



# GÉOSCOPE

LE JOURNAL D'INFORMATION DU DÉPARTEMENT DE GÉOLOGIE ET DE GÉNIE GÉOLOGIQUE DE L'UNIVERSITÉ LAVAL

Vol. 6 n° 7

[www.ggl.ulaval.ca](http://www.ggl.ulaval.ca)

12 Mai 2005

## Mot du directeur



Voici (déjà) le dernier numéro du Géoscope de l'année universitaire 2004-2005.

Le 1er Forum des Sciences de la Terre et de l'environnement tenu dans le cadre du Jour de la Terre le 22 avril dernier a connu un franc succès. Plus de 125 personnes ont fréquenté les kiosques, assisté à la conférence grand public de Pierre-André Bourque et à la table ronde qui a suivi. Les partenaires organisateurs (GGL- INRS-ETE, CGC, GGR-CEN, SCG, MRNF, AMQ, AEMQ, GÉOIDE) se sont montrés très satisfaits de cette première expérience et déjà on pense à une 2<sup>ième</sup> édition l'an prochain. Un compte-rendu est disponible dans le Fil des Événements du jeudi 28 avril en page 3. Venant de France, une demande d'abonnement nous est parvenue hier! Notre journal en plus d'être mentionné comme source de documentation géologique dans le magazine des TGV français, est de plus en plus lu. Raison de plus pour y contribuer!

Une première historique: une mosaïque illustrant les finissantes et les finissants de 2004-2005 a été créée. Celle-ci sera installée bien en vue dans le corridor du département. J'espère qu'une tradition est née! Le journal de promotion peut être consulté au secrétariat. Ne manquez pas de communiquer vos nouvelles dès septembre 2005. Votre journal électronique pourra recevoir vos contributions tout l'été à la même adresse [journal@ggl.ulaval.ca](mailto:journal@ggl.ulaval.ca). Compte-rendus de mission ou de conférence, publications récentes, tout nous intéresse.

À très bientôt et j'aurai une pensée pour vous, chers lecteurs, sur le toit du monde en mai et juin prochains.

Merci et bonne lecture

Réjean Hébert, directeur

## Agenda

### Activités passées :

**13 Avril :** Conférence de M. Réjean Couture, de la CGC : *Les glissements de terrain au Canada*. Université Laval, Pavillon Adrien-Pouliot, local 4118, 14h00

**14 Avril :** Conférence de M. Nué Villaplana *Les éboulements dans les Pyrénées Catalanes*. Université Laval, Pavillon Adrien-Pouliot, local 4118, 12h30

**22 Avril :** Jour de la Terre, Pavillon Dersjardins

**29 Avril :** Séminaire de maîtrise de Catherine Savard, Université Laval, Pavillon Adrien-Pouliot, local 4118, 11h30

- Séminaire de maîtrise de Thomas Côté, Université Laval, Pavillon Adrien-Pouliot, local 4118, 12h30

**3 Mai :** Défense de thèse de Isabelle Doye, Université Laval, Pavillon Adrien-Pouliot, local 3370, 09h00

## Soutenance de thèse

### Évaluation de la capacité de matériaux industriels alcalins à neutraliser des résidus miniers acides

Par : Isabelle Doye

Sous la direction de : Josée Duchesne

Le 3 Mai 2005  
Université Laval, Pavillon Adrien-Pouliot  
Local 3370, 09h00

Le drainage minier acide constitue un problème d'une importance majeure pour l'industrie minière. Au Canada, les exploitations minières sont maintenant tenues depuis quelques temps de restaurer et de réhabiliter les aires d'accumulation de résidus miniers et de stériles après cessation des activités.

Actuellement, il existe très peu de solutions éprouvées en vue de prévenir et / ou de contrôler le drainage minier acide dans une halde à stériles. Cependant, il existe quelques méthodes prometteuses d'empilement des stériles avec des matériaux fins telles que la co-disposition, l'entremêlement par couches et l'encapsulation (couvertures supérieure et inférieure). Ces méthodes sont basées sur l'utilisation de matériaux fins disposés en couche jouant le rôle de barrières capillaires qui doivent demeurer saturées même en période de sécheresse, de manière à diminuer la diffusion de l'oxygène et ralentir le mouvement de convection thermique de l'air. Ces couches peuvent être constituées de résidus miniers, disponibles en grande quantité sur place. Ces résidus eux-mêmes générateurs d'acidité, peuvent être neutralisés par des résidus industriels fins et basiques tels que les poussières de four de cimenterie et des boues rouges d'aluminerie.

Afin de vérifier l'efficacité de la technique de mélange proposée, des essais en conditions statiques (batch) et en condi-

tions dynamiques (colonnes) ont été poursuivis en laboratoire. Les résultats obtenus en batch avec des résidus se voulant représentatifs ont mis en évidence le pourcentage minimum (10% en poids) requis en ajout alcalin pour obtenir une neutralisation efficace. Ils ont aussi permis de documenter les interactions chimiques entre les différents matériaux. Les essais en colonnes ont permis d'observer le comportement hydrogéochimique engendré par les différentes dispositions de matériaux fins et de stériles. Ainsi, une couche de matériaux fins disposée sous des stériles offrira une meilleure neutralisation à court terme, tandis qu'une couche disposée au-dessus offrira une meilleure neutralisation à long terme. La co-disposition des matériaux ne permet quant à elle qu'une neutralisation limitée dans le temps. Enfin, une extraction séquentielle a permis de s'assurer de la bonne fixation des métaux.

