Capsules INRSciences

INRS UNIVERSITÉ DE RECHERCHE CENTRE EAU TERRE ENVIRONNEMENT

Capsule no. 19, avril 2015

D'où vient l'or de la Baie-James ? [a]

par **Arnaud Fontaine** [b]

L'or à l'échelle de la Terre

La majeure partie de l'or terrestre (98 %) a été concentrée dans le noyau (500 parties par milliard ou ppb), comme la plupart des métaux, lors de la différenciation précoce de la Terre. L'or (Au) est un élément sidérophile (aime se lier avec le fer), mais peut s'associer avec certains autres métaux (argent, cuivre par exemple). Sa concentration est principalement contrôlée par la présence de sulfures dans la roche, bien qu'il soit aussi possible de le retrouver sous la forme d'or natif (non combiné à d'autres éléments) ou en association avec l'argent (appelé électrum).

La concentration de l'or dans le manteau et dans la croûte (Figure 1) ne s'élève qu'à quelques centaines de ppb. Par exemple, les roches volcaniques comme le basalte (typiquement une roche issue de la fusion du manteau) peuvent contenir 25 ppb d'or, tandis que les roches de la croûte continentale en contiennent en moyenne 3 ppb. Les anomalies de concentrations en or (quelques parties par million ou ppm) ont parfois le potentiel pour devenir des gisements. La métallogénie vise à comprendre la formation et la distribution des gisements métalliques et donc s'interroge sur l'origine de ces enrichissements anormaux. L'évolution du système terrestre (géodynamique) est directement impliquée dans les transferts d'éléments (les métaux dans le cas présent) au sein des couches terrestres (manteau et croûte surtout).

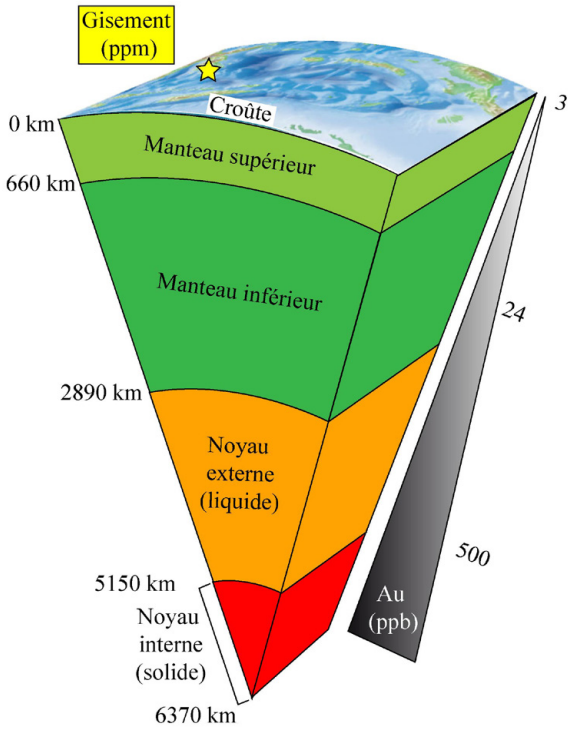

Figure 1 : Répartition de l'or dans les couches terrestres.

L'or dans nos vies quotidiennes

Bien connu pour être une valeur refuge de la plupart des grandes banques centrales du monde (comme substitut aux devises) et pour ses utilisations en joaillerie, l'or l'est beaucoup moins pour ces applications dans les nouvelles technologies. En effet, ses caractéristiques uniques comme les valeurs élevées de son point d'ébullition (1068 °C), de sa résistance, de sa ductilité et de sa conductivité, ainsi que son caractère inoxydable, lui permettent d'être utilisé dans les nanotechnologies,

[a] Cette capsule est disponible en ligne à l'adresse suivante : www.ete.inrs.ca/ete/publications#CapsulesINRSciences

[b] Étudiant au doctorat au Centre Eau Terre Environnement de l'INRS sous la direction Benoît Dubé (Commission géologique du Canada) et la codirection de Michel Malo (INRS). Contact : arnaud.fontaine@ete.inrs.ca

en aérospatial, pour des applications biomédicales ou encore dans les biocarburants.

