



**Analyses des isotopes de soufre des échantillons recueillis à l'été 2011 par
Géologie Québec lors des projets de cartographie géologique des provinces de
Grenville et de Churchill**

Boswell Wing,

Laboratoire de géochimie des isotopes stables U. McGill

Abdelali Moukhsil, Fabien Solgadi, Hanafi Hammouche et Isabelle Lafrance

Bureau de l'Exploration géologique du Québec

20 octobre 2012

GM 66574

Énergie et Ressources naturelles
Direction de l'information géologique

MB 2012-08

RÉSUMÉ

Treize échantillons ont été analysés pour leurs compositions en isotopes multiples du soufre dans la Province de Grenville et six dans la Province de Churchill Sud-Est. Dans le Grenville, les échantillons de roches ignées ont retourné des valeurs de $\delta^{34}\text{S}$ positives et étroitement réparties de 1,7 ‰ à 4,7 ‰. Les valeurs de $\delta^{34}\text{S}$ obtenues pour les roches métasédimentaires varient, quant à elles, de 2,9 ‰ à 6,7 ‰. Dans le Churchill Sud-Est, les échantillons de paragneiss ont retourné des valeurs de $\delta^{34}\text{S}$ distribuées sur un intervalle de plus de 10 ‰, avec des valeurs de -2,0 ‰ à 8,4 ‰. Les roches métasédimentaires échantillonnées dans les deux provinces sont toutes issues d'un protolithe d'âge protérozoïque.

1 – INTRODUCTION

Cette étude isotopique du soufre a été réalisée dans le but de déterminer l'ère géologique des roches provenant de deux projets de cartographie du ministère des Ressources naturelles du Québec (projets Grenville et Churchill Sud-Est).

Dans le cas du Projet Grenville, des formations de fer et des paragneiss à graphite ont été choisis pour cette étude isotopique. Les formations de fer sont de type silicaté à niveaux millimétriques de chert en contact avec les gneiss tonalitiques archéens du Complexe de Ulamen (figure 1, Moukhsil *et al.*, 2012b). Les paragneiss sont localement migmatitiques et sont riches en graphite (jusqu'à 30 %).

Plus au nord de la région échantillonnée dans le cadre de cette étude, des formations de fer silicatées et paragneiss archéens ont été cartographiés dans le Complexe d'Ashuanipi (Lamothe *et al.*, 1998). Des formations de fer silicatées et des paragneiss ont été également reconnus dans le Groupe de Gagnon qui est plutôt protérozoïque (Moukhsil *et al.*, 2012b). En absence de la discordance entre les gneiss tonalitiques, les formations de fer et les paragneiss, une étude isotopique s'imposait afin de bien documenter la stratigraphie régionale du Grenville central.

Trois roches ignées ont également été analysées dans le cadre de cette étude afin de déterminer l'origine du soufre associé aux minéralisations.

Dans le cas du Projet Churchill Sud-Est, le but de l'étude se résume également à déterminer l'ère géologique des protolithes des paragneiss rencontrés dans la Zone Noyau de cette province (figure 2). Les paragneiss choisis sont en contact avec des gneiss tonalitiques archéens qui ont été remobilisés au Paléoprotérozoïque.

2 - PROCÉDURE ANALYTIQUE

Les analyses isotopiques du soufre nécessitent plusieurs étapes d'extraction et de purification avant la spectrométrie de masse. Des échantillons de poudre ont été mis en réaction à 85 °C avec une solution de Cr réductrice qui a libéré du soufre des sulfures sous forme de H₂S. Le H₂S libéré a ensuite été converti en Ag₂S par piégeage du H₂S dans une solution d'acétate de zinc à 10 % (% de masse) et en mettant le ZnS résultant en réaction avec une solution 0,2 molaire de AgNO₃. Le Ag₂S a ensuite été mis à réagir dans un récipient réactionnel en nickel à ~ 250 °C pendant une nuit et en présence d'excès de F₂ afin de produire du SF₆. Le SF₆ résultant a été d'abord purifié par cryogénie et ensuite avec un chromatographe en phase gazeuse. Le SF₆

purifié a été introduit dans un spectromètre de masse ThermoFinnigan MAT 253 à double entrée de source de gaz, où la quantité des isotopes du soufre a été mesurée en contrôlant les faisceaux d'ions $^{32}\text{SF}^{5+}$, $^{33}\text{SF}^{5+}$, $^{34}\text{SF}^{5+}$ et $^{36}\text{SF}^{5+}$ aux rapports masse sur charge (m/z) = 127, 128, 129 et 131, respectivement.