## Séminaire de Maîtrise

# Imagerie électrique de la sous-fondation pergélisolée des pistes d'atterrissage au Nunavik

Par : **Catherine Savard**

Sous la direction de : Richard Fortier

et la co-direction de : Michel Allard

Le 29 Avril 2005

Université Laval, Pavillon Adrien-Pouliot

Local 4118, 11h30

Le réchauffement climatique de 3 à 4 °C qui s'est produit au Nunavik durant la dernière décennie a eu des répercussions majeures sur certaines infrastructures nordiques dont notamment les pistes d'atterrissage construites sur le pergélisol. En effet, des déformations reliées au tassement au dégel du pergélisol ont été observées récemment sur plusieurs pistes du Nunavik. Pour comprendre la cause exacte de ces déformations, trouver des solutions à cette détérioration prématurée des pistes d'atterrissage et proposer des stratégies d'adaptation aux changements climatiques, il est fondamental de connaître les conditions du pergélisol sous ces pistes. Afin de répondre à cette problématique, une méthode d'imagerie électrique appelée méthode de profilage de résistivité électrique couplée capacitivement a été utilisée à l'été 2004 pour caractériser les conditions du pergélisol sous les pistes d'atterrissages d'Aupaluq, de Kangirsuk, de Quaqtac et de Tasiujak en Ungava. Il s'agit d'une méthode géophysique d'auscultation non destructive des milieux physiques qui ne nécessite pas de contact galvanique avec le sol. En effet, le courant électrique est injecté dans le sol à l'aide d'un couplage capacitif entre le dipôle de l'émetteur et le sol alors que le potentiel électrique induit est aussi mesuré capacitivement avec le dipôle du receveur. La fréquence du signal émis par l'émetteur varie entre 8 et 32 kHz. Étant donné qu'aucun contact avec le sol n'est nécessaire, le dispositif peut être tiré à la surface du sol lors d'un levé ce qui assure un bon taux d'acquisition de données. En faisant varier la longueur des dipôles et la distance de séparation entre les dipôles de l'émetteur et du receveur, la profondeur de pénétration du courant électrique est

plus ou moins importante et le potentiel électrique induit est alors caractéristique de la conductivité électrique des couches plus ou moins profondes. Suite à un levé, le résultat final est une pseudo-section de résistivité électrique apparente; une image en coupe du sous-sol étudié des variations de la résistivité électrique apparente le long du levé et en profondeur. Par un processus d'inversion effectué à l'aide du logiciel RES2DINV, un modèle terrestre de résistivité électrique, ou image électrique, peut être obtenu de la pseudo-section précédente. L'interprétation de ce modèle de résistivité électrique permet ensuite d'inférer les conditions physiques qui prévalent dans le sous-sol.

L'image électrique obtenue pour la piste de Tasiujaq présente non seulement des variations en profondeur de la résistivité électrique mais aussi des variations latérales majeures alors que, selon une coupe stratigraphique décrite le long de la rivière Bérard tout près de la piste, il ne devrait pas y avoir de changement latéral notable. En outre, les zones de faible résistivité électrique sous la piste correspondent à des tassements importants de sa surface. Cette faible résistivité électrique est indicatrice d'un milieu dégelé. Cependant, le pergélisol est encore présent sous la piste puisque la température du sol était de l'ordre de -2 °C à une profondeur de 5 m en juillet 2004. Le sous-sol au droit des zones de tassement est ainsi cryotique mais dégelé parce que la salinité de l'eau interstitielle mesurée sur certains échantillons de sol récupérés à l'été 2004 abaisse le point de congélation. En plus du réchauffement climatique récent, la présence d'eau en bordure de la piste dans les dépressions et une accumulation de neige plus importante près des zones de tassement favorisent le réchauffement du pergélisol et l'atteinte d'un état critique en température où le pergélisol commence à fondre et à tasser au dégel avant même d'atteindre 0 °C. Des tassements pourraient éventuellement se produire dans les parties intactes de la piste si le réchauffement climatique devait se poursuivre.

Près de la moitié de la partie nord de la piste d'atterrissage de Quaqtac est construite sur le socle rocheux d'une résistivité électrique d'environ 4000 ohm-m. L'image électrique obtenue montre une zone de résistivité électrique plus faible au centre de la piste. Ce secteur est une zone en déblai excavée dans une butte cryogène. Le milieu est composé d'un sable fin limono-argileux. Dans la section sud de la piste, l'image électrique présente une résistivité électrique élevée dans les deux premiers mètres sous le remblai puis une résistivité électrique plus faible en profondeur. La résistivité électrique élevée est représentative d'un sable grossier non gélif et se retrouve vraisemblablement sur une unité de granulométrie fine caractérisée par une faible résistivité électrique. Le profil de température montre que le mollisol a atteint le sable fin dans la zone en déblai causant des tassements. Si le réchauffement climatique se poursuit, d'autres tassements pourraient éventuellement être observés dans cette partie de la piste. La partie sud de la piste pourrait également connaître des tassements si le mollisol atteignait l'unité de sable plus fin.

Le traitement et l'interprétation des levés effectués sur les pistes d'Aupaluq et de Kangirsuk sont en cours.