L'or au cœur de nos recherches

L'Initiative géoscientifique ciblé 4 (IGC-4) de la Commission géologique du Canada est un programme de recherche de Ressources naturelles Canada visant à mieux comprendre les gisements d'or archéens. L'exploration de l'or à l'échelle canadienne se concentre principalement sur la période géologique allant de 3 à 2,6 milliards d'années (Archéen). L'IGC-4 vise à perfectionner les connaissances géoscientifiques et les modèles génétiques afin de mieux évaluer le potentiel minéral d'une région et de définir des vecteurs d'exploration aurifère. Le gisement Roberto, situé à la Baie-James (Figure 2), fait partie des systèmes minéralisés étudiés dans ce programme. Le projet de doctorat à l'origine de cette capsule porte sur ce gisement et est le fruit de nombreuses collaborations (voir les remerciements à la fin).

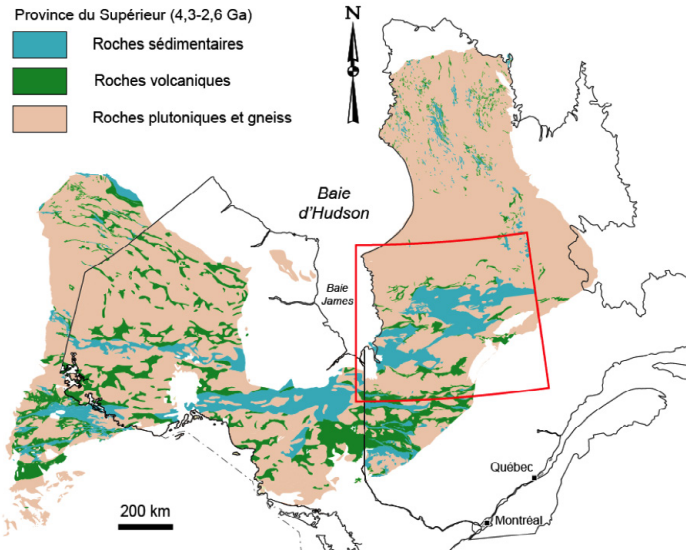

Figure 2 : La Province du Supérieur, la plus grande superficie de roches archéennes sur Terre. Le territoire de la Baie-James est encadré en rouge (Ga = milliards d'années).

L'or de la Baie-James

Découvert en 2004 par Mines Virginia, le gisement aurifère Roberto est devenu en 2014 la première mine d'or de classe mondiale à la Baie-James (mieux connue sous le nom de mine Éléonore, Figure 3).

Figure 3 : Vue du ciel de la mine Éléonore et du réservoir Opinaca (200 km à l'est de Wemindji).

Cette région, longtemps sous-explorée, connait un essor important pour l'exploration de ce métal précieux depuis une quinzaine d'années. Des bassins volcano-sédimentaires, bien que moins développés que ceux de l'Abitibi (Figure 2) semblent contenir des concentrations anormales en or.

À l'échelle plus locale, le gisement se trouve dans des roches qui ont entre 2,7 et 2,6 milliards d'années et partage certaines similarités avec la majorité des autres gisements aurifères archéens. Ces similarités sont : 1) la proximité avec une structure crustale (faille d'échelle kilométrique traversant la majeure partie de la croûte) et 2) la présence d'un fort gradient métamorphique (variation de pression et de température à l'origine de changements minéralogiques et texturaux). La reconnaissance de ces structures majeures est un pas important pour comprendre l'histoire géodynamique de la région. D'autre part, le gisement possède certaines particularités comme la présence de styles variés de minéralisation et une activité magmatique intense.

Le travail du géologue minier

Une meilleure compréhension de la géologie associée aux concentrations aurifères commence par une cartographie détaillée (Figure 4) des unités lithologiques (type de roches), combinée à une prise de mesures structurales (orientations et inclinaisons de failles, plis, structures planaires et linéaires) et à un échantillonnage (roches minéralisées ou non).

Les relations spatiales, texturales et minéralogiques entre les zones minéralisées (Figure 5) et les roches encaissantes permettent de repérer des paramètres géologiques de première importance. En effet, les roches encaissantes situées à proximité des zones minéralisées présentent bien souvent des caractéristiques spécifiques (assemblages minéralogiques, couleurs et textures atypiques, présence de sulfures et de veines de quartz). Ces roches représentent l'empreinte hydrothermale des zones altérées et minéralisées. Ainsi, ces roches sont probablement les témoins du passage d'un fluide hydrothermal, fluide aqueux d'une température de 50 à > 500 °C contenant généralement des ions en solution (dont des ions métalliques comme Au^{+}, Ag^{+}, Cu^{2+}, etc.).

