La **Journée**
des **Sciences** de la **Terre**
et de l'**Environnement**

Programation
Édition 2016

Mot de bienvenue

L'Institut National de la Recherche Scientifique (INRS) est fier d'être l'hôte d'une autre édition annuelle de la Journée des Sciences de la Terre et de l'Environnement (JSTE). Cette rencontre est l'occasion de découvrir les travaux et thèmes de recherches, ainsi que de faire connaissance avec les membres de la communauté scientifique de Québec et, pour la première fois, de Chicoutimi. Ce congrès se veut rassembleur et c'est pourquoi il laissera place aux débats d'idées et sera l'occasion pour nous tous, en soif de savoir et de partage scientifique, de venir découvrir les thématiques de recherche, innovations et découvertes. Nous sommes également très heureux d'avoir la chance d'accueillir les collègues de l'industrie qui offre l'opportunité d'échanger et de créer des liens avec la communauté.

Membres du comité
Clémence Jouveau DuBreuil
Aurélie Gicquel
François Clayer
Vincent Dubé-Bourgeois
François Lapointe
Arnaud Fontaine

Présentations orales

Session Géochimie environnementale
Président : John Molson

Évaluation de la dynamique des eaux souterraines à l'aide de traceurs hydrogéochimiques dans un environnement pergélisolé en voie de dégradation au Québec nordique.

Marion Cochand[a,b], John Molson[a,b], Jean-Michel Lemieux[a,b], Johannes A.C. Barth[c] , Robert van Geldern[c] , Richard Fortier[a,b] & René Therrien[a,b]

[a] Centre d'études nordiques, Université Laval, Québec, QC, Canada

[b] Département de géologie et génie géologique, Université Laval, Québec, QC, Canada

[c] Geozentrum, Friedrich-Alexander-Universität, Erlangen-Nürnberg, Allemagne

Le réchauffement climatique entraîne la dégradation du pergélisol dont l'influence sur les eaux souterraines est encore largement méconnue. Il est cependant probable que la recharge et les écoulements d'eau souterraine soient favorisés par la disparition de la couche confinante que constitue le pergélisol.
Une étude détaillée sur la dynamique des eaux souterraines en zone de pergélisol discontinu est actuellement en cours dans un bassin versant de 2 km^2 situé près de la communauté Inuite d'Umiujaq, Nunavik. Elle est basée sur un réseau de puits d'observation des eaux souterraines dont le propriétaire est le Ministère du Développement Durable, de l'Environnement, et de la Lutte contre les Changements Climatiques du Québec (MDDELCC). L'objectif principal de cette étude est d'évaluer la disponibilité de la ressource en eau souterraine pour alimenter en eau potable les communautés.
L'origine de l'eau souterraine, son évolution, la dynamique des écoulements ainsi que son temps de résidence dans le sous-sol sont étudiés à l'aide de divers traceurs hydrogéochimiques tels que les ions majeurs, les isotopes stables de l'eau ($\delta^{18}O_{H2O}$ et $\delta^{2}H_{H2O}$), les différentes phases du carbone (DIC, DOC et POC) et leurs signatures en isotopes stables ($\delta^{13}C$) ainsi que des traceurs radioactifs ($^{3}H/^{3}He$ et ^{14}C). La composition des eaux souterraines est principalement du type Ca-HCO_3, typique pour des eaux jeunes, peu évoluées. De plus, la faible minéralisation des échantillons suggère un faible taux d'altération de la matrice par les eaux souterraines. Finalement, les résultats préliminaires d'analyses des isotopes de l'eau ($\delta^{18}O_{H2O}$ et $\delta^{2}H_{H2O}$) sur des lentilles de glace du pergélisol montrent que les cinq premiers mètres du pergélisol ont une signature isotopique proche de celle des précipitations modernes.

Mots-clés : Hydrogéochimie, hydrogéologie, pergélisol, changements climatiques, Nunavik.

Géochimie environnementale du Ga

Antony Laberge[a], Charles Gobeil[a], André Tessier[a].

[a]Institut National de la recherche scientifique, Centre Eau Terre Environnement

Le Ga est un élément trace dont l'utilisation n'a cessé de croître ces dernières années dans plusieurs secteurs de haute technologie. Un risque de contamination environnementale en découle, notamment en raison de l'incinération des déchets et du recyclage de matériels technologiques. Les raffineries de pétrole et les fonderies où sont produits les métaux de base pourraient aussi constituer des sources de Ga anthropique importantes. Jusqu'à ce jour, la présence et l'évolution chronologique de la retombée atmosphérique du Ga d'origine anthropique de même que la géochimie lacustre de cet élément trace sont cependant très peu documentées. (European Commission, 2014) (Zepf, 2014) (Lovik, 2015)

Dans le cadre de ce projet de recherche de maîtrise, nous proposons de déterminer par modélisation diagénétique les taux nets des réactions faisant intervenir le Ga dans les sédiments de lacs situés à proximité de sources potentielles de contamination (fonderie, incinérateur), de quantifier sa redistribution post-dépôt dans la colonne de sédiment et de reconstituer la chronologie de son dépôt à l'interface eau-sédiment. Pour ce faire, les profils du Ga seront déterminés dans les eaux interstitielles et serviront d'indicateurs sensibles des réactions l'impliquant dans les sédiments. Les profils de Ga dans des carottes de sédiments datés seront également déterminés dans plusieurs lacs.

Dans cette présentation, des résultats sur la distribution du Ga dans la phase solide et les eaux interstitielles des sédiments de lacs de l'Abitibi, de la région de la ville de Québec, du Bas-St-Laurent et de la Gaspésie seront présentés et discutés.

Mots clés : Gallium, géochimie, diagénèse, contamination, chronologie

Références

Zepf V., Reller A., Rennie C., Ashfield M. & Simmons J., BP (**2014**): *Materials critical to the energy industry*. *An introduction. 2nd edition*

Retracer les changements climatiques dans l'Arctique à la lumière des sédiments annuellement laminés

François Lapointe[a,b], Pierre Francus[a,b], Arnaud DeConink[a,b], Jean-Philippe Jenny[a,b], Pierre Masselot[a]

[a]Institut National de la recherche scientifique, Centre Eau Terre Environnement

[b]Geotop, Centre de recherche en géochimie et géodynamique, Montréal

Le réchauffement en Arctique a été de 2 à 3 fois plus important que n'importe où dans le monde. Il est primordial de mieux comprendre les variations naturelles et anthropiques du climat afin de mieux prévoir le futur. Cependant, les données météorologiques ne sont mesurées en Arctique que depuis ~50 ans, limitant notre compréhension du système climatique de cette région.

Grâce aux sédiments annuellement laminés (varves), il est possible de retracer les changements environnementaux depuis plusieurs décennies, voire des millénaires. Le lac South Sawtooth, localisé sur l'île d'Ellesmere dans l'Arctique canadien, contient un enregistrement varvé de 2900 ans. À l'aide de 96 lames minces recouvrant les premiers 4,8 m de la séquence composite, nous avons récolté des données annuelles de la granulométrie à l'aide d'images acquises au microscope électronique à balayage et avons établi une chronologie basée sur ces mêmes images. La densité annuelle du sédiment a également été estimée grâce aux images hautes-résolutions de tomodensitométrie (CT-Scan).

Les résultats basés sur l'analyse spectrale révèlent plusieurs périodicités (>95% intervalle de confiance) à 209, 81, 77, 43, 30 et 24. Ces cycles sont similaires aux cycle solaire de DeVries (~208 ans), à l'Oscillation Multidécennale de l'Atlantique (entre 80 et 40 ans) ainsi qu'à l'Oscillation Nord-Atlantique (entre 30 et 22 ans). Une forte corrélation a été établi entre les mesures de densité et les données de l'Oscillation multidécennale de l'Atlantique (AMO ; périodicité de 40-80 ans). La comparaison entre les données instrumentales de l'AMO et du couvert neigeux montre également une forte corrélation négative sur la région, ce qui corrobore à notre enregistrement. Des analyses d'ondelettes sur nos données soulignent une cyclicité persistante entre 40-80 ans depuis les derniers 2900 ans, suggérant que l'AMO a influencé le climat d'Ellesmere depuis ~ 3 millénaires.

Mots clés : Arctique, changements climatiques, Oscillation Multidécennale de l'Atlantique

Bilan hydrologique d'un bassin versant dans la région d'Umiujaq au Québec nordique

Renaud Murray[a,b], Jean-Michel Lemieux[a,b], René Therrien [a,b], Richard Fortier [a,b], John Molson [a,b], Marie Catherine Talbot-Poulin [a,b]

[a] Département de géologie et de génie géologique, Université Laval, Québec, Québec G1V 0A6 [b] Centre d'études nordiques, Université Laval, Québec, Québec G1V 0A6

Le Nunavik est peuplé de communautés autochtones s'approvisionnant majoritairement en eau de surface. Plusieurs contraintes, telles que les coûts de traitement et le tarissement des sources en hiver, motivent la recherche d'une alternative, soit l'approvisionnement en eau souterraine. Or la disponibilité de l'eau souterraine en région nordique est limitée en raison de la présence du pergélisol. De plus, l'exploitation durable des eaux souterraines en région nordique reste à démontrer puisque les processus de recharge des nappes phréatiques ainsi que la dynamique d'écoulement des eaux souterraines sont différents de ceux observés en région tempérée.