\*\*\*\*\*

# Gestion des ouvrages en béton affectés de RAS : Contribution à la détermination de l'expansion atteinte à ce jour et de l'expansion résiduelle à venir

Par : **Thomas Côté**

Sous la direction de : Marc-André Bérubé

et la co-direction de : Benoit Fournier

Le 29 Avril 2005

Université Laval, Pavillon Adrien-Pouliot

Local 4118, 12h30

Au Québec, de nombreux ouvrages en béton sont affectés par la réaction alcalis-silice (RAS), combinée ou non avec d'autres phénomènes de dégradation comme les cycles de gel/dégel et la sulfatation. Lors de l'évaluation d'un ouvrage affecté de RAS, il faut effectuer une diagnose (état actuel) et une prognose (futur) afin de procéder à une intervention optimale. Il est donc primordial de déterminer (1), l'expansion déjà atteinte à ce jour par le béton, ceci afin de déterminer l'état structural actuel de l'ouvrage, mais aussi (2), l'expansion résiduelle qui reste à venir, ceci afin de prévoir le comportement futur de l'ouvrage et d'intervenir en conséquence.

## Expansion atteinte

Certaines méthodes ont été proposées afin d'estimer l'expansion atteinte dont l'endommagement interne mesuré via le DRI («Damage Rating Index») et l'essai de fatigue SDT («Stiffness Damage Test»). Endommagement interne DRI : Cette méthode, proposée par Grattan-Bellew et Danay (1992), est basée sur la détermination de l'endommagement interne du béton, lequel prend en compte plusieurs paramètres dont l'ampleur de la microfissuration interne et l'abondance des produits de la RAS.

Essai de fatigue SDT : Il s'agit d'un essai de chargement cyclique proposé par Crisp et al. (1989, 1993). Les travaux de Smaoui (2003) ont permis de déterminer que l'expansion atteinte à ce jour par le béton affecté de RAS pouvait être estimée à partir de l'énergie dissipée lors du premier cycle de chargement/déchargement à 10 MPa ou de la déformation plastique cumulée après 5 de ces cycles.

Dans le cadre de ses travaux de doctorat, Smaoui (2003) a étudié ces deux méthodes. Il en a conclu que l'essai SDT est particulièrement intéressant pour évaluer l'expansion atteinte à ce jour par un béton en service affecté de RAS, mais plusieurs paramètres n'ont pas encore été étudiés jusqu'ici, tels le diamètre des carottes, la présence ou non d'air entraîné, le rapport eau/ciment, la conservation des échantillons en attente des essais (séchage ± réhumidification, gel), et l'influence d'autres mécanismes fissurant comme le gel et la sulfatation. Le premier volet du projet de maîtrise a pour but de poursuivre les travaux de M. Smaoui relativement aux méthodes de DRI et de SDT notamment par l'étude des paramètres précédents. Des éprouvettes ayant atteint différents ni-

veaux d'expansion après avoir été soumis à l'action de la RAS, du gel ou de la sulfatation sont présentement en voie d'être testés (essai DRI) ou le seront dès que l'équipement approprié sera opérationnel (essai SDT).

## Expansion résiduelle

Une méthode utilisée afin d'évaluer l'expansion résiduelle du béton associée à la RAS est d'effectuer un essai d'expansion dans l'air à 100% HR et 38°C sur des carottes prélevées dans l'ouvrage en cause. Cette méthode a l'avantage d'être relativement peu coûteuse et fournit des informations dans un délai convenable de un à deux ans. Toutefois, dans les conditions de l'essai, les éprouvettes sont progressivement lessivées de leurs alcalis par l'action du ruissellement de l'eau condensée sur leurs surfaces. Cette diminution d'alcalis disponibles pour la RAS entraîne un plafonnement de l'expansion mesurée, faute de réactant, sous estimant d'autant le véritable potentiel d'expansion résiduelle que risque de prendre en service le béton testé. Plusieurs paramètres peuvent faire varier l'importance du lessivage des éprouvettes testées, dont le diamètre des carottes, la perméabilité du béton (rapport eau/ciment) et le rapport air/béton dans les contenants, mais ce lessivage est aussi fortement influencé par les conditions de conservation des éprouvettes, que l'on pourrait éventuellement protéger de différentes manières.

L'objectif principal de ce second volet du projet de maîtrise est de déterminer l'influence de divers paramètres sur le lessivage des alcalis des éprouvettes testées, et d'identifier les conditions permettant de réduire ce lessivage tout en permettant une expansion maximale, et ce, dans un délai raisonnable de moins de 2 ans. Les différents paramètres compositionnels étudiés sont : l'effet du rapport eau/ciment (perméabilité), le contenu en alcalis et le type d'alcalis (ciment enrichi de NaOH vs ciment haute teneur, Na<sub>2</sub>O vs K<sub>2</sub>O), et le type de granulat. Les différents paramètres physiques étudiés sont : l'état de la surface des éprouvettes (forcée vs moulée), le diamètre des éprouvettes, le rapport air/ béton dans les contenants et différentes mesures de protection contre le lessivage (sac de recouvrement, scellant, pellicule d'aluminium ou aucune protection).