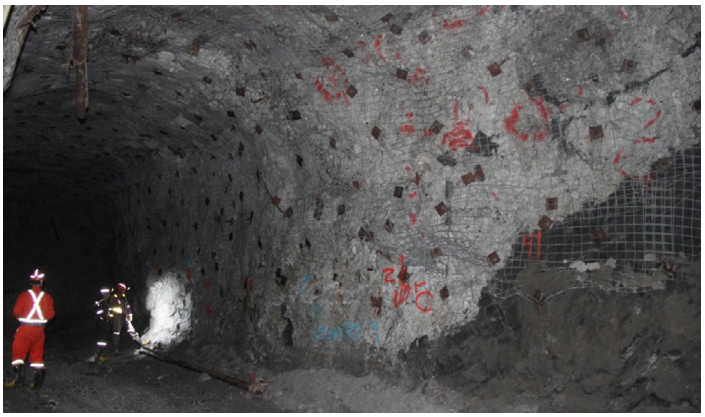

Figure 4 : Galerie souterraine de la mine Éléonore (400 m de profondeur). Discussions autour d'une imposante intrusion granitique datée à 2,6 milliards d'années.

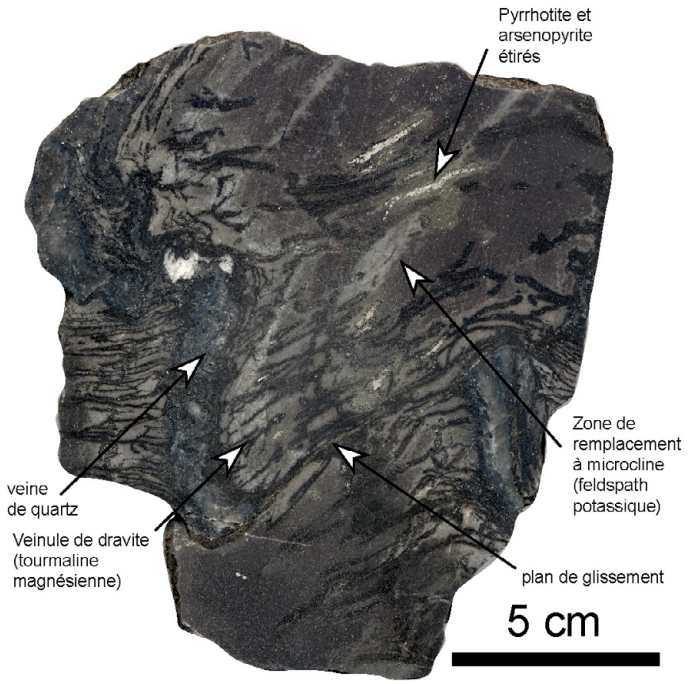

Figure 5 : Échantillon de zone minéralisée typique du gisement. Cette roche contient 30 ppm d'or (situé généralement en inclusions dans les pyrrhotites et arsénopyrites).

L'or vu au microscope

De retour à l'INRS après trois mois de terrain, la compilation des données est effectuée afin de générer des cartes de la géologie souterraine. Elles serviront de base pour des analyses plus spécifiques en laboratoire comme la pétrographie (Figure 6) et la géochimie sur des échantillons choisis (une analyse multiéléments de la roche totale broyée ou des minéraux et des analyses ponctuelles à l'échelle du micron). Enfin des méthodes de géochimie isotopique sont utilisées pour dater les roches (U-Pb sur des minéraux comme le zircon). Grâce à cette approche multi disciplinaire, il est alors possible de mieux comprendre l'environnement géologique lors de la formation de ces concentrations anormales en or.

À la recherche des origines de l'or de la Baie-James

Prenons maintenant du recul en compilant les paramètres géologiques qui font la spécificité de la région d'étude. La signature métallique du gisement (Au-As-Sb), le type de zones hydrothermales associées et les styles de minéralisations en or