L'objectif principal du projet est d'évaluer la disponibilité des eaux souterraines en région froide pour l'approvisionnement en eau potable d'une communauté nordique. Pour ce faire, le bilan hydrologique d'un petit bassin versant situé dans la vallée Tasiapik, près de la communauté d'Umiujaq, a été réalisé.

Des travaux de terrain ont été entrepris afin de quantifier les composantes du bilan hydrologique. Tout d'abord, les précipitations sont mesurées par une station météorologique installée sur le site par le centre d'études nordiques. La décharge à l'exutoire du bassin versant est mesurée à l'aide d'un canal jaugeur. L'évapotranspiration est estimée par la méthode d'Hydro-Québec et l'équation de Budyko. Le stockage dans les réservoirs est quantifié en trois parties. D'abord, la recharge des aquifères est évaluée par la méthode de Darcy. Ensuite, la décharge dans la rivière est évaluée par des hydrogrammes de séparation. Finalement, la décharge aux limites du bassin versant est calculée en fermant le bilan hydrologique. Pour conclure, la détermination de ces variables permet d'évaluer la quantité d'eau disponible et de la mettre en relation avec les besoins de la communauté, dans une optique de développement durable.

Mots clés: hydrogéologie ; hydrologie ; pergélisol ; région froide ; changements climatiques

Biosuivi de la contamination métallique autour de l'activité minière au Nunavik

Louise-Emmanuelle Paris[a], Isabelle Lavoie[a], Sébastien Leguay[a], Claude Fortin[a]

[a]Institut Nationale de la Recherche Scientifique - Centre Eau Terre Environnement

Le Québec présente près de 700 sites miniers abandonnés et presque 200 mines et carrières actives. À cela s'ajoutent les projets miniers à venir, se développant principalement dans le nord du Québec, au Nunavik. Cette région du Bouclier Canadien possède une composition géologique naturellement très riche en métaux convoités. Isolée et peu habitée, elle arbore un environnement riche tant au niveau de la faune et de la flore, que des lacs et des rivières. Il est donc crucial d'appliquer une méthode de suivi assidue et représentative considérant que l'industrie minière est la principale source de contamination par les métaux dans l'environnement. Malheureusement, le suivi actuel présente des lacunes importantes car il se contente de mesurer la concentration métallique retrouvée dans l'eau de surface. Les mesures sont donc très sensibles aux fluctuations de facteurs naturels et anthropiques (par exemple, les précipitations ou les interruptions de rejet minier). Mon projet propose donc de mesurer la concentration en métaux présente dans le biofilm, c'est-à-dire dans les organismes colonisant les substrats au fond de l'eau. Quatre campagnes d'échantillonnage ont eu lieu à la mine Nunavik-Nickel aux étés 2014 et 2015, où le biofilm et l'eau de surface ont été prélevés à plus d'une quinzaine de sites. L'objectif était de rechercher une corrélation entre le contenu métallique dans le biofilm et la concentration en ion libre du métal dans l'eau de surface. Un projet similaire a été mené dans le sud du Québec, ce qui permettra la comparaison des jeux de données du Nord et du Sud. Toutes ces données s'imbriqueraient ensuite dans la création d'un index multimétrique visant à évaluer adéquatement la contamination métallique dans les cours d'eau. Cet index tiendrait compte également des informations obtenues par l'observation de diatomées.

Mots-clés : Nunavik, industrie minière, contamination métallique, biosuivi

Plénière : Louis-César Pasquier[a]

[a] Institut National de la recherche scientifique, Centre Eau Terre Environnement

Les matières résiduelles alcalines, une solution pour la réduction des émissions de CO2 industrielles.

La carbonatation minérale est une des voies proposées pour la réduction des émissions de CO_2. Elle permet de transformer le CO_2 gazeux en carbonates solides. Outre l'avantage de stocker le CO_2 sous une forme stable, la carbonatation minérale peut également être utilisée avec différents types de matières premières comme des résidus industriels et miniers alcalins. Alors que cette réaction est étudiée depuis 1995 comme une alternative à la séquestration géologique, une nouvelle approche propose de traiter le gaz sans capture et concentration préalable du CO_2. En plus d'être novatrice, celle-ci permet de réduire les besoins énergétiques et en infrastructures liées à la capture. De plus, l'accent porté sur la génération de produits à valeur ajoutée permet de générer des revenus, et privilégie la valorisation de matières résiduelles. En résumé, une pierre deux coups, au bénéfice de l'environnement.

Au Québec, les problèmes d'acceptabilité sociale liés à l'injection souterraine et au stockage géologique du CO_2 ainsi que le contexte géographique favorisent le développement de technologies de carbonatation minérale. Depuis cinq ans, le groupe de recherche dirigé par le professeur Guy Mercier s'intéresse à ce sujet. Dans un premier temps, la faisabilité du traitement d'un gaz de cimenterie en utilisant des résidus miniers ultramafiques a pu être démontrée. Le procédé développé, a été testé pendant une année en traitant les gaz de la cimenterie de Joliette et une étude marketing est actuellement en cours en vue de mettre en place une usine de démonstration. En parallèle, l'étude de matières résiduelles alcalines comme le béton usé, les scories d'aciéries, les résidus miniers issus de la production de minerai de fer a été réalisée. Par ailleurs, le groupe met à contribution ses connaissances et son expertise afin de dégager des synergies en utilisant une approche technico-économique. L'objectif étant de proposer aux acteurs du secteur industriel Québécois une solution adaptée à leurs besoins pour la réduction de leurs émissions de CO_2. Les approches privilégiées visent à utiliser des matières résiduelles disponibles et réactives, priorisant la valorisation de sous-produits à valeur ajoutée.

Alors que les connaissances dans le domaine grandissent et se montrent plus que prometteuses, de nombreux défis restent à être relevés afin de pérenniser une industrie forte et exemplaire en matière de développement durable.

L'étude transfrontalière de l'aquifère Milk River (Canada-USA) : Modèles géologique, conceptuel et numérique pour la gestion raisonnée de la ressource régionale

Marie-Amélie Pétré[a,b], Alfonso Rivera[b], René Lefebvre[a]

[a] Institut National de la recherche scientifique, Centre Eau Terre Environnement

[b]Commission Géologique du Canada, Québec, Québec, Canada

L'aquifère transfrontalier Milk River est situé dans une région semi-aride au sud de l'Alberta (Canada) et au nord du Montana (USA). L'usage intensif de cet aquifère régional pendant le 20ème siècle a engendré une baisse importante des niveaux d'eau localement et des inquiétudes concernant la pérennité de cette ressource sont apparues dès les années 1950. L'aquifère Milk River a été beaucoup étudié ces dernières décennies mais la plupart des études étaient limitées par la frontière internationale, empêchant ainsi une compréhension complète de la dynamique de l'aquifère. La présente étude dépasse ces limites en présentant une caractérisation transfrontalière de l'aquifère, en suivant une approche en 3 étapes :

1) Le développement d'un modèle géologique unifié 3D de l'aquifère Milk River (50,000km^2). Le cadre stratigraphique de chaque côté de la frontière a été unifié et harmonisé en suivant les limites naturelles de l'aquifère.

2) Élaboration d'un modèle conceptuel hydrogéologique en associant des données hydrogéologiques et géochimiques. Cette étape est basée sur une revue de littérature détaillée et un travail de terrain de part et d'autre de la frontière. Le modèle conceptuel décrit notamment le patron d'écoulement de l'eau souterraine, la distribution spatiale des propriétés hydrogéologiques et la définition des zones de recharge et d'écoulement actif grâce à l'utilisation d'isotopes (^{3}H, ^{14}C, ^{36}Cl).

3) La construction d'un modèle numérique d'écoulement 3D. Ce modèle est une transposition des modèles géologique et conceptuel. Une simulation pré-exploitation en régime permanent puis une simulation en régime transitoire sont développées afin de tester le modèle conceptuel de l'aquifère et de fournir une base pour l'évaluation du meilleur usage possible de la ressource partagée entre le Canada et les États-Unis.

Cette étude propose une approche unique pour l'évaluation de l'aquifère Milk River, intégrant trois modèles qui forment la base d'une gestion raisonnée de cette ressource commune à l'échelle de l'aquifère.

Mots clés : aquifère transfrontalier, modèle géologique, modèle conceptuel hydrogéologique, modèle numérique, gestion

Mass-conservative reconstruction of Galerkin P1 velocity fields for transport simulations

Carlotta Scudeler[a,b], M. Putti[b], C. Paniconi[a]

[a] Institut National de la recherche scientifique, Centre Eau Terre Environnement

Université du Quebec, Quebec city

[b] Department of Mathematics, University of Padova, Padova, Italy

Accurate calculation of mass-conservative velocity fields from numerical solutions of Richards' equation is central to reliable surface-subsurface flow and transport modeling, for example in long-term tracer simulations to determine catchment residence time distributions. In this study we assess the performance of a local Larson-Niklasson (LN) post- processing procedure for reconstructing mass-conservative velocities from a linear (P1) Galerkin finite element solution of Richards' equation. This approach, originally proposed for a-posteriori error estimation, modifies the standard finite element velocities by imposing local conservation on element patches. The resulting reconstructed flow field is characterized by continuous fluxes on element edges that can be efficiently used to drive a second order finite volume advective transport model. Through a series of tests of increasing complexity that compare results from the LN scheme tothoseusingvelocityfieldsderiveddirectlyfromtheP1 Galerkinsolution,weshowthatalocallymass-conservative velocity field is necessary to obtain accurate transport results. We also show that the accuracy of the LN reconstruction procedure is comparable to that of the inherently conservative mixed finite element approach, taken as a reference solu- tion, but that the LN scheme has much lower computational costs. The numerical tests examine steady and unsteady, saturated and variably saturated, and homogeneous and heterogeneous cases along with initial and boundary conditions that include dry soil infiltration, alternating solute and water injection, and seepage face outflow. Typical problems that arise with P1 Galerkin velocities include out going solute flux from no flow boundaries, solute entrapmentinzones of low hydraulic conductivity, and occurrences of anomalous sources and sinks. In addition to inducing significant mass balance errors, such manifestations often lead to oscillations in concentration values that can moreover cause the numerical solution to explode. These problems do not occur when using LN post-processed velocities.