Les résultats obtenus indiquent ce qui suit. Un rapport eau/ciment plus faible (0,4 vs. 0,5) génère des expansions plus élevées pour le granulat volcanique du Nouveau-Mexique, mais aucune différence pour le calcaire de Québec. Ce paramètre n'influence toutefois presque pas le lessivage d'alcalis. Les éprouvettes enrichies en NaOH atteignent une expansion beaucoup plus élevée que celles non enrichies mais de même contenu total en alcalis. Leur comportement est tout à fait similaire pour le lessivage. Le sodium est légèrement plus lessivé que le potassium sauf pour le granulat non réactif de contrôle (calcaire de Limeridge). Les cylindres (surface moulée) de béton fabriqués avec le granulat volcanique du Nouveau-Mexique atteignent une expansion plus élevée que les carottes correspondantes (surface forcée), ces dernières étant plus fortement lessivées, mais aucune différence significative en expansion et en lessivage n'a été observée entre les cylindres et les carottes fabriquées avec le calcaire de Québec. Les échantillons de plus faible diamètre présentent un lessivage plus important et moins d'expansion. Lorsque le rapport des volumes air/béton est élevé, l'expansion est moindre et le lessivage plus élevé. Concernant les différentes mesures de protection étudiées, l'application d'un scellant à base de silane diminue l'expansion de façon considérable et

augmente le lessivage par rapport aux conditions habituelles (aucune protection). La pellicule d'aluminium réduit considérablement le lessivage et l'expansion est élevée pour les éprouvettes fabriquées avec le calcaire de Québec et les cylindres fabriqués avec le granulat du Nouveau-Mexique mais reste très faible pour les carottes fabriquées avec ce dernier. Le coiffage des éprouvettes avec un sac de pellicule plastique s'avère la méthode qui atteint le mieux les objectifs fixés, soit une expansion maximum dans un délai raisonnable de moins de deux ans.

## Projets de Fin d'Études

### 20 Avril, 4118

08:30 - 08:50

**Mélanie Filion**, sous la supervision de François Anctil,  
*Potentialité de réseaux de neurones pour simuler la qualité de l'eau à l'extérieur d'un bassin versant.*

08:50 - 09:10

**Alexandre Pratte**, sous la supervision de Miro Nastev  
*Étude hydrogéologique régionale du bassin versant de la rivière Chaudière.*

09:10 - 09:30

**J.-F. St.-Laurent**, sous la supervision de Jean-Marie Konrad  
*Détermination des caractéristiques d'injection pour obtenir un panache de dimensions prédéterminées.*

### **09:30 - 09:40 Pause Café**

09:40 - 10:00

**Cindy Perreault**, sous la supervision de Guy Doré  
*Dimensionnement de chaussée routière à l'aide de la modélisation.*

10:00 - 10:20

**Ariane Locat**, sous la supervision de Serge Leroueil  
*Étude comparative des matériaux sources et des débris du glissement de Pointe-de-Foid, Saguenay, Québec.*

10:20 - 10:40

**Jean Daniel Blouin**, sous la supervision de Daniel Cassidy  
*Évaluation de l'oxydation des contaminations de sol par des poudres oxydantes.*

10:40 - 11:00

**M.-C. Bergeron**, sous la supervision de Paul Glover  
*Mesure de l'effet des LNAPLs sur les propriétés électriques des sols pollués et bioremédiation de sols pollués observée par la spectroscopie d'impédance.*

### 22 Avril, 4118

08:50 - 09:10

**Nicolas Pépin**, sous la supervision de Denis Leboeuf  
*Étude du potentiel de liquéfaction d'une série de forages entourant la région de Québec.*

09:10 - 09:30

**Alexandre Gosselin**, sous la supervision de Guy Doré

*Sauvegarde du pergélisol.*

### **09:30 - 09:40 Pause café**

09:40 - 10:00

**Stéphane Paradis**, sous la supervision de J. Locat & D. Demers  
*Caractérisation géomorphologique de talus avant une coulée argileuse d'envergure.*

10:00 - 10:20

**D. Tilmatine**, sous la supervision de R. Hébert & M. Constantin  
*Caractérisation géochimique de la zone de suture Yarlung Zangbo, Tibet.*

10:20 - 10:40

**F. Larivière**, sous la supervision de R. Hébert & M. Constantin  
*Pétrologie d'une suite de roches magmatiques de la Formation Xiukang, sud Tibet.*

### **10:40 - 10:50 Pause café**

10:50 - 11:10

**Danny Chamberland**, sous la supervision de Georges Beaudoin  
*Métallogénie de la propriété Butterfly, Manitoba.*

11:10 - 11:30

**Rémi Fiola**, sous la supervision de D. Kirkwood & G. Beaudoin  
*Bilan d'un siècle de séquestration naturelle du carbone dans les parcs de résidus des mines de chrysotile.*

### 25 Avril, 4118

15:30 - 15:50

**Sylvie Leduc**, sous la supervision de Pierre Gélinas  
*Contamination de réseaux de puits de distribution d'eau potable dans des régions agricoles.*

15:50 - 16:10

**M. Rochefort**, sous la supervision de R. Galvez-Cloutier & Parent  
*Hydrogéologie du Lac St-Augustin.*

16:10 - 16:30

**Julie Therrien**, sous la supervision de Didier Perret  
*Caractérisation des conditions météorologiques ayant précédé la survenance de glissements de terrain.*

