration micellaire critique (CMC) de 500 mg/L, et une capacité de dispersion de l'huile de moteur d'environ 90 mm à 500 mg/L.

Ces résultats suggèrent un potentiel d'application significatif dans divers secteurs, alignant notre recherche avec les principes de durabilité et d'innovation environnementale.

#12 : Le dimensionnement, l'installation et l'entretien des ouvrages phytotechnologiques pour améliorer la performance environnementale des bâtiments : le cas du Carrefour de l'eau

Maha Boushabi (INRS-ETE), Louise Hénault-Ethier (INRS-ETE), Sophie Duchesne (INRS-ETE)

L'étude propose une gestion durable de l'eau du bâtiment du Carrefour de l'eau en utilisant des infrastructures grises et des phytotechnologies dans le but de favoriser l'infiltration des eaux dans le sol et de ralentir l'acheminement des précipitations vers les réseaux d'égouts : cela va permettre d'éviter les débits de pointe, de limiter les surverses, de limiter le besoin de surdimensionner les conduites pluviales, etc. S'il existe plusieurs données de recherche et de résultats concrets en contexte d'application sur les différentes phytotechnologies ou technologies grises visant à gérer l'eau en économie circulaire ou à réduire les effets néfastes du ruissellement de surface, il existe peu de données sur l'intégration de différentes technologies dans un lieu unique. Le projet de recherche proposé innove en tentant de dimensionner et quantifier les retombées liées à la co-intégration de plusieurs technologies de gestion de l'eau, misant sur des technologies conventionnelles (infrastructures grises, comme les réservoirs) ou fondées sur la nature (murs végétalisés, toitures végétalisées, biorétentions). Ce projet aidera à développer des critères de design et d'entretien pour des bâtiments adaptés aux changements climatiques, et instruira le développement de nouvelles normes Net Zéro Eau, visant à maximiser la gestion circulaire de l'eau pour réduire la consommation d'eau potable, maximiser la réutilisation et le recyclage local, minimiser le ruissellement de surface et les effluents vers les égouts tout en maximisant l'infiltration pour recharger la nappe phréatique.

#13 : Évaluation spatiale du risque de contamination de l'eau potable en période d'inondation dans la région de Stoneham-et-Tewkesbury au Québec.

Yachar Ben Arous (INRS-ETE), Geneviève Bordeleau (INRS-ETE), Charis Wong (INRS-ETE)

La province de Québec a connu plusieurs inondations majeures en 2017, 2019 et 2023. Ces inondations ont causé d'importants dégâts et contraint les gens à quitter leurs foyers. Elles peuvent également avoir des effets négatifs sur la santé, surtout si certaines conditions sont réunies: 1) la proximité de puits d'eau potable de propriétaires avec une rivière ; 2) la présence de contaminants dans l'eau de la rivière ; et/ou 3) la présence de contaminants sur des terrains habituellement secs, mais susceptibles d'être inondés, où ces contaminants peuvent se mélanger à l'eau de surface en cas d'immersion. Ainsi, pendant les inondations, l'eau de surface potentiellement contaminée peut infiltrer les puits d'eau potable, soit directement par infiltration en surface, soit indirectement par l'inversion du sens d'écoulement des eaux. Plusieurs facteurs, liés à la fois à la nature et à l'activité humaine, peuvent augmenter localement le risque que l'eau soit contaminée et que les gens consomment cette eau sans la traiter correctement. Cette étude vise à évaluer le risque de contamination de l'eau des puits privés dans un petit bassin versant (rivière Hurons, Stoneham-et-Tewkesbury, QC). Sur 15 campagnes, des échantillons ont été collectés et analysés pour divers paramètres géochimiques, isotopiques et contaminants spécifiques. Bien que la qualité chimique de l'eau des puits soit généralement bonne, les paramètres microbiologiques (coliformes totaux et E. coli) ont souvent dépassé les seuils acceptables. Une analyse spatio-temporelle est en cours pour identifier: 1) les facteurs (construction des puits, lithologie, etc.) accroissant le risque de contamination ; 2) la durée de la contamination post-inondation ; et 3) l'étendue latérale de la contamination loin de la rivière. Les résultats permettront de formuler des recommandations visant à renforcer la protection des communautés et la résilience en optimisant la gestion des approvisionnements en eau potable exposés aux inondations.

#14 : Quel est l'impact d'un mélange de pesticides sur l'axe thyroïdien du mené à grosse tête (Pimephales promelas) pendant son développement ?