Toutes les données des isotopes du soufre sont indiquées par rapport à la Troïlite (V-CDT) de Cañon Diablo de Vienne, pour laquelle le standard international IAEA-S-1 est considéré comme ayant la composition isotopique suivante : $\delta^{33}\text{S} = -0,061 \text{ ‰}$, $\delta^{34}\text{S} = -0,3 \text{ ‰}$, $\delta^{36}\text{S} = -1,27 \text{ ‰}$. La précision (1σ) sur des mesures individuelles est supérieure à 0,05 ‰ pour les valeurs de $\delta^{34}\text{S}$, 0,01 ‰ pour les valeurs de $\Delta^{33}\text{S}$, et 0,1 ‰ pour les valeurs de $\Delta^{36}\text{S}$. L'exactitude des mesures est contrôlée par la reproductibilité analytique (1σ), qui pour la procédure complète de mesure est supérieure à 0,1 ‰ pour les valeurs de $\delta^{34}\text{S}$, 0,01 ‰ pour les valeurs de $\Delta^{33}\text{S}$, et à 0,2 ‰ pour les valeurs de $\Delta^{36}\text{S}$. La reproductibilité des analyses des matériaux de référence internationaux AIEA-S-1, IAEA-S-2, et AIEA-S-3 correspondait toujours aux valeurs acceptables dans la limite de ces incertitudes.

3 - CONTEXTE

Tout au long de l'Archéen (> 2,5 Ga), l'absence d'une atmosphère oxygénée a sans doute permis le fractionnement anormal des isotopes du soufre au cours des réactions photochimiques atmosphériques (Farquhar *et al.*, 2000).

La mesure des valeurs de $\delta^{33}\text{S}$ (‰) ($\delta^{33}\text{S} = [({}^{33}\text{S}/{}^{32}\text{S})_{\text{échantillon}} / ({}^{33}\text{S}/{}^{32}\text{S})_{\text{standard}} - 1] \times 1000$) et de $\delta^{34}\text{S}$ (‰) ($\delta^{34}\text{S} = [({}^{34}\text{S}/{}^{32}\text{S})_{\text{échantillon}} / ({}^{34}\text{S}/{}^{32}\text{S})_{\text{standard}} - 1] \times 1000$), permettent de caractériser l'amplitude de ce fractionnement isotopique anormal exprimé par des valeurs non nulles de $\Delta^{33}\text{S}$ (‰) ($=\delta^{33}\text{S}_{\text{mesuré}} - \delta^{33}\text{S}_{\text{prévu}}$, où $\delta^{33}\text{S}_{\text{prévu}} = [(\delta^{34}\text{S}_{\text{mesuré}} + 1)0,515 - 1] \times 1000$).

Tous les modèles appliqués pour le cycle du soufre à l'Archéen considèrent le fractionnement anormal (indépendant de la masse) des isotopes du soufre comme le résultat d'un processus supergène. Une valeur non nulle de $\Delta^{33}\text{S}$ indique donc la présence de soufre recyclé dans l'environnement de surface au cours de l'Archéen (Farquhar et Wing, 2003). La préservation des valeurs non nulles de $\Delta^{33}\text{S}$ au cours de la transformation géologique du soufre (ex : métamorphisme, assimilation crustale) devrait se faire avec une grande fiabilité (même face à des fractionnements significatifs dépendants de la masse de $\delta^{34}\text{S}$) à moins que les processus de

mélange n'atténue la signature de $\Delta^{33}\text{S}$. Les mesures de $\delta^{34}\text{S}$ ont permis de discriminer avec succès les terranes géologiques (Lowry *et al.*, 2005). Cette étude de validation a été effectuée pour voir si les valeurs de $\Delta^{33}\text{S}$ peuvent remplir la même fonction.

4 – DESCRIPTION DES ÉCHANTILLONS ET LOCALISATION

4-1 Projet Grenville (Grenville central)

Dans la partie centrale de la Province de Grenville, un total de treize échantillons ont été choisis pour cette étude isotopique dans les feuillets SNRC 22K14, 22K15, 22N02 et 22N03 (figure 1). Ces échantillons comprennent huit formations de fer silicatées avec traces de sulfures (11-AM-132G, 11FS-1091A1, 11-FS-1093A, 11-TC-5009F1, 11-TC-5081B, 11-TC-5082A1, 11-TC-5082F1, 11-TC-5089A), une webstérite (11-AK-8065E), un gabbro (11-TC-5021C), une norite (11-TC-5016C3) et deux paragneiss riches en graphite (11-TC-5021A, 11-TC-5089G; figure 1, tableau 1).