### 27 Avril, 4118

10:00 - 10:20

**P.-P. Levasseur**, sous la supervision de Serge Leroueil  
*Implications pratiques de l'influence de la chimie de l'eau dans les dépôts de sol.*

10:20 - 10:40

**Geneviève Parent**, sous la supervision de Richard Martel  
*Évaluation de la capacité d'amendements naturels à réduire la mobilité des métaux lourds (Cd, Cu, Pb et Zn) dans des sols d'un champ de grenade et d'une butte de tir de la Base Militaire de Shilo au Manitoba.*

10:40 - 11:00

**Nicolas Audet**, sous la supervision de Richard Martel  
*Évaluation de la capacité d'amendements naturels à réduire la mobilité des métaux lourds.*

11:00 - 11:20

**Eric Cyr**, sous la supervision de Donna Kirkwood  
*Modélisation géologique et analyse spatiale sur plate-forme 3D de la fracturation de l'aquifère de la Loring Air Force Base.*

**11:20 - 11:30 Pause café**

11:30 - 11:50

**M.-C. Poulin-Talbot**, sous la supervision de René Therrien  
*Application d'une méthode analytique de cartographie de la vulnérabilité intrinsèque élaborée à l'Université de Liege à la région de Portneuf, Québec.*

11:50 - 12:10

**Mélanie Lavoie**, sous la supervision de René Therrien  
*Caractérisation des propriétés physiques d'une croûte argileuse superficielle et préparation d'une planche d'essais*

12:10 - 12:30

**Daniel Lemaire**, sous la supervision de René Therrien  
*Recherche et analyse des possibilités offertes d'un scanner pour la caractérisation de la fracturation de l'argile dans la croûte superficielle.*

## Excursions Chutes Montmorency



Pour une huitième année consécutive, le département de géologie et de génie géologique organisera en mai 2005 une série de visites géologiques guidées au Parc de la chute Montmorency s'adressant aux classes des écoles primaires et secondaires de la région de la capitale nationale. Des lettres publicitaires ont été envoyées en septembre 2004 à toutes ces écoles et nous accueillerons près de 1 100 jeunes du primaire et du secondaire en

mai prochain, soit un record d'inscription pour ce projet initié en 1996 par Donna Kirkwood.

En huit ans, près de 5 000 jeunes auront ainsi foulé les sentiers de ce parc à la recherche de fossiles de 465 millions d'années ! Souhaitons que cette initiative en incitera plusieurs à entreprendre des carrières en sciences de la Terre dans quelques années !

Cinq guides-étudiant(e)s ont été recrutés cette année pour faire ces visites. Ces étudiants ont tous fréquenté ce site en septembre 2004 dans le cadre du cours Introduction aux sciences de la Terre. Ces guides sont Tania Doucet, Francis O'Brien et Yanick Tremblay du département de géologie et de génie géologique et Marie-Eve Larouche et Martin Sirois du département de géographie.

André Lévesque

## Bourses

Félicitations à

**Marie-Catherine Poulin-Talbot**

et

**Maude Giasson**

qui se voient attribuée une bourse FQRNT en Sciences de la Terre

et à

**Patrick Mercier**

qui se mérite la bourse Luc Chauvin

## Rayonnement



Chers collègues,

Je vous invite à lire le Fil des événements de cette semaine où le PFE de Rémi Fiola fait la 1ere page.

<http://www.scom.ulaval.ca/Au.fil.des.evenements/2005/04.28/fiola.html>

Cordialement,  
Georges Beaudoin, Géo. Ph.D.

\*\*\*\*\*

## Young Scientist Award de la SGA

Félicitations à Alexandre Raphael Cabral, récipiendaire du prix "Young Scientist Award" de la SGA (Société de géologie appliquée aux gîtes minéraux) pour l'année 2005.

Le prix "Young Scientist Award" de la SGA est remis à un jeune chercheur pour ses travaux publiés avant l'âge de 35 ans. Il vise à reconnaître la contribution exceptionnelle d'un jeune chercheur dans le domaine de la géologie économique. Alexandre recevra son prix lors de la cérémonie d'ouverture du congrès biennal de la SGA en août 2005 à Beijing.

Alexandre reçoit ce prix pour la qualité exceptionnelle de ces travaux de recherche sur les minéralisations à or-palladium du Brésil. Ces travaux documentent avec précision les relations géologiques qui sont appuyées par une variété de méthodes analytiques. Il propose que l'enrichissement en palladium et or est associé avec des saumures oxydantes de basse température, un environnement atypique pour l'enrichissement en métaux précieux. Avec 18 articles dans des revues internationales comme Economic Geology et The Canadian Mineralogist, Alexandre démontre une production scientifique prolifique.

Alexandre poursuit ses travaux de recherche dans le cadre d'un stage post-doctoral financé par le projet DIVEX: Diversification de l'exploration minérale au Québec. Dans le cadre de ce projet, il étudie les minéralisation de Cu-Ag dans les roches volcaniques et sédimentaires des Appalaches.

