



Les carbonates du Précambrien: un marqueur de l'évolution de l'océan primitif (composition, pH, pCO₂, température) et un modèle pour les occurrences extraterrestres

Mark Van Zuilen¹, Laurent Richard² & Pascal Philippot¹

¹ Géobiosphère Actuelle et Primitive, IPGP

² Amphos 21, Barcelone

Les plateformes carbonatées du Protérozoïque et du Phanérozoïque sont constituées essentiellement de calcite (CaCO₃) et dolomite (CaMg(CO₃)₂), alors que les dépôts carbonatés archéens sont largement enrichis en Fe et Mg (\pm Mn), ce qui se traduit par les solutions solides ankérite (CaFe(CO₃)₂) - dolomite, sidérite (FeCO₃) - magnésite (MgCO₃), et sidérite - rhodochrosite (MnCO₃). Si certaines de ces compositions peuvent être expliquées par des processus diagénétiques ou métamorphiques, ou par la recristallisation de roches rubanées riches en fer (BIF) contenant des carbonates, le très fort enrichissement en fer des carbonates archéens suggère une influence hydrothermale importante dans leur formation. Or, l'essentiel du bâti Archéen est composé de roches basiques et ultrabasiques (komatiites). Les carbonates qui précipitent dans les systèmes hydrothermaux modernes sur roches ultramafiques sont du type calcite-aragonite-magnésite, les fortes proportions de sulfate étant inhibitrices de la précipitation de dolomite. Les fortes teneurs en fer et magnésium des carbonates archéens suggère un rôle majeur des fluides hydrothermaux. En particulier, le caractère anoxique, pauvre en sulfate et peu profond de l'océan archéen indique que le fer dissous devait être transporté sur de grandes distances et éventuellement pourrait avoir largement tamponné la composition de l'océan dans son ensemble.

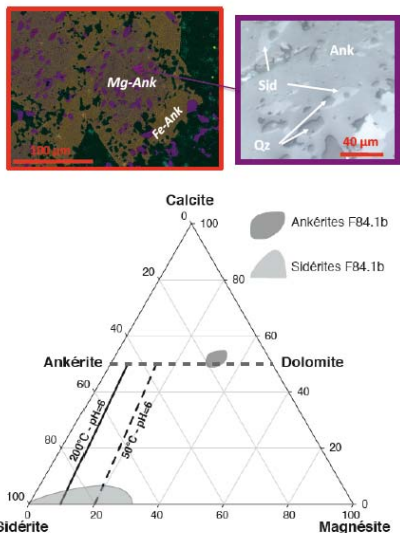
Dans ce projet de thèse, nous proposons de réaliser une étude intégrée couplant géologie des dépôts carbonatés archéens et paléoprotérozoïques, analyses chimique et isotopique ($\delta^{13}\text{C}$) des carbonates et analyse thermodynamique des équilibres minéraux-fluides afin de quantifier le rôle des fluides hydrothermaux dans l'évolution de la composition de l'océan primitif au cours du temps.

Nous possédons déjà 4 carottes de forage dans des séquences volcano-sédimentaires archéennes des Pilbara (Australie; 3, 5 Ga et 2,7 Ga,) et du Kaapvaal (Afrique du Sud; 3,2 Ga). Nous avons également un accès privilégié à l'ensemble des forages réalisés par la NASA sur le craton des Pilbara (coll. Roger Buick; 11 forages couvrant l'ensemble de l'Archéen) ainsi que le forage ICDP réalisé dans le craton scandinave sur la séquence à 2,0 Ga du Fennoscandien (coll. Aivo Lepland du Survey Norvégien).

Les analyses chimiques se feront par sonde électronique et spectrométrie Raman. Les analyses isotopiques se feront également in situ sur les mêmes phases minérales par sonde ionique (SIMS). L'analyse conjointe des compositions chimique et isotopique sur les mêmes cristaux permettra de reconstruire l'évolution de la composition des fluides

au cours du temps (zones de croissance, inclusions minérales vs minéral hôte) mais également d'aborder l'origine du carbone (eau de mer, $\delta^{13}\text{C} = 0 \text{ ‰}$; carbone mantellique, $\delta^{13}\text{C} = -6 \text{ ‰}$; carbone biologique issue de la méthanogénèse, $\delta^{13}\text{C} = +14 \text{ ‰}$)

Les compositions chimiques des solutions solides dans le système $\text{CaCO}_3\text{-MgCO}_3\text{-FeCO}_3\text{-MnCO}_3$ seront interprétées à l'aide de la théorie des équilibres entre solutions solides et solutions aqueuses afin de remonter à la composition des fluides (océan archéen ou fluides hydrothermaux) ayant précipité ces solutions solides. Après une synthèse des données expérimentales disponibles (solubilités, paramètres de mélange, équations d'état des fluides, etc.), des calculs d'équilibre minéraux-solutions et des calculs de transfert de masse seront réalisés en fonction de la température, de la pression partielle de CO_2 et du pH à l'aide d'un logiciel thermodynamique de simulation des interactions fluides-roches. Les calculs de transfert de masse concerneront la transformation de carbonates primaires (précipités à partir de l'océan archéen) en carbonates secondaires produits par l'altération des carbonates primaires par un fluide hydrothermal issu de la croûte archéenne (voir figure ci-dessous).



La figure ci-contre obtenue dans le cadre de la thèse de Nicolas Rividi montre la présence d'inclusions de sidérite (sid) au sein d'ankérites rhomboédriques zonées (Mg-ank et Fe-ank). Dans le diagramme ternaire ont été reportés le champ de composition des ankérites (grisé foncé) et des inclusions de sidérite (grisé clair) ainsi que les droites d'équilibre entre minéraux pour différentes températures (50 et 200°C), un pH = 6 et une $p\text{CO}_2 = 1\text{bar}$. Ces résultats montrent que les inclusions de sidérite ne sont pas en équilibre avec l'ankérite hôte. Elles ont donc soit précipité en équilibre avec un autre fluide hydrothermal soit directement à partir de l'eau de mer archéenne. Echantillon de carotte de forage, Formation de Dresser d'âge 3,5 Ga, Pilbara, Australie.

Débouchés : Recherche fondamentale et appliquée (entreprises en relation avec la production et le traitement des ressources naturelles; AREVA, ANDRA, pétroles, stockage géologique du CO_2 ...)