Les formations de fer silicatées échantillonnées couvrent une faible superficie dans la région. Elles se composent typiquement d'orthopyroxène, de clinopyroxène et de grenat avec des sulfures en traces. Elles sont rubanées et très plissées avec des charnières démembrées. Le rubanement est dû à des variations à l'échelle décimétrique dans les proportions des minéraux silicatés. Les formations de fer silicatées sont de granulométrie typiquement grossière à très grossière, les pyroxènes atteignant une taille de plusieurs centimètres. Elles contiennent peu ou pas de magnétite, on observe jusqu'à 10 % de pyrrhotite disséminée et altérée en marcassite. L'apatite est un minéral accessoire fréquent. Localement on observe du graphite, de l'ilménite ou de la pyrite. Une zone de formation de fer silicatée riche en olivine jaune pâle est localement présente en quantités importantes avec une épaisseur apparente plurimétrique. Des interlits minces et laminés de composition quartzitique interprétés comme des métacherts granoblastiques, à grain fin à très grossier, sont associés à ces formations de fer.

Des niveaux de formation de fer au faciès à oxydes (magnétite/ilménite) sont intercalés avec ceux silicatés. Le type à oxydes consiste en lamines et rubans de 1 mm à 10 cm d'épaisseur, riches en magnétite et contenant de l'olivine, du pyroxène et de la pyrrhotite. Ces lamines et rubans alternent avec des niveaux riches en pyroxène. Un faciès centimétrique à métrique riche en grenat (30 à 60 %) et en quartz (40 à 70 %) est associé à ces formations. Ce faciès est accompagné, généralement, de niveaux centimétriques à décimétriques de quartzite à graphite et

de paragneiss riches en graphite (jusqu'à 30 %). Ces paragneiss graphiteux (schiste) sont de couleur rouille et peuvent atteindre une épaisseur de 1,5 m. Le graphite est surtout en paillettes et est associé avec du plagioclase, du grenat et des traces de pyrrhotite.

Les paragneiss à graphite se retrouvent ailleurs dans la carte et affleurent surtout dans le sud du territoire occupé par le Complexe de Ulamen (figure 1, Moukhsil *et al.*, 2012b). Généralement, cette unité est composée de paragneiss migmatitisé et de migmatite d'origine sédimentaire. L'assemblage minéralogique le plus observé est « biotite, grenat ± kyanite ± sillimanite ± graphite ». De la hornblende peut également être présente. Les minéraux accessoires les plus fréquents sont le zircon, l'apatite et la titanite. Le feldspath potassique est peu abondant comparativement au plagioclase non altéré, ce qui suggère une source tonalitique pour ces métasédiments. Des textures de myrmékite et d'antiperthite sont observées. Ces paragneiss sont foliés, granoblastiques et à grain moyen. Les grenats sont poëciloclastiques.

4-2 Projet Churchill Sud-Est (Région de Kuujuaq)

Un total de six échantillons de paragneiss ont été choisis dans la Zone Noyau de la Province de Churchill Sud-Est, dans la région de Kuujuaq (figure 2, tableau 1). Ces paragneiss sont en contact avec des gneiss tonalitiques d'âge archéen, remobilisés au Paléoproterozoïque.

Les échantillons 11-LP-2086B et 11-MS-046A sont localisés dans la partie est de la Zone Noyau, à l'est de la zone de cisaillement de la rivière George. Ce sont des paragneiss migmatitisés à biotite ± grenat finement grenus et granoblastiques. Localement, les mobilisats blanchâtres se présentent en rubans centimétriques, ce qui confère à la roche une texture rubanée. Plusieurs niveaux centimétriques à métriques à pyrite-pyrrhotite, rouillés en surface, s'intercalent dans ces paragneiss.

Les quatre autres échantillons (11-HH-4092A2, 11-IL-3158A, 11-MP-1208A2, 11-LP-2309A11) sont situés dans la partie ouest de la Zone Noyau et présentent des similitudes avec ceux décrits plus haut (figure 2). Ces paragneiss sont finement grenus, granoblastiques et rubanés. Ils renferment entre 15 et 35 % de biotite, du grenat, de la muscovite, et localement de la sillimanite. Le rubanement millimétrique à centimétrique est souligné par le mobilisat de composition granitique. On note également dans ces roches la présence de niveaux rouillés à pyrite-pyrrhotine (jusqu'à 5 %) et d'un peu de pyrite disséminée (1 %) ainsi que des injections de pegmatite granitique sous forme de sills ou de dykes.

5. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

5-1 Échantillons du Grenville

Treize échantillons ont été analysés pour leurs compositions en isotopes multiples du soufre (tableau 1). Les valeurs de $\delta^{34}\text{S}$ obtenues pour les roches ignées sont toutes positives, et étroitement réparties de 1,7 ‰ à 4,7 ‰. Les valeurs de $\delta^{34}\text{S}$ pour les roches métasédimentaires sont aussi positives, mais en moyenne légèrement plus élevées que les roches ignées, ainsi qu'un peu plus étalées (de 2,9 ‰ à 6,7 ‰). Les valeurs de $\Delta^{33}\text{S}$ et $\Delta^{36}\text{S}$ sont toutes infimes et presque nulles, ce qui est cohérent avec une origine par processus de fractionnement dépendant de la masse.

5-2 Échantillons du Churchill

Six échantillons de paragneiss ont été analysés pour leurs compositions en isotopes multiples du soufre (tableau 1). Les valeurs de $\delta^{34}\text{S}$ sont distribuées sur un intervalle de plus de 10 ‰, avec des valeurs négatives à positives de -2,0 ‰ à 8,4 ‰. Les valeurs de $\Delta^{33}\text{S}$ et $\Delta^{36}\text{S}$ sont toutes infimes et presque nulles, cohérentes avec une origine par processus de fractionnement dépendant de la masse.

6- INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

6-1 Échantillons du Grenville

Les échantillons de formation de fer et les paragneiss à graphite de la Province de Grenville sont modérément enrichis en $^{34}\text{S} / ^{32}\text{S}$ par rapport aux valeurs globales de la Terre ($\delta^{34}\text{S} = 0 \pm 2 \text{ ‰}$), et ont des valeurs $\Delta^{33}\text{S}$ infimes à presque nulles. Cette combinaison de caractéristiques les rattache aux formations de fer protérozoïques et aux schistes noirs plutôt qu'aux formations de fer archéennes. L'absence de fractionnement indépendant de la masse est une indication claire que les protolithes sédimentaires de ces roches ont été déposés après la hausse initiale de l'oxygène atmosphérique (ca. 2,32 à 2,45 Ga).

Les résultats obtenus de $\Delta^{33}\text{S}$ et de $\delta^{34}\text{S}$ sur les échantillons des formations de fer et des paragneiss coïncident avec ceux des formations de fer de Gunflint, Biwabik, Trommald et Mahnomen du bassin de Animikie de la rive nord du lac Supérieur et datées à 1,87 Ga (figure 3). Ces résultats contrastent avec ceux des formations de fer de Marra Mamba datées à 2,60 Ga, et de Brockman à 2,48 Ga, toutes deux situées dans le bassin de Hamersley en Australie (figure 3).

Les données de $\delta^{34}\text{S}$ obtenues sur les roches du Grenville ne dépassent pas 6,9 ‰, alors que celles obtenues pour les autres formations de fer protérozoïques vont jusqu'à 22 ‰ (figure 3). Ceci peut s'expliquer soit par la faible quantité d'échantillonnage (10 échantillons) soit par une homogénéisation isotopique mineure des valeurs de $\delta^{34}\text{S}$ au cours du métamorphisme.

Les échantillons de roches ignées du Grenville sont tous légèrement enrichis, ce qui est cohérent avec une perte mineure de gaz soufré lors de la cristallisation. Toutefois, si la fugacité de l'oxygène au cours de la cristallisation était inférieure à Ni-NiO +1, ce modèle ne serait pas valable étant donné que les gaz réduits sont isotopiquement plus lourds que le soufre restant dans le liquide. Dans ce cas, un modèle viable serait une intégration de soufre sédimentaire dans le liquide igné initial. La valeur de $\delta^{34}\text{S}$ du gabbro du Grenville est très comparable à celles du gabbro-norite du prospect Ni-Cu-Co-EGP du Lac Volant (0,6 ‰ à 1,8 ‰; Nabil *et al.*, 2004).

6-2 Échantillons du Churchill

Les échantillons de paragneiss du Churchill ont des valeurs de $\delta^{34}\text{S}$ dispersées par rapport aux valeurs globales de la Terre ($\delta^{34}\text{S} = 0 \pm 2$ ‰), et des valeurs de $\Delta^{33}\text{S}$ infimes à presque nulles. Cette combinaison de caractéristiques les associe à des protolithes sédimentaires protérozoïques plutôt qu'archéens. L'absence en particulier de fractionnement indépendant de la masse est une indication claire que les protolithes sédimentaires de ces roches ont été déposés après la hausse initiale de l'oxygène atmosphérique (ca. 2,32 à 2,45 Ga).