## Le nickel : ses gisements, son économie et ses utilisations

Luc Laperrière

Le nickel est le 23ème élément le plus abondant dans la croûte terrestre. Il est principalement exploité à partir des gisements Ni-Cu-EGP magmatiques, contenant les minerais sulfurés qui représentent près de 65% de la production mondiale, mais également à partir des gisements de minerais oxydés. Malgré que le nickel soit considéré comme l'un des éléments primordiaux dans plusieurs domaines de l'économie, il est principalement utilisé pour la fabrication d'alliages métalliques. De par son importance, le nickel fait donc l'objet d'une demande grandissante à travers le monde depuis plus d'un demi-siècle avec l'accroissement de l'économie des pays en voie de développement. L'objectif de cet article, s'inscrivant dans le cadre du cours Sujets Spéciaux, est donc de présenter un sommaire des types de gisements auxquels est relié le nickel, mais également tracer le portrait des marchés économiques mondiaux du nickel.

### Classification des gisements (Classification de Naldrett, 2004)

Les gisements de Ni-Cu-EGP peuvent être séparés en deux groupes majeurs. Cette distinction, proposée par J. Naldrett (Naldrett, 2004), est principalement basée sur les métaux qui se retrouvent majoritairement dans les différents gisements. Le premier groupe, issu de cette division, regroupe les gisements riches en nickel-cuivre et pauvres en EGP. Dans ce type de gisement, le nickel est le principal métal recherché et le cuivre (dans certaines minéralisations, le cuivre est plus important que le nickel), les EGP, l'or et l'argent font partie des métaux secondaires qui peuvent être récupérés. Noril'sk et Voisey's Bay représentent des exemples typiques de ce groupe. Le second groupe est constitué des gisements riches en EGP, mais pauvres en nickel-cuivre. Le Bushveld représente bien ce type de gisement.

Toujours selon Naldrett (Naldrett, 2004), cette première division peut elle-même être subdivisée en sous-groupes. Cette sous-division est alors fonction de la composition de l'intrusion à laquelle le gisement est associé et à l'environnement géodynamique. Selon ces critères, les gisements riches en Ni-Cu se subdivisent en 6 classes. Il s'agit des gisements associés aux komatiites, aux basaltes en plateau, aux ferropicrites, aux anorthosites-granite-troctolites, aux picrides-tholeiites et aux impacts météoritiques. Tout comme les gisements riches en Ni-Cu, les gisements caractérisés par d'importantes concentrations en EGP se subdivisent en 6 classes. Cette sous-division ne sera pas abordée plus en détail dans le cadre de cet article.

### Principaux gisements

La production de nickel provient de deux types de minerais, les minerais sulfurés qui représentent près de 65% de la production mondiale et les minerais oxydés. La pentlandite (34% de nickel), la pyrrhotite (6% de nickel), la pyrite et la chalcopryrite (entre 2,5 et 5% de nickel) sont les quatre sortes principales de minerai sulfuré. Ces minerais sont essentiellement présents en

Australie, en Russie, en Chine, en Afrique du Sud, en Finlande, aux États-Unis et au Canada. Les minerais oxydés quant à eux, sont souvent exploités en surface, dans des mines à ciel ouvert. La principale source d'extraction de ce type de minerai se situe en Nouvelle-Calédonie où elle apparaît sous la forme de Garniérite (concentration en nickel entre 3 et 5%).

L'importance relative des plus imposants camps miniers et gisements est présentée à la figure 1. Les camps miniers de Noril'sk et de Sudbury dominent, par leur tonnage et leur concentration en nickel, tous les autres camps et gisements. Leur tonnage est respectivement de  $1309.3 \times 10^6$  tonnes et de  $1648.0 \times 10^6$  tonnes avec un pourcentage de nickel de 1.77 wt% et 1.20 wt%. Le gisement de Duluth représente également une source majeure de nickel avec ses  $4000.0 \times 10^6$  tonnes, mais les faibles teneurs (0.2 wt% Ni et 0.66 wt% Cu) couplées à l'environnement font en sorte qu'une importante portion du gisement n'a pas encore été minée. Les gisements de Jinchuan ( $515.0 \times 10^6$  tonnes), Pechenga ( $339.0 \times 10^6$  tonnes), Thompson ( $150.3 \times 10^6$  tonnes), Mt Keith ( $478 \times 10^6$  tonnes), Voisey's Bay ( $136.7 \times 10^6$  tonnes), Kambalda ( $67.0 \times 10^6$  tonnes), Perseverance ( $52.0 \times 10^6$  tonnes) et Raglan ( $24.7 \times 10^6$  tonnes) suivent en ordre décroissant de tonnage, mais peuvent montrer une variation dans leur concentration en nickel.