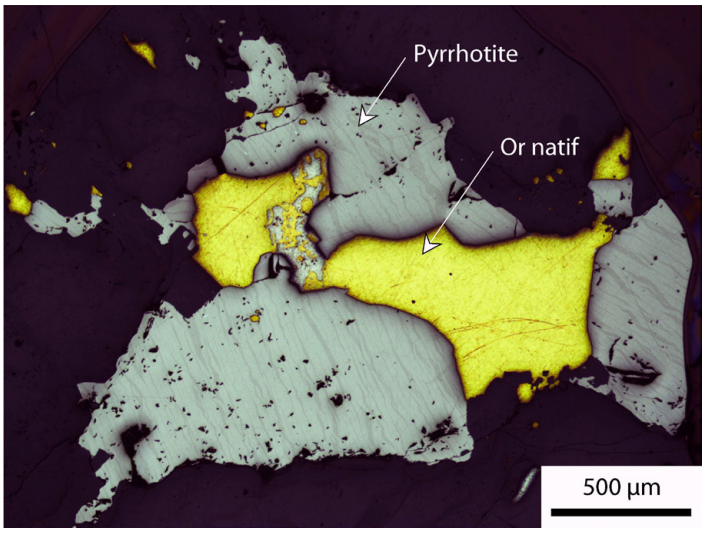

Figure 6 : Or natif microscopique (lumière réfléchie) associé à de la pyrrhotite et de l'aurostibite ($AuSb_2$), une association typique de gisements encaissés dans des roches sédimentaires.

suggèrent plusieurs évènements minéralisateurs et un lien possible avec l'activité magmatique et le métamorphisme. En effet, la cartographie a permis de montrer une relation spatiale avec des intrusions, parfois elles aussi minéralisées, et le passage d'un front métamorphique (augmentation rapide de la pression et de la température) qui a modifié la nature originale du gisement. On peut littéralement en conclure que le gisement a été cuit (à plus de 650 °C tout de même...) et déformé. Ces évènements subséquents compliquent considérablement la géologie du secteur et indiquent que le gisement Roberto est métamorphisé. Les âges U-Pb des roches suggèrent que le gisement s'est formé entre 2,675 et 2,6 milliards d'années, une longue période de temps durant laquelle le sédiment s'est déposé à proximité de sa source, a été enfoui à des kilomètres de profondeur, affecté par la mise en place de roches magmatiques et enfin exhumé à la surface.

Conclusion

L'étude d'un gisement d'or fait appel à l'ensemble des domaines de la géologie (géochimie, géochronologie, géologie structurale, etc.). Cette approche multidisciplinaire permet de comprendre les relations spatiales et génétiques entre les minéralisations aurifères et les processus géologiques à l'oeuvre (magmatisme, métamorphisme, hydrothermalisme, structures). Ces caractéristiques sont ensuite utilisées pour définir des modèles géologiques et d'exploration, les processus à l'origine des transferts de l'or entre la croûte et le manteau (estimation de l'âge, mécanismes de transport) et ceux intervenant dans la reconcentration de l'or à l'échelle de la croûte continentale (érosion d'une source enrichie, magmatisme, métamorphisme).

Remerciements

Ce projet de recherche doctorale est effectué en étroite collaboration (logistique, scientifique et financière) avec la compagnie Goldcorp Inc. et avec le soutien financier (Bourse en milieu pratique) du FRQNT (Fonds de recherche du Québec – Natures et technologies) et du CRSNG (Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada). Il s'appuie sur la contribution de Jean-François Ravenelle (doctorat à l'INRS de 2006 à 2012) et sur des collaborations avec Tony Brisson (Goldcorp Inc.), Vicki McNicoll (Commission géologique du Canada) et Jean Goutier (ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec).

Pour en savoir plus…

La géologie du Québec

Carte des principales subdivisions géologiques du Québec
www.mern.gouv.qc.ca/publications/mines/provinces-geologiques-36x50.pdf

Carte de la géologie du Québec
www.mern.gouv.qc.ca/publications/mines/geologie/carte-geologique.pdf

L'industrie minière au Québec

Carte de l'activité minière au Québec
www.mern.gouv.qc.ca/publications/mines/publications/activite-miniere-quebec.pdf

L'initiative géoscientifique ciblée 4 (IGC-4)

www.rncan.gc.ca/sciences-terre/ressources/programmes-federaux/initiative-geoscientifique-ciblee/10908

Site du conseil mondial de l'or (en anglais)

www.gold.org/

Ce projet de doctorat

Résumé de l'affiche présentée au congrès Québec Mines 2014
http://quebecmines.mrn.gouv.qc.ca/exposition/pdf/2014/g46_fontaine.pdf

Article scientifique en anglais

Fontaine, A., Dubé, B., Malo. M., McNicoll, Brisson. T., Doucet. D., Goutier, J. (2015). Geology of the metamorphosed Roberto gold deposit (Éléonore Mine), James Bay Region, Québec: Diversity of mineralization styles in a complex tectono-metamorphic framework. *Dans* Targeted Geoscience Initiative 4: Contributions to the Understanding of Precambrian Lode Gold Deposits and Implications for Exploration; B. Dubé et P. Mercier-Langevin (éd.); Commssion géologique du Canada, Dossier public 7852.