La dispersion des valeurs de $\delta^{34}\text{S}$ d'environ 10 ‰ suggère un protolithe qui contient des sulfures avec un large éventail de valeurs de $\delta^{34}\text{S}$ en raison du fractionnement par des bactéries sulfato-réductrices dans les sédiments anoxiques. Les valeurs de $\delta^{34}\text{S}$ dans les échantillons de paragneiss du Churchill sont comparables à celles des paragneiss paléoprotérozoïques de Tasiuyak dans le Churchill, aux alentours du dépôt de Voisey's Bay (figure 4; Ripley *et al.*, 2002).

7 – REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Francis Talla Takam pour la traduction du rapport original en anglais de B. Wing et Charles Maurice pour la lecture critique de ce rapport ainsi que pour le suivi de ce dossier.

8 - RÉFÉRENCES

- DAVID, J., 2005 – Rapport préliminaire sur des travaux de géochronologie U-Pb., année 2004-2005. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec; GM 62069, 31 pages.
- DUNNING, G.- INDARES, A., 2010 – New insights on the 1.7-1.0 Ga crustal evolution of the central Grenville Province from the Manicouagan - Baie-Comeau transect. *Precambrian Research*; volume 180, pages 204-226.
- FARQUHAR, J. - BAO, H.M. - THIEMENS, M., 2000 - Atmospheric influence of earth's earliest sulfur cycle. *Science*, volume 289, pages 756–758.
- FARQUHAR, J. - WING, B.A., 2003 - Multiple sulphur isotopes and the evolution of the atmosphere. *Earth and Planetary Science Letters*, volume 213, pages 1–13.
- GOBEIL, A. – CLARK, T. – DAVID, J., 1996 – Nouvelles données géochronologiques U-Pb dans le Complexe métamorphique de Manicouagan. *Dans* Projet Abitibi-Grenville LITHOPROBE, Atelier 96, Résumé des présentations, page 14.
- HODYCH, J. P. - DUNNING, G. R., 1992 – Did the Manicouagan impact trigger end-of-Triassic mass extinction?. *Geology*; volume 20, pages 51-54.
- JORDAN, S.L.- INDARES, A.- DUNNING, G., 2006. – Partial melting of metapelites in the Gagnon terrane below the high-pressure belt in the Manicouagan area (Grenville Province): pressure-temperature and U-Pb age constraints and implications. *Canadian Journal of Earth Science*; volume. 43, pages 1309–1329.
- LAMOTHE, D. – LECLAIR, A. – CHOINIERE, J., 1998 – Géologie de la région du lac Vallard. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; RG 98-13, 32 pages et 1 carte
- LASALLE, S. – FISHER, C.M. – DUNNING, G. – INDARES, A., 2012 – Distinguishing metapelites from hydrothermally altered metavolcanic rocks in granulite facies belts: a zircon study from the Grenville Province. GAC-MAC Annual meeting, St John's, Abstract volume 35 page 74
- LOWRY, D. - BOYCE, A.J. - FALLICK, A.E. - STEPHENS, W.E. - GRASSINEAU, N.V., 2005 - Terrane and basement discrimination in northern Britain using sulphur isotopes and mineralogy of ore deposits. Geological Society, London, Special Publications, volume 248, pages 133–151.

MOUKHSIL, A. – SOLGADI, F. – LACOSTE, P. – GAGNON, M. – DAVID, J., 2012a – Géologie de la région du lac du Milieu (SNRC 22O03, 22O04, 22O06, 22J13 et 22J14) Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; RG 2012-01, 31 pages, 5 cartes.

MOUKHSIL, A. - SOLGADI, F. - CLARK, T. - BLOUIN, S. - INDARES, A., - DAVIS, D. W. 2012b - Géologie du nord-ouest de la région du barrage Daniel Johnson (Manic 5), Côte-Nord (SNRC 22K14, 22K15, 22K16, 22N02 et 22N03). Ministère des Ressources naturelles, RG 2012

NABIL, H. - CLARK, T. - BARNES, S.J., 2004 - A Ni-Cu-Co-PGE massive sulfide prospect in a gabbro dike at Lac Volant, eastern Grenville Province, Québec. Geological Society of America Memoirs, volume 197, pages 145–161.

RIPLEY, E.M.- LI, C. - SHIN, D., 2002 - Paragneiss assimilation in the genesis of magmatic Ni-Cu-Co sulfide mineralization at Voisey's Bay, Labrador; $\delta^{34}\text{S}$, $\delta^{13}\text{C}$, and Se/S evidence. Economic Geology, volume 97, pages 1307–1318.