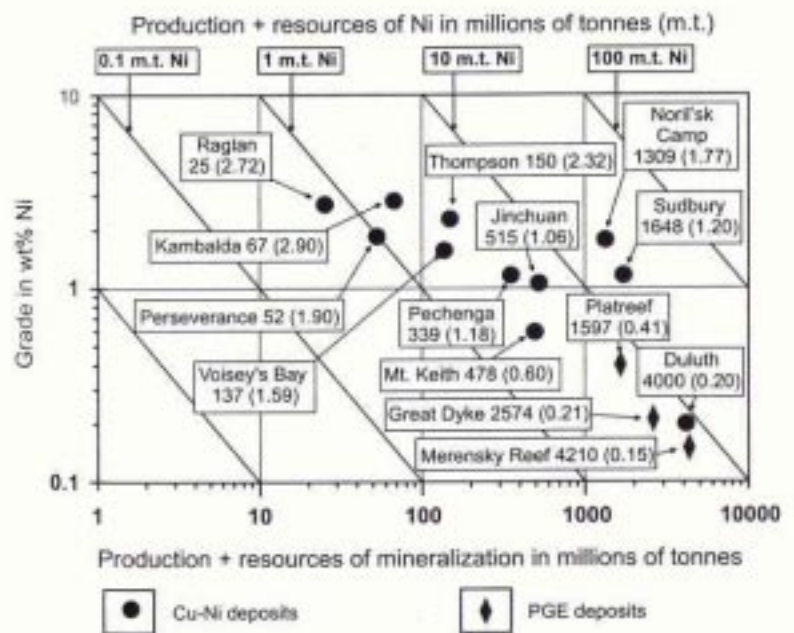


Figure 1 : Graphique de la concentration en Ni (wt %) versus le tonnage (production + Ressources) des gisements Ni-Cu-EGP magmatiques principaux (Source : Naldrett, 2004).

### Le nickel sur les marchés mondiaux

Depuis le milieu du XXème siècle, la demande en nickel a montré une progression relativement régulière (figure 2). Celle-ci a été multipliée par dix depuis le début des années 1950. Aujourd'hui, bien que moins consommé en volume, notamment parce qu'il est plus cher, la consommation en nickel a tout de même dépassé le million de tonnes utilisées par année depuis l'an 2000 et a atteint 1.2 million de tonnes en 2003. Cette forte demande a obligé les grands producteurs de nickel à monter leur offre à plus de 1.3 million de tonnes en 2003. L'augmentation de celle-ci aurait provo-

qu'une diminution des stocks mondiaux et l'augmentation radicale des prix du nickel sur les marchés (figure 3). Le prix a plus que doublé depuis 2000 et ce chiffre aujourd'hui à 16,650\$ US/tonne. Cette forte demande traduirait l'exceptionnel accroissement économique de l'Asie et plus précisément de la Chine (9.5% d'accroissement en 2004). Outre l'Asie, la demande serait également en augmentation en Inde ainsi que dans les pays de l'ancien bloc communiste de l'est.



Figure 2 : Évolution de la demande de nickel entre 1950 et 2003 en milliers de tonnes (Source : CNUCED).

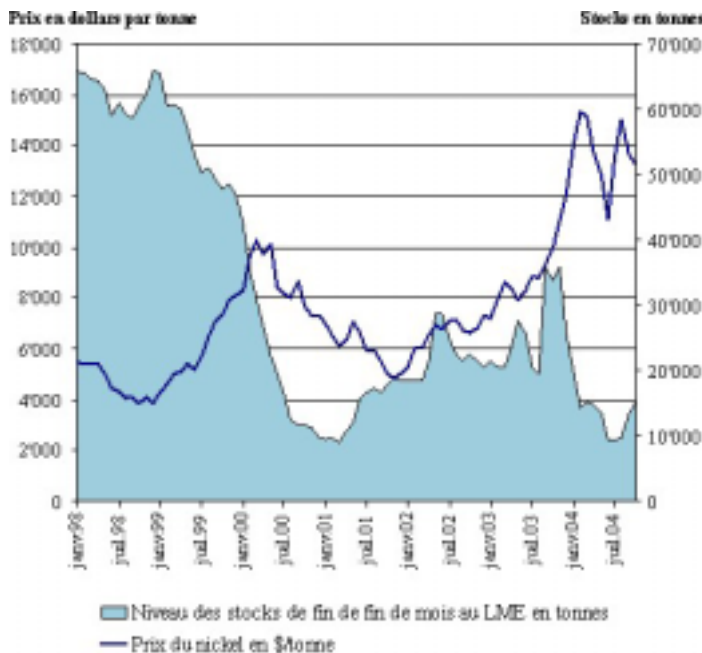


Figure 3 : Évolution du prix et des stocks du nickel du London Metal Exchange pour la période janvier 1998 à octobre 2004 (Sources : CNUCED et du London Metal Exchange).

### Utilisations courantes

Ce n'est qu'au milieu du 18<sup>ème</sup> siècle que le nickel fut, pour la première fois, isolé des minéraux sulfureux. Considéré comme un métal inutilisable avant, on découvrit rapidement que le nickel possédait une grande résistance à la corrosion et qu'il conservait ses propriétés chimiques et physiques à de très hautes températures. Le nickel combiné, en petite quantité, à l'acier permet alors d'obtenir un alliage d'acier beaucoup plus résistant et durable.

L'incorporation du nickel à l'acier afin d'obtenir l'acier inoxydable, constitue aujourd'hui la plus grande utilisation de ce métal (figure 4). La fabrication de différents alliages constitue la deuxième utilisation en importance pour le nickel. L'acier inoxydable ainsi que ses nombreux alliages dérivés sont principalement utilisés dans les domaines de la sidérurgie, l'automobile, l'architecture, l'aérospatiale et de l'énergie. L'électronique et les procédés chimiques sont les autres grands domaines utilisateurs de nickel.