Mots clés : Mass conservation, solute transport, Richards' equation, Larson-Niklasson velocity reconstruction, mass balances

Présentations orales

Session Géologie et ressources
Président : Divex

Développement d'un protocole pour la création d'un matériau de référence pour valider le comptage de grains d'or dans l'étude minéralogique de till aurifère.

Jean-François Boivin[a], Paul L. Bédard[a], Michael Higgins[a], Réjean Girard[b]

[a] Department des sciences appliquées, Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)
[b] Conseiller industriel, IOS Services Géoscientifiques inc (rejeang@iosgeo.com).

Le socle rocheux étant peu exposé au Québec, la découverte de nouveau gisement aurifère requiert parfois des méthodes d'exploration indirecte telle que le comptage de grains d'or dans les tills glaciaires. Cette méthode est utilisée dans l'industrie puisque l'étude de l'abondance des grains d'or associée à l'étude de leur morphologie fournit une interprétation de la proximité d'une source minéralisée, information primordiale dans l'industrie de l'exploration minérale. Cependant, le problème présent dans l'industrie se retrouve au niveau des incertitudes des résultats de cette méthode obtenus en laboratoire. Celles-ci ne peuvent être quantifiées puisqu'aucun matériau de référence n'existe pour mesurer ces derniers. Le contrôle de la qualité (QA/QC) est une composante importante dans tout projet où la quantification est nécessaire et donne une mesure de la fiabilité des résultats obtenus. L'adaptation de protocoles similaires de fabrication de matériaux de référence géochimique serviront à faciliter la structure et l'élaboration du protocole de fabrication du matériau de référence pour la validation du comptage de grains d'or dans les tills. Le matériau de référence idéal devra être composé de plus de 20 grains d'or pour être plus haut que le bruit de fond maximum. Ainsi, le nombre de grains sera suffisant pour atteindre une incertitude raisonnable 10-20 %. Les grains d'or seront dans une matrice de minéraux lourds avec une masse comprise entre 0.5 à 1 g. L'analyse par microtomographie aux rayons X, analyse non destructive, sera très utile dans plusieurs étapes du projet. Cette analyse permettra de comprendre la distribution de l'or dans le matériau ainsi que de caractériser l'homogénéisation, la reproductibilité et les incertitudes statistiques du nombre de grains d'or dans le matériau. Ce projet aura des incidences positives sur l'industrie de l'exploration minérale.

Mots clés : Environnement secondaire; Till; Minéraux lourds; Matériau de référence; Comptage de grains d'or.

Hypercube®: Nouvel outil pour l'étude du potentiel mineral

Eric Larouche[a], Guillaume Allard[b], Réjean Girard[c], Clément Dombrowski[c] et Réal Daigneault[d]

[a]Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, Quebec;
[b]Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec (MERN);
[c]IOS Services Géoscientifiques;
[d]Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, Quebec (CERM/UQAC)

Le renouvellement des ressources minérales est un défi quotidien et de nouvelles cibles d'exploration doivent sans cesse être générées afin d'améliorer le taux de découvertes. Dans le traitement des grandes bases de données, certaines méthodes permettent déjà la confection de cartes de potentiel minéral à l'échelle régionale mais semblent comporter certaines difficultés tels que l'introduction de biais ou une mécanique difficile à suivre (« black box »). Il est ici proposé de tester l'algorithme Hypercube® commercialisé par BearingPoint et déjà utilisé dans d'autres industries. Hypercube est un algorithme complexe capable de traiter un large volume de données et servant à générer des règles d'association basées sur les données seulement. Ce projet de maitrise est basé sur un partenariat entre l'UQAC, le MERN et IOS Services Géoscientifiques. Le secteur à l'étude consiste en une superficie de 90 0000 km^2 située à la Baie-James et inclue plus de 1000 indices minéralisés. Cependant, seulement les gîtes travaillés, les gisements à tonnage évalué et les mines ont été utilisés. Les objectifs du projet sont 1) de créer une carte de prospectivité minérale du secteur en utilisant Hypercube, 2) de comparer cette carte avec celle déjà générée par le MERN utilisant une combinaison du poids des évidences et de la logique floue et 3) de développer une méthodologie pour utiliser efficacement Hypercube pour le ciblage en exploration minérale. Pour y arriver, un Model Builder (outil de la série ArcGIS) a permit la création d'une matrice d'apprentissage de 1 433 777 pixels avec un espacement de 250 mètres et contenant 100 variables extraites de la géologie, les structures, la géophysique et la géochimie. L'analyse d'Hypercube sur 50% de la base de données a retourné des règles robustes pouvant être utilisées pour construire un modèle prédictif. Ces règles sont focalisées et peuvent être utilisées comme vecteurs d'exploration.

Mots Clés: Prédiction, Exploration, Algorithme, Hypercube

Caractérisation du partitionnement des métaux dans les sols par cartographies des éléments à l'aide d'un microscope électronique à balayage : Applications en géochimie d'exploration

Valérie Lecomte[a,b], Hubert Cabana[a] et Réjean Girard[b]

[a] Laboratoire de génie de l'environnement, Département de génie civil, Université de Sherbrooke, 2500 Boul. de l'Université, Sherbrooke, Québec, Canada, J1K 2R1
[b] IOS Services Géoscientifiques inc., 1319, boul. St-Paul, Chicoutimi, Québec, G7J 3Y2
Courriel : vlecomte@iosgeo.com

Les sols sont composés de divers constituants susceptibles de fixer les métaux : matières organiques, oxydes, carbonates, charbon de bois, matériel détritique, *etc.* Les méthodes d'analyses généralement utilisées, basées sur des extractions simples ou séquentielles et supposées renseigner sur le partitionnement des métaux, ne semblent pas aussi sélectives en pratique qu'en théorie.
L'objectif de cette étude a été de déterminer les zones d'accumulation, ou partitionnement, des métaux sur les divers constituants présents dans les sols à l'aide de méthodes non destructives. Pour ce faire, plusieurs échantillons de sols, riches en humus et naturellement enrichis en métaux, ont été étudiés à l'aide d'un microscope électronique à balayage (Zeiss EVO MA15) muni d'un détecteur d'électrons rétrodiffusés (BSE) et d'un spectromètre à dispersion des énergies (EDS-SDD).
Des cartographies de la distribution des éléments chimiques ont été acquises pour chaque échantillon avec une résolution d'environ cinq microns, ce qui a permis de localiser les zones d'accumulation des métaux, même lorsque ceux-ci étaient présents en traces. Des analyses plus détaillées ont ensuite été effectuées pour déterminer la nature du signal chimique (matière organique, oxydes, carbonates, matériel détritique, *etc*.).
Les résultats ont démontré que, par exemple, dans un échantillon riche en cuivre, ce dernier était principalement adsorbé sur la matière organique jusqu'à un certain point de saturation. Certaines phases de sulfures de cuivre et d'accumulations sur des oxydes de manganèse et de fer ont également été observées dans le même échantillon. D'autres échantillons, riches en manganèse, ont présenté plusieurs oxydes de manganèse et de fer de diverses formes.
Pour le domaine de la géochimie d'exploration, une meilleure connaissance du partitionnement des métaux permet de déterminer leur mode de dispersion et ainsi d'améliorer la déconvolution des signaux afin de localiser leur source. Cette technique peut également aider à discriminer les fausses anomalies des vraies.

Mots clés : Géochimie, Sol humique, Partitionnement des métaux, Éléments traces, Microscopie électronique

Analyses statistiques de données multiparamétriques au gisement de SMV Bracemac-McLeod, district minier de Matagami, Québec

Nathalie Schnitzler[a], Pierre-Simon Ross[a], Erwan Gloaguen[a], A. Bourke[a], R. Boucher[b], R. Namour[b]

[a] Institut national de la recherche scientifique – Centre Eau Terre Environnement
[b] Glencore

Le laboratoire mobile de caractérisation physique, chimique et minéralogique des roches (LAMROC) de l'INRS acquiert des données multiparamétriques sur les carottes de forage d'exploration de façon non destructive. Le laboratoire peut mesurer quasi simultanément la densité par atténuation des rayons gamma, la minéralogie par spectrométrie infrarouge, la géochimie par fluorescence des rayons X (FRX) et la susceptibilité magnétique. Ces données complètent la description faite par le géologue.

Ce projet présente une étude des variations de l'altération hydrothermale au niveau du gisement Bracemac-McLeod, situé dans le district de sulfures massifs volcanogènes (SMV) de Matagami, dans la partie nord de la Sous-Province de l'Abitibi au Québec. 11 forages d'exploration ont été choisis, pour un total de plus de 6000 m répartis sur le dépôt McLeod et jusqu'à 1 km à l'est. Les mesures sont effectuées de façon systématique, tous les 20-30 cm, à des points spécifiques déterminés par le géologue.