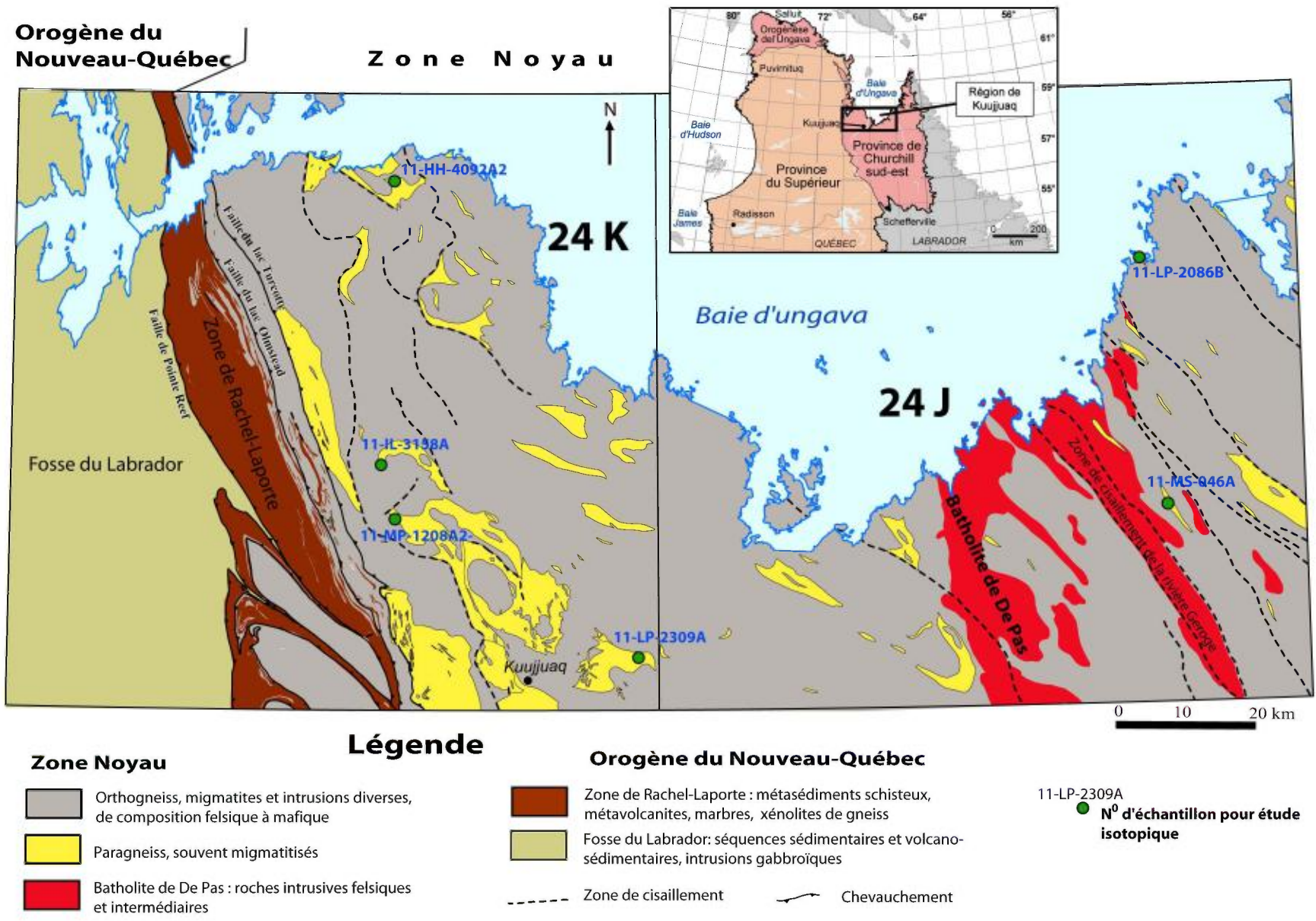


Figure 2 : Localisation des échantillons de paragneiss prélevés pour étude isotopique du soufre dans la région de Kuujuaq (Churchill SE).