Laura Del Franco (Institut Universitaire Européen de la Mer/INRS-ETE); Verônica A. Alves (INRS-ETE), Diana C. Castañeda-Cortés (INRS-ETE), Julie Robitaille (MELCCFP), Michael G. Wade (Santé Canada), Valérie S. Langlois (INRS-ETE)

Les pesticides, indispensables à l'agriculture industrielle, provoquent néanmoins une pollution environnementale. Les études, focalisées sur leurs effets individuels, négligent souvent les impacts cumulatifs des mélanges de pesticide, sous-estimant les risques écologiques associés. De plus, certains pesticides sont identifiés comme perturbateurs endocriniens, ayant la capacité de perturber les fonctions de l'axe HPT (hypothalamo-hypophysio-thyroïdien). Il est largement reconnu que les hormones thyroïdiennes (TH) jouent un rôle essentiel dans la transition embryon-larve des poissons, en régulant des processus critiques tels que le gonflement de la vessie natatoire, l'ouverture de la bouche et la résorption du sac vitellin. L'objectif de cette étude vise à examiner les impacts d'un mélange de pesticides sur l'axe HPT du mené à grosse tête (*Pimephales promelas*). Le mélange utilisé est représentatif des pesticides présents dans les cours d'eau adjacents aux cultures de maïs et de soya au Québec. Diverses concentrations, comprenant la concentration environnementale à 10X, 2X, 1X, 0,75X et 0,5X seront testées pour comparer leurs impacts respectifs. L'exposition englobera la plage temporelle où les niveaux d'hormones thyroïdiennes atteignent leur apogée, soit du 2e jour post-fécondation (jpf) au 16 jpf. Cette fenêtre d'exposition englobe des étapes critiques du développement, incluant le 6 jpf (éclosion) et le 16 jpf (achèvement de la formation de la vessie natatoire). L'examen de la morphologie des poissons, de leur rythme cardiaque, ainsi que l'observation visuelle de leur vessie natatoire seront réalisés à 6 jpf et 16 jpf. Des analyses de l'expression des gènes impliqués dans l'axe HPT, ainsi que des analyses histologiques de la vessie natatoire et des follicules thyroïdiens seront réalisées à 16 jpf. Ces résultats permettront d'évaluer les effets cumulatifs d'un mélange de pesticides fréquemment détecté dans l'environnement québécois sur l'axe HPT de *P. promelas*.

#15 : Caractérisation de la glace de mer à l'aide d'images radar à synthèse d'ouverture multifréquence en prévision des déplacements sur la glace

Sofía Salvó Constanza (INRS-ETE), Saeid Humayouni (INRS-ETE), Monique Bernier (INRS-ETE), Bell Trevor (SmartICE), Randall Scharien (University of Victoria)

Les communautés du Nord utilisant la glace de mer comme une plateforme essentielle pour la récolte alimentaire, la chasse, la pêche, le transport des biens et les déplacements. Dans le contexte du changement climatique, les environnements polaires engendrent des conditions imprévisibles, sans précédent et périlleuses pour les déplacements sur la glace de mer. Même les sentiers traditionnels communautaires, sur lesquels on comptait depuis des décennies, présentent désormais des risques lors de la conduite de motoneiges ou de traîneaux avec des ruptures à travers la glace mince et des zones marécageuses de slush. Les radars à synthèse d'ouverture (SAR, par ses initiales en anglais) se révèlent être d'excellents outils pour surveiller les régions polaires, acquérant des informations de surface indépendamment de la couverture nuageuse ou de l'absence d'éclairage. Bien que les SAR aient fait l'objet d'études approfondies pour la glace de mer, ces études ont principalement adopté une perspective maritime. En particulier, la caractérisation de la slush saline, ou 'masa' pour les Inuits, n'avait pas été étudiée comme une variable pertinente pour la sécurité des déplacements des communautés auparavant. Cette recherche vise à caractériser la banquise côtière au Nunavut et au Nunavik en termes de praticabilité sur la glace au moyen des SAR. Pour atteindre cet objectif, les capacités de la rétrodiffusion SAR et des paramètres polarimétriques de ces capteurs pour la détection de la slush saline et de la neige humide sont étudiées. Cela implique l'examen de leur relation avec différentes propriétés de la neige et de la glace de mer, l'identification des mécanismes de diffusion impliqués, ainsi que leur dominance et leur signification physique.