Dans le cas des SMV, l'appauvrissement ou l'enrichissement en aluminium des micas blancs, la variation du fer ou du magnésium dans les chlorites, ainsi que l'évolution spatiale des concentrations de certains éléments (entre autre, le sodium) peuvent servir d'indicateur de proximité au gisement. La comparaison de ces indicateurs permet alors l'élaboration de vecteurs qui pointent vers la minéralisation. Le projet a pour objectif de tester ces méthodes d'interprétation avec les données recueillies par le LAMROC.

L'analyse par FRX ne permet pas de mesurer le sodium. Celui-ci intervenant directement dans l'étude de l'altération hydrothermale, il est nécessaire de l'estimer pour chaque point mesuré. La grande quantité de données ainsi que la diversité des paramètres (plusieurs milliers de points de mesure, avec plus de 20 variables) permettent d'utiliser des méthodes variées quant à leur étude et interprétation. Cette présentation met ainsi en valeur une approche statistique basée sur le principe de machine d'entrainement : le *Random Forest*.

Évidences pétrographiques de la transformation du pyrochlore en columbite dans la carbonatite de Saint-Honoré, Saguenay

Jonathan Tremblay[a] , Bédard, L.P.[a], Matton, G.[b]

[a] Sciences de la Terre, Université du Québec à Chicoutimi
[b] Mine Niobec inc., Saint-Honoré, Saguenay

Le complexe alcalin de Saint-Honoré est exploité par Mine Niobec inc. depuis plus de 40 ans pour le pyrochlore [$(Ca,Na)_2(Nb,Ti)_2O_6(O,OH,F)$]. Avec l'avancée de l'exploitation, les géologues observent une plus grande abondance de columbite-(Fe) [$(Fe,Mn)(Nb,Ti)_2O_6$]. Ce minéral était autrefois considéré comme une phase mineure dans la carbonatite.

Les grains de pyrochlore et de columbite-(Fe) sont de taille variable, mais ils sont généralement assez grossiers pour être observés à la loupe. Sous le microscope polarisant, les grains de pyrochlores sont généralement idiomorphes, ont rarement des inclusions et peuvent présenter une zonation. La columbite-(Fe), au contraire, est xéno- à hypidiomorphe et possède de multiples inclusions. Les deux minéraux sont associés à des bandes d'apatite. Toutefois, le pyrochlore et la columbite-(Fe) s'observent que très rarement dans les mêmes bandes d'apatite. Les observations en lames minces indiquent que le pyrochlore correspond aux deux tiers de la minéralisation tandis que la columbite-(Fe) représente relativement le tiers. La cathodoluminescence et la microscopie électronique à balayage (MEB) ont permis d'identifier les inclusions de la columbite-(Fe) comme des grains de calcite [$CaCO_3$] et de fluorite [CaF_2]. L'analyse au MEB a aussi montré plusieurs grains montrant différents stades de transformation du pyrochlore en columbite-(Fe).

Ces observations suggèrent que le pyrochlore se transforme en columbite-(Fe) sous certaines conditions hydrothermales ou magmatiques libérant ainsi le Ca, Na et le F qui cristallisent en inclusions de calcite et de fluorite à l'intérieur des grains de columbite-(Fe). Le Na libéré contribue à l'abondance de halite [NaCl] dans le gisement. Cette transformation serait causée par un déséquilibre du pyrochlore et par l'incorporation de Fe. Les conditions responsables de cette transformation sont actuellement à l'étude.

Mots clés : carbonatite, niobium, pyrochlore, columbite, Saint-Honoré

Présentations orales

Session Géodynamique
Président : Michel Malo

Évolution tectono-métamorphique des sous-provinces d'Opinaca et de La Grande, Province du Supérieur, Québec.

Antoine Rhéaume Ouellet [a], Carl Guilmette [a], Jean Goutier[b], François Huot[a]

[a] Department de géologie et de génie géologique, Université Laval.
[b] Géologie Québec, Ministère de l'Énergie et des Ressources Naturelles

La Sous-province de La Grande est un ensemble volcano-plutonique archéen de la Province du Supérieur en contact majoritairement tectonique avec la Sous-province d'Opinaca au sud, une sous-province métasédimentaire néoarchéenne plus fortement métamorphisée. Or, les âges des protolithes des deux Sous-provinces suggèrent que la Sous-province de La Grande représente le socle du bassin de l'Opinaca, ce qui est difficilement réconciliable avec un métamorphisme plus intense dans ce dernier.
Les avancées modernes en thermobarométrie et géochronologie permettent de reconsidérer le problème du contexte géodynamique d'accolement des deux sous-provinces. Deux régions couvrant le contact nord sont à l'étude : celle du poste Le Moyne (SNRC 33G06) et celle du lac Dalmas (SNRC 33H08/01). Les travaux de terrain et l'étude pétrographique permettent d'identifier un événement prograde syntectonique au faciès des amphibolites dans la Sous-province de La Grande et un passage variablement brusque aux roches métasédimentaires anatectiques de l'Opinaca. Celles-ci sont parfois rééquilibrées aux amphibolites supérieures, mais conservent des traces de métamorphisme plus intense. Les conditions d'équilibration des assemblages minéralogiques sont quantifiées par thermobarométrie multiéquilibre optimale. Des diagrammes d'équilibre de phases modélisés par Theriak-Domino permettent d'investiguer le parcours rétrograde des échantillons. L'interprétation de ces diagrammes pointe vers un métamorphisme rétrograde de plus basse pression dans l'Opinaca. Les températures obtenues par thermobarométrie reportées dans ces diagrammes correspondent au passage du solidus, signifiant que les températures maximales atteintes y sont plus importantes.

L'étude comporte également un volet pétrochronologique en cours sur grenats (Lu-Hf) et zircons (U-Pb). Ces datations permettront de déterminer la chronologie de ceux-ci par rapport à l'accolement des sous-provinces. Ces nouvelles informations sur le parcours métamorphique des deux sous-provinces dans deux régions distinctes seront confrontées aux modèles géodynamiques existant pour la formation de cette partie du Supérieur (complexe d'accrétion vs complexe métamorphique central).

Mots clés : Supérieur, thermobarométrie, pseudosections, métamorphisme, tectonique

Étude géochimique, métamorphique et géochronologique des séquences du Complexe de Little Port et de la semelle métamorphique du massif de Table Mountain, Complexe Ophiolitique de Bay of Islands

Jean-Daniel Fortin Rhéaume[a]

[a] Département de géologie et de génie géologique, Université Laval

Le complexe de Bay of Islands est formé de quatre massifs ophiolitiques très bien préservés. Le massif de Table Mountain est situé au nord, dans le parc national du Gros-Morne à Terre-Neuve. À l'été 2015, cinq semaines de terrain ont permis l'échantillonnage et/ou la description de 175 sites répartis dans trois grandes sections, la semelle métamorphique, la région des Green Gardens et celle de Little Port. Environ 125 lames minces ont été préparées et partiellement décrites. Deux échantil- lons tonalitiques ont été analysés par U-Pb sur zircons et 41 échantillons ont été analysés à la géo- chimie sur les éléments majeurs, mineurs ainsi que les traces (REE-HFSE). La semelle métamor- phique, d'au maximum 200 mètres d'épaisseur, montre un gradient métamorphique inverse allant du faciès des granulites au contact avec le manteau vers le faciès des amphibolites inférieur au con- tact avec les unités sédimentaires sous-jacentes. La minéralogie est essentiellement constituée d'amphiboles, de pyroxènes, de grenats, d'épidotes, de plagioclases altérés et de quelques minéraux accessoires. Comme le montre plusieurs semelles métamorphiques, les pyroxènes et les grenats sont majoritairement concentrés dans la zone près du contact supérieur. Les régions des Green Gardens et de Little Port montrent une grande variété de lithologies. On y retrouve principalement des tona- lites, des basaltes en coussins, des gabbros, des diabases ainsi que des unités ultramafiques formées majoritairement d'harzburgite. Les patrons en éléments traces résultant des analyses géochimiques montrent aussi de grandes variations. On distingue majoritairement des patrons typiques d'arc magmatique mais aussi quelques MORB et OIB. Les analyses U-Pb sur six zircons provenant de deux échantillons tonalitiques du complexe de Little Port ont montré un âge moyen de 500,2 ± 0.2 Ma, un résultat significativement différent de 484 ± 5 Ma pour les massifs de Bay of Islands.

Mots clés : ophiolite, semelle métamorphique, U-Pb, REE, HFSE

Nouvelle approche pour les essaie de réponses géothermique : TRT en mode contrôle de puissance thermique et de gestion des opérations à distance

Claude Hugo Koubikana P[a], Jasmin Raymond[a], Jean-Marc Ballard[a], Patrice Kwemo[b]

[*] auteur correspondant : claudehugok@gmail.com

[a]Institut National de la recherche scientifique, Centre Eau Terre Environnement

[b]Energie-stat, Montréal, Canada

Le test de réponse thermique (TRT) est un essai de terrain qui permet d'évaluer les paramètres thermiques du sous-sol et des échangeurs de chaleur. Il est utilisé pour le dimensionnement des forages lors de la conception d'un système géothermique de chauffage et de climatisation. Le procédé classique mobilise une logistique lourde et l'emploi d'une génératrice électrique puissante; qui par hypothèse, pour l'analyse avec la méthode de la ligne source, doit fournir une tension stable pendant l'essai afin de réduire les fluctuations de la puissance thermique injectée et des températures mesurées. La difficulté de maîtriser cette condition pendant l'essai, à cause des oscillations de l'onde électrique et des variations de la température atmosphérique, engendre des erreurs dans l'évaluation de la conductivité thermique du sous-sol et le dimensionnement du système. L'impact final affecte le coût initial du projet, compromet la performance des équipements et allonge la période du retour sur l'investissement. Il est donc apparu nécessaire d'apporter une solution technologique capable de minimiser cette problématique et ses conséquences.