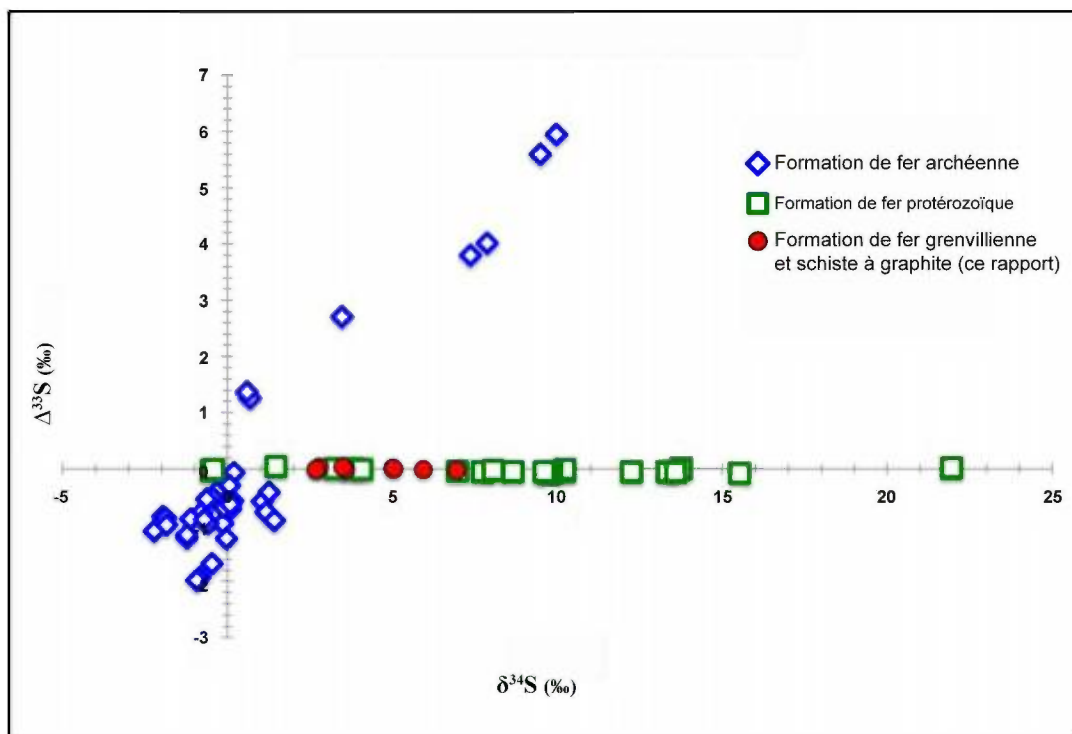


Figure 3 : Résultats des analyses des isotopes de soufre des formations de fer et des schistes à graphite du projet Grenville comparés à ceux d'autres formations de fer archéennes et protérozoïques.