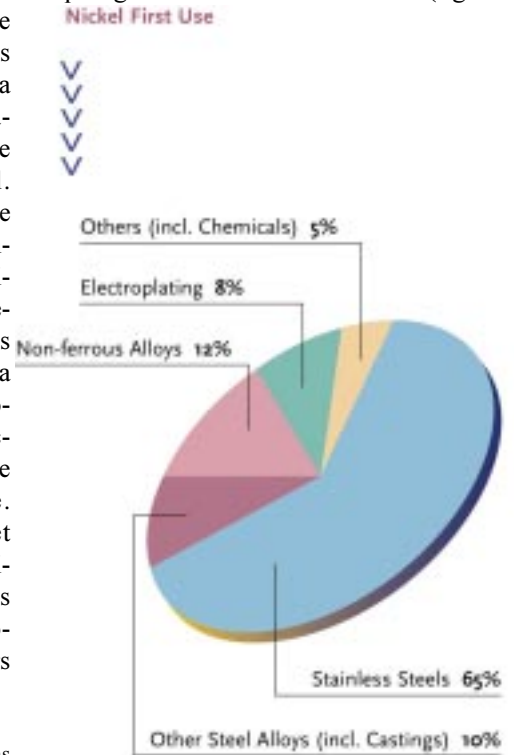


Figure 4 : Utilisations premières du nickel (Source : Nickel Institute).

### Conclusion

Le nickel se retrouve donc associé aux sulfures magmatiques. Ces minéralisations de sulfures, quant à eux, résident à l'intérieur de gisements subdivisés en six classes définies selon leur composition et leur environnement géodynamique. Les dépôts de Noril'sk et de Sudbury représentent les plus importants avec des tonnages supérieurs à 1300\*10<sup>6</sup> tonnes. Avec l'accroissement des économies des pays en voie de développement, la demande en nickel a augmenté au cours des dernières années au point de provoquer une importante diminution des stocks mondiaux. La combinaison de ces facteurs aurait permis une augmentation considérable du prix du nickel. Le nickel se transige à 16,650\$ US/tonne aujourd'hui.

### Références

Naldrett A.J., 2004, Magmatic Sulfide Deposits, geology, geochemistry and exploration, vol. 2, Springer, Berlin-New York, 727 p.

London Metal Exchange:  
<http://www.lme.co.uk/nickel.asp>

CNUCED, Information de marché dans le secteur des produits de base:  
<http://r0.unctad.org/infocomm/francais/indexfr.htm>

The International Nickel Study Group :  
<http://www.insg.org/insg.htm>

Nickel Institute:  
[www.nickelinstitut.org](http://www.nickelinstitut.org)

U.S. Geological Survey:  
<http://minerals.usgs.gov/>

## Jour de la Terre

Voici quelques photos qui ont été prises le 22 Avril dernier lors du Jour de la Terre (voir Géoscope v6n6). On peut y voir les participants à la table ronde, les artistes du volet socio-culturel ainsi que certains kiosques d'information.





## Abitibi 2005

### Organisation d'une session de conférences pour étudiants gradués

# Prix de l'AQUEST

Dans le cadre du congrès régional « ABITIBI 2005 », l'AQUEST organise à Rouyn-Noranda, le 14 septembre 2005, une session de conférences données par les étudiants gradués en ressources minérales. À l'issue de cette session, le prix de l'AQUEST, accompagné d'une bourse d'étude de l'Association de l'exploration minière du Québec au montant de 500\$, sera remis pour la meilleure présentation.

Les coûts de déplacement et d'hébergement des participants(es) seront assumés en grande partie par la Fondation de l'industrie minérale du Nord-Ouest québécois qui parraine également cette activité.

L'AQUEST organise cette session spéciale pour encourager les étudiants gradués en ressources minérales du Québec à promouvoir leur compétence auprès des compagnies d'exploration et des exploitants miniers.

Pour soumettre votre candidature, envoyer dès maintenant par courrier électronique un résumé de 400 mots de votre conférence, accompagné de vos coordonnées et d'un court CV à l'adresse suivante, [robert.marquis@mrnf.gouv.qc.ca](mailto:robert.marquis@mrnf.gouv.qc.ca) ou par la poste à

Robert Marquis,  
Président de l'AQUEST  
Service géologique du Nord-Ouest  
Ministère des Ressources naturelles et de la Faune  
400, Boulevard Lamaque, bureau 1-02  
Val-d'Or (Québec) J9P 3L4

Les candidats sélectionnés seront avisés au plus tard le 15 juin 2005.



Le journal d'information du département de Géologie  
et de Génie géologique de l'Université Laval  
Pavillon Pouliot, 4<sup>ième</sup> étage  
Université Laval, Québec  
G1K 7P4

<http://www.ggl.ulaval.ca>  
[journal@ggl.ulaval.ca](mailto:journal@ggl.ulaval.ca)

**Rédacteur en chef :** Réjean Hébert  
**Éditeur-journaliste :** Carl Guilmette  
**Logo :** Réjean Hébert (idée), Félix-Antoine Comeau (conception)  
**Spécialiste informatique :** Pierre Therrien  
**Corrections éditoriales :** Danielle Pichette

Le Géoscope est publié mensuellement lors des sessions automnale et hivernale et financé par le Département de Géologie et Génie géologique de l'Université Laval.

**Date de tombée pour le prochain numéro :** 29 Septembre 2005

Envoyez vos articles en remorque à l'adresse ci-contre, de préférence dans un fichier de traitement de texte Word. Les textes ne devraient pas dépasser 500 mots. Les images seront reçues de préférence en format .jpg selon une résolution de 300 dpi.