A cet effet, la firme Énergie–Stat a mis au point le système Gtrend qui a été mis à l'essai du 8 octobre 2015 au 02 novembre 2015 sur un forage géothermique situé aux laboratoires lourds du Centre-Eau-Terre-Environnement de l'Institut National de la Recherche Scientifique à Québec. Le Gtrend est une plateforme modulaire et portative qui permet la gestion automatisée du contrôle de la puissance thermique injectée dans le forage à partir des signaux de capteurs de températures et de débit. Ses autres avantages sont l'accès aux données et le contrôle à distance sans risque de perturbation du procédé en cours, la production d'informations tendancielles en temps réels et la paramétrisation des opérations à partir d'équipements de télécommunication. Les résultats obtenus lors d'essais ayant pour but de comparer différents modes de fonctionnement, soit la gestion in-situ versus à distance et le contrôle de puissance électrique versus puissance thermique, sont cohérents. L'erreur sur l'évaluation de la conductivité thermique du sous-sol avec les données mesurées in-situ et à distance est de moins de 7 % et diminue à 2 % lorsque le contrôle de puissance thermique est utilisé. Ces résultats indiquent un potentiel significatif pour la réduction des erreurs, des coûts de projets et de l'empreinte environnementale.

Mots clés : TRT ; Énergie géothermique ; Puissance thermique ; Gtrend, Coût de projet.

Affiches

Optimisation de la réaction de carbonatation minérale à l'aide de résidus miniers provenant de l'industrie du fer

Cindy Beaulieu[a], Emmanuelle Cecchi[a], Louis-César Pasquier[a], Jean-François Blais[a], Guy Mercier[a].

[a] Institut National de la recherche scientifique, Centre Eau Terre Environnement

Les scientifiques œuvrant dans le domaine des changements climatiques s'entendent sur le fait que le réchauffement planétaire est dû à l'activité humaine, et ce, par l'augmentation des émissions anthropiques de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. À l'échelle provinciale, le deuxième secteur d'activité le plus émetteur de GES était en 2012 le secteur industriel (31,6% des émissions totales), tout juste derrière celui des transports (44,7%) (MDDELCC, 2015).

Ce projet de maitrise, réalisé en partenariat avec la compagnie minière Cliffs Natural Ressources, vise à capturer les émissions de CO_2 émis par une usine de boulettes de fer, par le processus de carbonatation minérale. Celui-ci, consiste à capturer le CO_2 gazeux et de le lier chimiquement avec un métal divalent pour former des carbonates solides. Les produits formés sont stables et inertes pour l'environnement, faisant de la carbonatation minérale l'une des techniques de capture du CO_2 anthropogéniques les plus sécuritaires et durables à long terme (IPCC, 2013).

Les matériaux réactifs étudiés lors de ce projet sont des résidus miniers de la compagnie, riches en fer. L'objectif principal a donc été de vérifier le potentiel de carbonatation minérale de ces matériaux. L'originalité de ce projet de maîtrise consiste en l'utilisation de résidus miniers de l'industrie du fer dans l'application d'un procédé de carbonatation minérale, faisant de cette recherche l'une des premières à expérimenter cette méthodologie, afin de répondre à la problématique des émissions industrielles de GES. Suite à la caractérisation complète du matériel, des essais ont été réalisés, en premier lieu, selon un procédé direct en phase aqueuse. Ces essais n'ayant pas démontré d'efficacité, les travaux se sont poursuivis selon un processus indirect, dont les résultats seront discutés dans cette présentation.

Mots clés : Carbonatation minérale, séquestration du CO_2, résidus miniers, oxydes de fer

Références

IPCC (2013): *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley(eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p 1535.

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (2015) *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2012 et leur évolution depuis 1990*. Édit Direction Des Politiques De La Qualité De L'atmosphère (Bibliothèque et Archives nationales du Québec, Québec), p 21

Méthanogénèse et méthanotrophie dans les sediments de trois lacs boréaux contrastés

François Clayer[a], Yves Gélinas[b], Charles Gobeil[a], André Tessier[a]

[a]Institut National de la recherche scientifique, Centre Eau Terre Environnement
[b]Département de Chimie et Biochimie, Université Concordia.

Le méthane (CH_4), puissant gaz à effet de serre et régulateur du climat actuel et passé, est produit (méthanogénèse) en milieu naturel suite à la fermentation microbienne de la matière organique et consommé (méthanotrophie) par oxydation aérobie et anaérobie. La méthanotrophie et les réactions de méthanogénèse, soit l'acétoclastie (i.e. la décomposition de l'acétate en CH_4 et CO_2) et l'hydrogénotrophie (i.e. la réduction du CO_2 en CH_4), sont des processus qui modifient la signature isotopique du carbone ($\delta^{13}C$) du CH_4 et du CO_2. Dans le but de clarifier les voies diagénétiques du CH_4 dans les sédiments de lacs boréaux, nous avons déterminé les profils des concentrations en CH_4 et en CO_2, de même que ceux du $\delta^{13}C$ de ces composés, dans les eaux interstitielles des sédiments de trois bassins lacustres ayant des concentrations contrastées en O_2. La modélisation des profils de concentration et de $\delta^{13}C$, à l'aide d'une équation de transport-réactions contrainte par l'hypothèse d'un état stationnaire, a permis de quantifier l'importance relative de l'acétoclastie, de l'hydrogénotrophie et de la méthanotrophie aux sites d'étude. Nos résultats révèlent en outre l'influence prépondérante du niveau d'oxygénation de la colonne d'eau sur les voies diagénétiques du CH_4 et sur son flux à l'interface eau-sédiment.

Mots clés : Méthane, Minéralisation de la matière organique, sediments de lacs boréaux, Oxygénation

Mantle petrology, mineralogy and major elements geochemistry of the northern Cache Creek terrane – Preliminary results

Anne-Sophie Corriveau[a], Jean H. Bédard[b], Alexandre Zagorevski[c]

[a] Institut National de la recherche scientifique, Centre Eau Terre Environnement

[b] Geological Survey of Canada - Québec

[c] Geological Survey of Canada - Ottawa

The northern Cache Creek terrane extends for more than 500 km in northern British Columbia and southern Yukon. This composite terrane comprises mafic and ultramafic complexes and carbonate and chert assemblages that have been interpreted by previous workers as components of accreted seamounts, spreading centers and rifted arc complexes. Our observations show that mantle facies are widespread and are generally structurally capped by brecciated hypabyssal and volcanic rocks, most with arc affinities. Mafic and ultramafic cumulates occurrences are rare.

Variably serpentinized mantle rocks were sampled at King Mountain, Dease Lake, Nahlin Mountain area, Hardluck and Peridotite peaks, Mt. Barham, Atlin and Marsh and Squanga lakes. Ultramafic to gabbroic cumulates were found at King Mountain and in the Hardluck peak area. Foliated mantle harzburgite tectonite dominates, typically with 25-35% of porphyroclastic orthopyroxene and subordinate chromite. Orthopyroxenite to rare websterite layers are interpreted to be transposed dykes. Subordinate dunite dykes and pods are common. Where present, gabbroic dykes are consanguineous with overlying volcanics.

Chromite is unzoned, with High Cr# from 32 to 58 and low TiO_2 and NiO contents. Olivine composition varies between Fo_{90} to Fo_{92} in the harzburgite and up to Fo_{94} in the dunite dykes. Enstatite and diopside respectively have Mg# of 91.3-91.6 and 92.9-94.2. They have low Al_2O_3 and Cr_2O_3 contents. These results, together with whole-rock geochemical data, suggest a large range in degree of partial melting (18-32%) for these peridotites and the involvement of an arc component during melting, as supported by complementary data on volcanics and peridotites.

Mots clés: Tectonic, Cordillera, Ophiolite, Cache Creek, Mantle

Étude du contexte tectono-métamorphique du Complexe de Laguiche, Sous-province de l'Opinaca, Eeyou Istchee Baie-James

Myriam Côté-Roberge[a], Carl Guilmette[a], Jean Goutier[b], Nathan Cleven[a]

[a] Département de géologie et de génie géologique, Université Laval
[b] BCGQ, Ministère de l'Énergie et des Ressources Naturelles

Un tout nouvel enthousiasme est porté à la Baie James depuis la découverte dans cette région reculée de gisements d'or d'envergures, tel que celui de Roberto (mine Éléonore). L'exploration y est cependant limitée par le manque de connaissances sur le contexte géodynamique de formation et de mise en place des minéralisations. Effectivement, des secteurs entiers n'avaient même jamais fait l'objet de cartographie géologique détaillée et certaines sections du contact entre les sous-provinces d'Opinaca et de La Grande sont encore mal documentées.