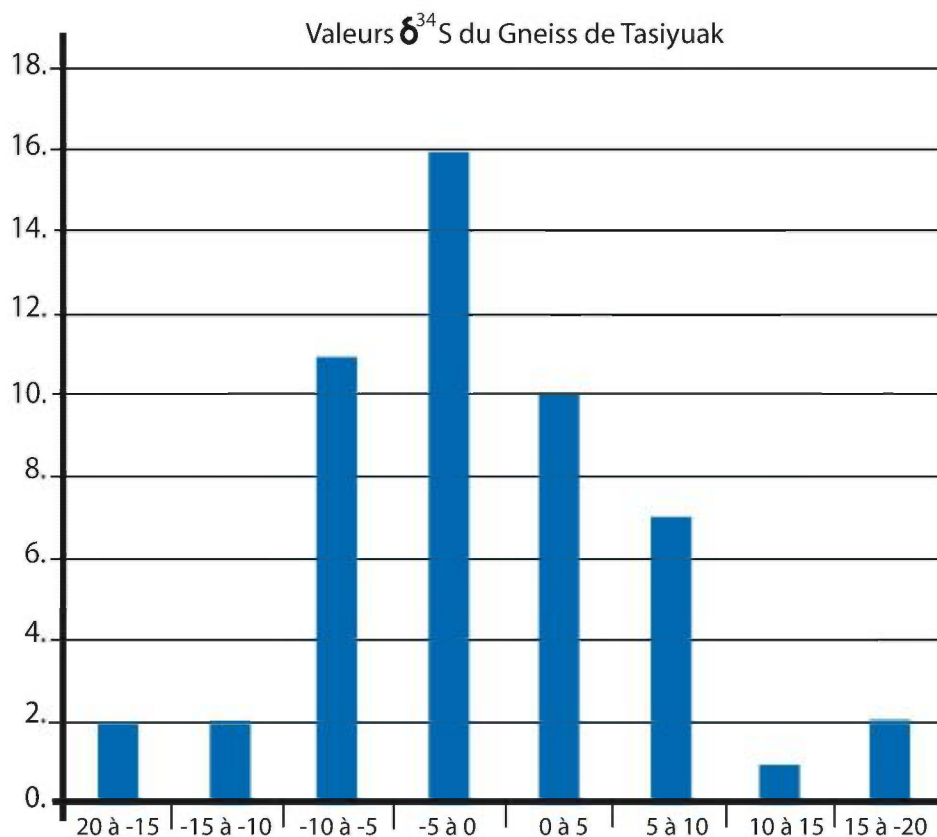


Figure 4 : Valeurs $\delta^{34}\text{S}$ publiées pour le gneiss de Tasiyuak dans la Province de Churchill dans la région de Voisey's Bay (Ripley et al., 2002). Les mesures des isotopes de soufre ($\delta^{34}\text{S}$) des paragneiss du projet Churchill NE varient de -2 à 8,4 ‰ (tableau 1) et elles coïncident avec environ 60 % de celles du Gneiss de Tasiyuak.

Tableau 1 : Résultat des isotopes de soufre

Échantillon ID	UTM, Nad 83 (Zone 19)	$\delta^{33}\text{S}$ (‰)	$\delta^{34}\text{S}$ (‰)	$\delta^{36}\text{S}$ (‰)	$\Delta^{33}\text{S}$ (‰)	$\Delta^{36}\text{S}$ (‰)	Lithologie ¹
Échantillons du projet Grenville							
11-AK-8065E (52857)	520983 E 5643094 N	2,406	4,683	8,80	-0,003	-0,12	Webstérite
11-TC-5021C (52030)	495554 E 5663502 N	0,911	1,734	3,27	0,019	-0,02	Gabbro
11-TC-5016C3 (52021)	484198 E 5645867 N	2,021	3,868	7,41	0,030	0,05	Norite
11-TC-5021A (52034)	495554 E 5663502 N	2,263	4,424	8,07	-0,013	-0,35	Pargneiss à GP
11-TC-5089G (52035)	481265 E 5654340 N	1,450	2,778	4,68	0,020	-0,61	Pargneiss à GP
11-TC-5082F1 (52026)	480857 E 5654440 N	1,838	3,584	6,89	-0,006	0,07	Formation de fer silicatée à OV
11-TC-5082A1 (52027)	480857 E 5654440 N	2,578	5,004	9,53	0,004	0,00	Formation de fer silicatée à OV
11-TC-5089A (52028)	481265 E 5654340 N	1,371	2,686	4,93	-0,011	-0,18	Formation de fer silicatée à GR
11-TC-5081B (52029)	480848 E 5654410 N	2,577	5,068	9,84	-0,015	0,24	Formation de fer silicatée à GR-OV-SF
11-TC-5009F1 (52031)	499309 E 5650033 N	1,420	2,689	4,44	0,036	-0,67	Formation de fer silicatée à SF
11-FS-1093A (53033)	506130 E 5664734 N	3,026	5,939	11,36	-0,028	0,05	Formation de fer silicatée à SF
11-FS-1091A1 (53034)	507980 E 5664351 N	1,775	3,489	6,72	-0,020	0,08	Formation de fer silicatée à CH-SF
11-AM-132G (53048)	495442 E 5677186 N	3,570	6,942	13,09	0,001	-0,15	Formation de fer silicatée à SF
Échantillons du projet Churchill SE							
11-LP2086B (51887)	646000 E 6511300 N	-0.988	-2.031	-4.31	0.058	-0.45	Paragneiss à BO-GR
11-IL-3158A (51890)	508876 E 6473196 N	2.028	3.924	7.23	0.009	-0.24	Paragneiss à BO-GR
11-HH-4092A2 (51892)	511058 E 6524320 N	2.787	5.427	10.11	-0.004	-0.22	Paragneiss à BO-GR-SM
11-LP-2309A (51889)	555705 E 6438621 N	1.879	3.667	6.98	-0.008	0.00	Paragneiss à BO
11-MS-046A (51884)	651376 E 6466993 N	3.017	5.908	10.96	-0.021	-0.30	Paragneiss à BO
11-MP-1208A2 (51886)	511401 E 6463411 N	4.315	8.354	16.10	0.022	0.17	Paragneiss à BO-MV et peu de SF

Note : les chiffres significatifs au-delà de 1 σ d'incertitude sont retenues pour éviter des erreurs d'arrondissement. ¹ BO = biotite, CH = chert, GP = graphite, GR = grenat, OV = olivine, MV = muscovite, SF = sulfure, SM = sillimanite.