Le projet d'étude a pour objectif de préciser le contexte géodynamique prévalant lors de la mise en place des séquences sédimentaires de l'Opinaca ainsi que l'évolution de ce contexte lors des épisodes subséquents de déformation et de métamorphisme. Le Complexe de Laguiche est un ensemble métasédimentaire paléo-archéen, appartenant à la sous-province d'Opinaca. Il est porté jusqu'au faciès métamorphique des granulites, alors que la sous-province de La Grande adjacente présente des faciès métamorphiques de plus faibles températures. Le Complexe est marqué par un taux de fusion partielle important et une grande quantité d'intrusions granitiques. Plusieurs hypothèses proposant divers contextes géodynamiques sont envisagées : la présence d'un complexe métamorphique central, d'un système de dômes et bassins ou encore de vastes décollements du socle.

Une centaine d'échantillons représentatifs ont été prélevés à l'été 2015 lors d'une campagne de cartographie de terrain couvrant 3 feuillets SNRC pour la pétrographie, la géochimie et la géochronologie. La présente affiche a pour but d'exposer un sommaire des observations réalisées jusqu'à présent sur le terrain, en lames minces et par l'analyse structurale. Différentes cartes montrant l'intensité de la déformation et de l'anatexie et les différents domaines structuraux définis sont présentées. Les différents minéraux métamorphiques sont placés en carte pour y définir des isogrades régionaux. Finalement, la planification des travaux futurs est expliquée.

Mots clés : Modélisation d'équilibre des phases, Opinaca, Archéen, Méta-sédimentaire, Données aéromagnétiques

Interprétation des nouvelles données aéromagnétiques et implications pour la géothermie dans la suite des unités radiogéniques sous la couverture des sédiments des Appalaches.

Aurélie Gicquel[a], Lyal Harris[a], Pierre-Arthur Groulier[b], Bernard Giroux[a]

[a]Institut National de la recherche scientifique, Centre Eau Terre Environnement
[b]MUN : Memorial University of Newfoundland

Les mesures radiométriques de la région des Escoumins dans l'est de la province du Grenville, au nord du fleuve Saint-Laurent, ont démontrées des valeurs radiométriques (en uranium, thorium et potassium) élevées dans les pegmatiques (pegmatiques de type uranifères ou à allanites). Celles-ci sont principalement injectées dans les domaines granitiques. Les données géophysiques montrent une signature différente selon la géologie du sous-sol : les données aéromagnétiques vont avoir des valeurs plus élevées dans les zones granitiques alors que les zones de quartzites les signatures aéromagnétiques vont être plus faibles. Les unités radiogéniques se sont déplacées par des décrochements dextres ductiles de direction N40, de manière parallèle au fleuve du Saint-Laurent. Les nouvelles données aéromagnétiques indiquent que ces structures décrochantes dextres se poursuivent de l'autre côté du fleuve, tout comme les unités riches en uranium et thorium qui sont également présentes. Elles correspondraient d'ailleurs à des secteurs plus matures de roches sédimentaires (grès, quartzites, conglomérats et calcaires d'âge Cambrien à Ordovicien) au sud du Saint-Laurent. Le prolongement de ces unités sous les roches sédimentaires cambro-ordoviciennes du bas Saint-Laurent pourrait monter localement la température et ainsi développer favorablement un potentiel géothermique.

Mots clés : Radiométrie, Géothermie, Grenville, Géophysique.

Transect du Churchill SE : évolution tectonométamorphique et implications géodynamiques

Antoine Godet[a], Carl Guilmette[a], Loïc Labrousse[b]

[a]Université Laval
[b]UPMC ISTEP

La sous-province géologique du Churchill Sud-Est (PCSE), dans le Nunavik, est délimitée à l'ouest et à l'est par les cratons archéens du Supérieur et Nord-Atlantique, respectivement. Elle est définie jusqu'alors en structure tripartite avec un bloc archéen appelé Zone Noyau (ZN) compris entre les orogènes paléo-protérozoï ques des Torngat à l'est (OT) et du Nouveau Québec à l'ouest (ONQ). Le modèle géodynamique actuel suggère qu'avant 1,88 Ga, la ZN représentait un micro-continent bordé d'océans à l'ouest et à l'est. Un épisode de convergence oblique mènera d'abord à l'accrétion de la ZN au craton Nord-Atlantique, créant l'OT (1,87 – 1,82 Ga), suivi d'une collision avec le craton du Supérieur, créant l'ONQ (1,82 - 1,77 Ma). La datation d'épisodes de déformation contemporains à l'ONQ retrouvés dans l'OT ont mené à l'interprétation que la ZN ait agit comme un bloc rigide entre les deux cratons, prédisant une empreinte tectonométamorphique protérozoique limitée et impliquant que la migmatisation répandue dans la ZN soit antérieure aux collisions.

De récentes études pétrochronologiques dans l'OT suggèrent cependant que les épisodes tectonométamorphiques prédominants dans la marge orientale de la ZN sont paléo-protérozoï ques, implicant un enfouissement contemporain à l'OT. Si cette observation est valide pour toute la ZN, une migmatisation contemporaine à l'OT aurait grandement affaibli la croûte de la ZN, rendant peu probable le modèle du bloc continental archéen rigide. Un modèle concurrent suggère que la PCSE pourrait représenter une seule et même phase orogénique (1,9-1,77 Ga, Trans-Hudsonien) s'étendant sur plus de 400km et pouvant s'apparenter au type Large Hot Orogens (LHO) avec éduction de la ZN.

Le projet, intégré dans la présente campagne de cartographie du Ministère de l'Energie et des Ressources Naturelles, vise à documenter un transect depuis le craton Supérieur jusqu'au craton Nord- Atlantique dans le but de contraindre l'évolution tectono-métamorphique de la région. Les observations de terrain seront couplées aux données aéromagnétiques et à une étude pétrochronologique intégrant les méthodes de modélisation des équilibres de phases, U-Pb sur zircon et monazite et Lu-Hf et Sm-Nd sur grenat synthétisées sous forme de trajectoire P-T-t-D. Cette méthodologie appliquée aux domaines anatectiques pourrait permettre de déterminer non seulement les â ges métamorphiques prograde et rétrograde mais aussi le temps de résidence de la ZN en condition de fusion partielle. Enfin des comparaisons entre les trajectoires P-T-t-D obtenues et des prédictions de modèles numériques thermo-mécaniques permettront d'explorer plus en profondeur les processus tectoniques impliqués dans l'évolution de la PCSE.

Mise à l'échelle pilot d'un procédé de lixiviation saline, acide appliqué aux buttes de tir contaminés par du cuivre, du plomb, d'antimoine et de zinc

Karima Guemiza[a], Guy mercier[a] et Jean-François Blais[a]

[a] Institut National de la recherche scientifique, Centre Eau Terre Environnement

Les sols de buttes de tir à l'arme légère sont très contaminés par du Pb, du Sb, du Cu et du Zn. Un procédé de lixiviation chimique (LC) acide et saline a été appliqué, pour traiter la fraction fine des sols provenant de deux buttes de tir. D'après les résultats obtenus, la LC en présence de H_2SO_4 et de NaCl s'est avérée très efficace pour l'élimination des métaux. Des essais ont été effectués à 25°C pour traiter 2 kg de sol, avec une densité de pulpe fixée à 10%. Le procédé de décontamination consiste en trois étapes de lixiviation (0,125 M de H_2SO_4 + 4 M NaCl, t=1 h) suivies d'un rinçage à l'eau. Des rendements d'élimination de 93%, 97%, 89% et 70% ont été obtenus pour le Cu, le Pb, le Sb et le Zn, respectivement pour le sol Batoche. Plus de 85% du Cu, 96% du Pb, 59% du Sb et 49% du Zn ont été enlevés du sol Normandie. Ces métaux (Cu, Pb, Sb et Zn) ont été concentrés dans les lixiviats. Le traitement des lixiviats par précipitation-coagulation à pH 9 a permis d'éliminer près de 99% du Cu, 99,9% du Pb, 95% du Sb et 99,9% du Zn. Ces résultats mettent en évidence que le processus de LC développé à l'échelle pilote peut être utilisé avec succès en mode contre-courant sans affecter les performances du processus pour éliminer les métaux présents dans les sols contaminés. Le coût du procédé de décontamination développé est de 267 US$ t^{-1}, ce qui est compétitif par rapport aux modes de gestion actuels. Ces résultats encourageants favorisent l'application de ce processus à une échelle industrielle.

Minéralisation aurifère du gîte d'or orogénique Orfée, Eeyou Istchee Baie-James (Québec)

Adina Bogatu[a], François Huot[a], Carl Guilmette[a], Jean Goutier[b], Georges Beaudoin[a], Antoine Rhéaume-Ouellet[a], Don Davis[c]

[a]Département de géologie et de génie géologique, Université Laval
[b]Ministère de l'Énergie et des Ressources Naturelles
[c]Université de Toronto

Le gîte Orfée (~0,2 Mt à 14,5 g/t Au), mis au jour par Mines d'Or Virginia en 1998, est situé dans la Sous-province de La Grande (SNRC 33G/06), à 300 m au nord du contact avec la Sous-province d'Opinaca. Des nombreux autres gîtes aurifères ont été découverts le long de ce contact, mais l'accessibilité ainsi que l'abondance de données détaillées sur ce gîte en font un exemple de choix dans le but d'investiguer les processus tectoniques et métallogéniques responsables de ces minéralisations.

Deux zones aurifères, soit Orfée et Orfée-Est, sont associées à une formation de fer comprenant des faciès à oxydes et silicates et à des mudrocks graphiteux contenant jusqu'à 20 % pyrrhotite et pyrite disséminées ou en amas. Des valeurs de $\delta^{13}C$ de -40,06 ‰ obtenues par analyse d'isotopes stables de C13 sur le graphite, suggèrent du carbone d'origine organique. Des amphibolites basaltiques d'affinité magmatique tholéiitique à transitionnelle bordent les zones minéralisées au nord, et sont affectées par une foliation précoce $S_{<n}$. Cette foliation précoce est enregistrée par des grenats issus du métamorphisme d'une altération irrégulière en Fe et Mn, tandis qu'une foliation principale Sn est orientée NO-SE à NNO-SSE. Des amphibolites basaltiques proximales à la zone minéralisée sont lessivées et affectées par une altération sodique. Des dykes dioritiques faiblement porphyriques en plagioclase sont injectés dans ces amphibolites, et coupent la foliation principale mais sont eux même foliés. Un de ces dykes, daté à 2703 Ma, est boudiné dans un corridor de cisaillement aurifère riche en pyrrhotite d'orientation NO-SE, mais l'or visible semble être associé à une altération en séricite superposant les plagioclases. La géométrie de la zone minéralisée suit cette unité de mudrock graphiteux, avec pendage abrupt vers le nord, et se continue dans la formation de fer et dans des brèches à pyrrhotite semi-massive à massive, à fragments de magnétite, grunérite, hedenbergite et hornblende. Dans les formations de fer, l'or visible est associé à la pyrrhotite remplaçant les niveaux de riches en magnétite, ainsi qu'à une altération chloritique. Les wackes sont composés d'une population de composition intermédiaire avec <5 % hornblende interstratifiées avec une population mafique contenant >30 % hornblende ayant des teneurs élevés en MgO, en Cr et en Ni. Les amphibolites, la formation de fer et les wackes sont injectés par une grande variété de veines de quartz déformées, avec une teneur en or maximale de 2 g/t. Des dykes de granite pegmatitique cisaillé et boudiné, datés à 2614 Ma, coupent les wackes et les amphibolites, suggérant un événement de déformation post- à syn-intrusion. Ce type d'intrusions pegmatitiques est similaire en âge à celui observé dans le secteur de la mine Éléonore.

L’indice Orfée est un exemple de gîtes d’or orogénique encaissé par un assemblage lithologique métamorphisé au faciès des amphibolites et dont la minéralisation semble précipiter dans un milieu réducteur riche en Fe et remobilisée dans des couloirs de cisaillement encaissés dans des mudrocks graphiteux et des formations de fer, ainsi que dans des veinules de quartz dans les dykes dioritiques. Des analyses par ablation laser sur des sulfures associées à l’or seront utiles pour comprendre la mise en place de l’or lors d’un événement précédent à la déformation S_n et au métamorphisme maximale subséquent.

Analyse numérique d'un test d'injection de chaleur et calcul de la conductivité thermique d'un coulis géothermique

Nehed Jaziri[a], Jasmin Raymond[a]

[a]Institut National de la recherche scientifique, Centre Eau Terre Environnement

Pour répondre aux besoins de chauffage et de climatisation des bâtiments, les systèmes de pompes à chaleur géothermique offrent la meilleure efficacité énergétique et une faible consommation d'énergie par rapport aux systèmes conventionnels.

À l'école Carignan Salières sur la rive sud de Montréal, un système géothermique à boucle fermée a été installé dans le but d'assurer le chauffage et la climatisation de la bâtisse construite depuis deux ans. Ce système est formé par 31 puits verticaux, dans lesquels des tuyaux en U faits de polyéthylène haute densité ont été aménagés. Les forages ont été remplis avec du sable d'olivine synthétique au lieu d'un coulis tel que prévu dans les plans de conception. C'est le lessivage du coulis par l'écoulement d'eau souterraine qui a mené l'entrepreneur en forage à remplir les puits avec du sable puisque le premier remplissage n'a pas réussi et que les fines particules de bentonite se sont perdues dans les fractures. Ce changement de conception ainsi que les variations du régime d'écoulement d'eau souterraine pourraient avoir une influence sur les performances du système et les économies d'énergie qu'il engendra. Un test d'injection de chaleur a été réalisé sur l'ensemble du champ de puits géothermique pour calibrer un modèle numérique qui servira à prédire la performance du système.

Ce travail vise à (1) reproduire les résultats du test d'injection de chaleur avec un outil de modélisation appelé HyGCHP, (2) déterminer l'influence du coulis sur la performance des échangeurs de chaleur, (3) effectuer des simulations avec le programme HyGCHP et comparer les réponses thermiques simulées avec les valeurs de conductivité calculées et finalement (4) évaluer la résistance thermique des puits au transfert de chaleur.

Mots clés : Pompes à chaleur géothermique, coulis, HyGCHP, conductivité thermique, résistance thermique.

Métamorphisme régional du nord-est de la Sous-province de Pontiac (Abitibi, Québec)

Nicolas Piette-Lauzière[a], Carl Guilmette[a]

[a] Départment de géologie et de génie géologique, Université Laval

La section nord-est de la Sous-province de Pontiac est caractérisée par une séquence métamorphique de type barrovien (Chl, Bt, Ms, Grt, St, Ky) s'étendant jusqu'à 20 km au sud de la faille Cadillac. Plusieurs études ont décrit qualitativement ces assemblages mais aucune n'ont quantifié de façon absolue l'intensité du gradient métamorphique ainsi que sa relation temporelle avec les épisodes de déformation et la minéralisation de Canadian Malartic.

Six transects d'échantillonnage visant la lithologie dominante, le grauwacke, ont été effectués en collaboration avec le Ministère de l'Énergie et des Ressources Naturelles et le projet CMIC-Footprint dans le secteur de Val d'Or et Malartic. Du nord au sud on observe trois zones métamorphiques principales : La zone à biotite (Bt + Chl ± Ms), grenat (Bt + Grt ± Ms ± Chl) et staurotide (Bt + Grt + St ± Ms ± Chl ± Ky). Dans la zone à biotite, la matrice est peu recristallisée et l'évènement de déformation principal est marqué par un clivage de pression-solution ainsi qu'un alignement discontinu de micas. Dans la zone à grenat, le clivage de pression-solution s'estompe graduellement alors qu'on observe la foliation principale s'intensifier jusqu'à devenir un alignement continu de micas dans la zone à staurotide. La texture du grenat suggère une croissance tardive par rapport à l'épisode de déformation principal. Dans la zone à staurotide, on observe une crénulation de la foliation principale dans les niveaux riches en staurotides. Leur texture hélicitique suggère une croissance synchrone à cette fabrique. Lorsque la crénulation est absente, l'alignement conjoint du patron d'inclusion du staurotide avec la foliation principale suggère une croissance postérieure à l'évènement de déformation principal.

Une modélisation systématique des conditions de pression-température enregistrées par ces assemblages sera faite par thermobarométrie multi-équilibre et par équilibre de phases.

Mots clés : Métamorphisme, Pontiac, Abitibi, Tectonique, Archéen

Caractérisation d'une intrusion mafique-ultramafique litée et métamorphisée, Zone noyau, Province de Churchill Sud-Est, Nunavik

Pierre-Hugues Lamirande[a], François Huot[a], Carl Guilmette[a], Carl Bilodeau[b], David Corrigan[c] et Vicki McNicoll[c]

[a] Université Laval
[b]MERN
[c]CGC

Les levés régionaux du MERN à l'été 2015 ont permis de cartographier une unité intrusive mafique-ultramafique litée et métamorphisée, située à environ 80 km au nord-ouest de Kuujjuaq, dans le Domaine de la Baie-aux-Feuilles (Zone noyau). Cette unité est constituée de deux intrusions principales (13 x 5 km et 5 x 3 km) encaissées dans les gneiss felsiques à intermédiaires du Complexe de Kaslac. L'â ge des intrusions et des gneiss est à déterminer.

La majeure partie des intrusions consiste en un protolithe gabbroï que riche en magnétite dont le métamorphisme a provoqué la croissance de porphyroblastes centimétriques de grenats poeciloblastiques à couronnes de pyroxènes et de hornblendes pouvant atteindre 50 % en proportion modale. Ils sont accompagnés de 10 à 30 % de mobilisat tonalitique, suggérant des conditions de fusion partielle au faciès des granulites. La deuxième lithologie en importance consiste en un métagabbro granoblastique formé d'une alternance de lits primaires décimétriques leucocrates à mélanocrates à texture mouchetée, localement recoupés par des veines mélanocrates boudinées. On observe jusqu'à 25 % de porphyroblastes centimétriques de grenats poeciloblastiques, spatialement associés à du clinopyroxène et de la hornblende. On retrouve localement de fins grenats millimétriques en couronnes autour des minéraux mafiques. Un ensemble comprenant des gabbros, gabbronorites et norites, localement lité et sans grenat, fait également partie de l'intrusion. Les pyroxénites et les péridotites sont des composantes très mineures. Le complexe intrusif est injecté en majeure partie par des roches felsiques à orthopyroxènes et des granitoï des à phénocristaux de feldspaths, formant des niveaux métriques parallélisés et localement des brèches magmatiques dans les différents faciès mafiques.

Le projet a pour objectifs de caractériser les différents faciès cartographiés et de déterminer la nature du métamorphisme, à savoir si certains des assemblages observés résultent d'un métasomatisme précoce. Pour ce faire, une étude pétrographique détaillée (paragenèses, associations minérales, réactions et cartes compositionnelles) sera réalisée. Une étude lithogéochimique, des calculs géothermobarométriques et des datations (U-Pb sur zircons et Lu- Hf sur grenats) complèteront les observations. Ultimement, nous proposerons un cadre géodynamique de mise en place pour définir si l'intrusion constitue la racine d'un ancien arc magmatique ou est plutô t associée à un évènement d'extension crustale précambrien.

Évaluation préliminaire du potentiel géothermique du Volcan Nevado del Ruiz à partir de mesures des propriétés thermiques des roches en laboratoire

Maria Isabel Velez Marquez[a], Jasmin Raymond[a], Daniela Blessent[b], Idalia Jacqueline López Sánchez[b].

[a]Institut National de la recherche scientifique, Centre Eau Terre Environnement.
[b] Faculté d'ingénierie, Universidad de Medellín

La présente étude a pour but d'évaluer le potentiel géothermique du Volcan Nevado del Ruiz en Co- lombie selon la détermination des propriétés thermiques du roc échantillonné en affleurements et d'estimer la température en profondeur en considérant les variations topographiques.

Le Nevado del Ruiz est un stratovolcan actif situé au parc national naturel Los Nevados, entre les départements de Caldas et de Tolima. L'évaluation des ressources géothermiques de cette région a débuté en 1968 avec des travaux d'exploration géologique à l'échelle régionale. En 1983, une étude de préfaisabilité a permis de localiser une zone d'intérê t au sud-ouest du volcan, à cause de la pré- sence des centres d'activités volcaniques (Santa Isabel, El Cisne et Ruiz) et de fumerolles avec des températures supérieures à 83 °C. À la fin des années 1990, le potentiel géothermique du volcan a été estimé à 50 MWe. Par contre, la faç on de déterminer ce potentiel n'a pas été décrite.

Les études plus récentes concernent l'altération hydrothermale, les caractéristiques cinématiques des failles, l'évolution géochimique et thermique du volcan, et les profils de résistivité électrique. Néanmoins, il n'y a pas d'études publiées sur les propriétés thermiques des roches et l'estimation de la température; ces données permettraient de mieux quantifier le potentiel géothermique.

Les travaux réalisés dans le cadre de notre étude ont permis d'évaluer les propriétés thermiques de 62 échantillons de roches. La conductivité thermique a été mesurée avec une sonde à aiguille et la capacité thermique a été estimée selon le type de roche. Ces propriétés thermiques couplées aux va- leurs de gradient géothermique ont permis d'estimer le flux de chaleur et la température en profon- deur en considérant l'influence de la topographie.

Une première approche pour l'estimation de la température en profondeur, représente l'étape ini- tiale dans la construction d'un modèle conceptuel pour le réservoir géothermique du Nevado del Ruiz.

Mots clés: Propriétés thermiques, potentiel géothermique, Nevado del Ruiz, correction topographique.

Evaluation of thermal proprieties of SLL sedimentary basin: measurements in laboratory and well logs approach

Maher Nasr[a], Jasmin Raymond[a] et Michel Malo[a]

[a]Institut National de la recherche scientifique, Centre Eau Terre Environnement

Une évaluation des propriétés thermiques du bassin sédimentaire des Basses-terres du Saint-Laurent a été réalisée. Cette caractérisation vise l'évaluation de la température du sous-sol pour la recherche d'un site propice afin d'implanter un projet pilote destiné à la production de l'électricité à partir des ressources géothermiques profondes. Les propriétés thermiques ciblées sont la conductivité et la capacité thermiques. Des méthodes directes et d'autres indirectes ont été utilisées pour estimer ces paramètres.

Dans une première étape, les caractéristiques thermiques de ce bassin ont été évaluées sur des échantillons de surface. Quarante-cinq échantillons issus des différentes formations géologiques ont été analysés. Des mesures directes de la conductivité thermique ont été réalisées en laboratoire à l'aide d'une sonde à aiguille. La capacité thermique a été estimée avec des observations microscopiques. On a calculé ensuite les propriétés thermiques moyennes pour chaque unité du bassin.

Dans une seconde étape, des profils de conductivité thermique ont été déterminés à partir des enregistrements diagraphiques. L'objectif de cette méthode indirecte est de réduire l'incertitude liée à l'estimation de ce paramètre. Deux approches ont été appliquées et des corrections de pression ainsi que de température ont été apportées aux profils de conductivité thermique. La résolution de l'équation de chaleur (Poisson) par différences finies a finalement permis d'évaluer la densité de flux de chaleur terrestre et un profil de température pour chaque puits.

Les résultats démontrent que les formations argileuses des groupes d'Utica et de Sainte-Rosalie sont les plus isolantes, avec une conductivité thermique de l'ordre de 2.5 W/(m K) et une capacité thermique massique de près de 850 J/(kg K). En revanche, les formations gréseuses se présentent comme les unités les plus conductrices de chaleur. Les grès de Potsdam par exemple montrent une conductivité thermique allant jusqu'à 6 W/(m K) et une chaleur massique de 730 J/(kg K).

La carte du flux de chaleur préparée montre des estimations allant de 40 mW/m^2 à 140 mW/m^2. Les valeurs élevées pour la température, soit près de 170 ºC à 5 km de profondeur, sont observées entre la faille Logan et le fleuve Saint-Laurent. Certaines valeurs élevées sont situées près de la faille Logan coïncides avec d'épaisses couches gréseuses isolantes qui augmentent le gradient géothermique.

Mots clés : Géothermie, Diagraphie, Bassin des BTSL, Inversion.

Presence of laminated sediments in relation to depth: An evaluation of three fjord-like lakes in the Québec North Shore

Obinna Nzekwe[a, d], Pierre Francus[a, d], Guillaume St-Onge[b, d], Patrick Lajeunesse[c, d], Jean-Philippe Jenny[a, d], Antoine Gagnon-Poiré[c, d]

[a]Institut National de la recherche scientifique, Centre Eau Terre Environnement
[b]Institut des sciences de la mer de Rimouski (ISMER), Université du Québec à Rimouski
[c]Centre d'études nordiques, Département de géographie, Université Laval
[d]Geotop, Montréal

Within the North Shore region of Québec, three lakes (Lakes Walker, Pentecôte and Pasteur) are under study for the possible occurrence of annually laminated (varved) sediments. These lakes were selected based on previous studies that were aimed at investigating hydrological and climatic changes of the last 1000 years in northern Québec using natural indicators including trees rings, carbon isotopes and laminated sediments. At present, the latter has not been fully exploited yet.

The objectives of this study are to: (i) identify the sedimentary facies, (ii) gain understanding of paleolimnological conditions that influence the deposition of laminated sediments in the lakes, and (iii) evaluate the relationship between the presence of laminated sediments and lake morphometry through the application of heuristics, namely: relative depth (Z_r), critical boundary (Zm_1), critical depth (Zm_d) and critical maximum depth (Zm_m).

Facies analysis based on lithological description, Ct-scan images and bathymetric data allowed for the identification of laminated- and massive lake sediments. Lake Walker is characterized by laminated lake sediment facies and relatively thin intervals of partially laminated hemipelagic mud facies and homogenous mud facies. Image analysis of thin-sections correlated with radiometric dating (^{210}Pb, ^{137}Cs) suggests that the laminated interval in Lake Walker comprises between 2 to 6 m of varved sediments (with floating chronology at present). Sediment cores from Lake Pasteur are characterized by massive lake sediment facies comprising hemipelagic mud and homogenous mud (in higher proportions) and partially to well-laminated sediments that appear to be bottom-laminated with increasingly depth. However, there is insufficient evidence to suggest that Lake Pentecôte may contain varved sediments. So far, hemipelagic mud facies and homogenous mud facies have been identified and characterized, and will be presented in this poster.

Mots clés: limnogeology, sedimentary structures, laminations, CT-scan, Québec North Shore

Fractionnement des isotopes du fer dans les sédiments de l'océan arctique

Alexandre Royer-Lavallée[a], Charles Gobeil[a], André Poirier[b]

[a] nstitut National de la recherche scientifique, Centre Eau Terre Environnement
[b]GÉOTOP, UQÀM

Des études récentes suggèrent que la composition isotopique du Fe puisse contribuer à révéler les sources et les puits de cet élément dans l'océan. À ce jour, cependant, aucune recherche de ce type n'a été réalisée dans l'océan polaire où le réchauffement planétaire affecte plus intensément qu'ailleurs les cycles biogéochimiques.
Ce projet vise ultimement à déterminer si les sédiments de la marge continentale arctique sont une source de Fe réactif pour l'océan Arctique abyssal. Pour ce faire, nous déterminons les profils de la concentration et de la composition isotopique du Fe total, du Fe réactif (extrait avec HCl 1 M) et du Fe associé à la pyrite dans des carottes de sédiments prélevées à des profondeurs variant entre 50 m et 3000 m dans l'océan Arctique.
Nous présenterons ici nos résultats préliminaires. Nous ferons notamment ressortir que les sédiments abyssaux (>2000 m) sont caractérisés par des teneurs et des inventaires élevés en Fe réactif nettement enrichi en ^{54}Fe par rapport au Fe total. Ces résultats seront en outre comparés à ceux obtenus pour les sédiments de la marge continentale arctique (<500 m). Leur contribution potentielle à la compréhension du cycle du Fe dans l'océan Arctique sera évaluée.

Mots clés : Isotopes stables du fer, sédiments marin, océan Arctique