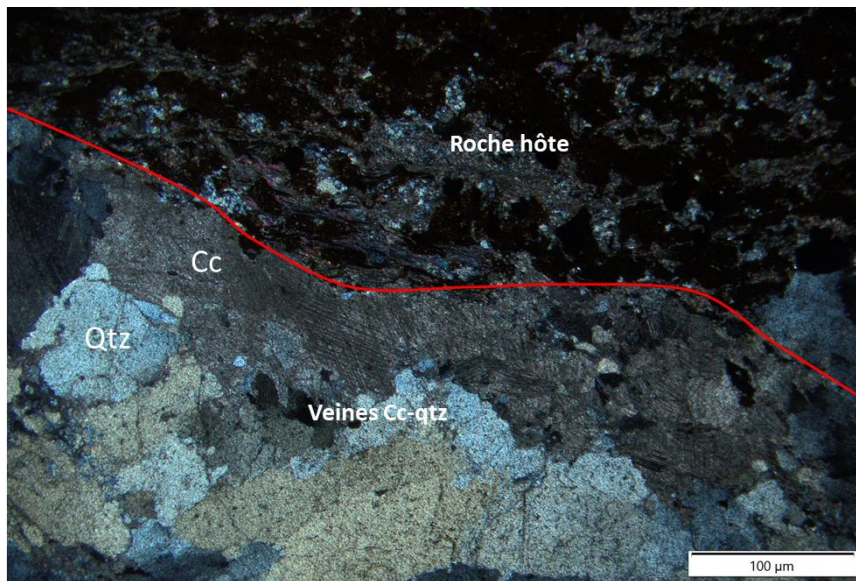


Thermométrie et géochimie des isotopes stables à l'extrémité Sud-Ouest du massif de l'Aar entre Gampel-Leuk dans les Alpes Suisse



Master en sciences de la Terre Par **Mariam Coulibaly**

Sous la direction de
Lukas Baumgartner

Rapporteur
Jean-Luc Epard

Université de Lausanne,
Janvier 2024

Signature du directeur de Master

Résumé

Le massif de l'Aar se distingue au sein des Alpes en tant que site où affleurent à la fois le socle pre-Alpin et les sédiments permien, mésozoïques et tertiaires. Le socle du massif est essentiellement composé de gneiss et de migmatites, datés majoritairement de l'Ordovicien avec quelques âges Hercynien, intrudés par diverses roches microgranitiques et granodioritiques datées du Carbonifère. Le socle Ordovicien est polymétamorphique, affecté par l'orogénèse hercynienne et alpine, et fortement déformé. Durant l'orogénèse alpine, des sédiments mésozoïques et tertiaires déposés initialement dans l'océan Téthys, la croûte la plus distale européen, ont été charriés sur le socle cristallin du massif de l'Aar, formant les nappes helvétiques. Dans la région d'étude, nous trouvons la nappe de Doldenhorn considérée comme autochtone dans la région, et les nappes de Plammis et de Jägerchrüz considérées comme allochtones. Les sédiments contenus dans ces nappes vont du Trias à l'Éocène. Un filon de barytine, coupant les granodiorites du socle au-dessus de Gampel, a également été étudié.

Des analyses Raman de la matière organique (RSCM) ont été effectuées sur deux échantillons de chaque nappe, en mettant l'accent sur les formations du Malm riches en graphite. Les résultats ont donné un pic du métamorphisme autour de $350 \pm 25^\circ\text{C}$, en accord avec des études antérieures de plus large échelle. La température obtenue est similaire pour chaque nappe.

Les analyses isotopiques du carbone et de l'oxygène ont été réalisées sur les roches carbonatées et leurs veines dans les formations de Quinten et du Schilt des trois nappes (Doldenhorn, Plammis, Jägerchrüz). Les résultats montrent une composition isotopique $\delta^{13}\text{C}$ similaire dans les roches totales (matrice des roches) des trois nappes, indiquant des valeurs isotopiques typiques des carbonates marins relativement inchangés par les fluides. Cependant, la composition $\delta^{18}\text{O}$ varie entre les nappes, la nappe de Doldenhorn présente des valeurs plus basses que celles de Plammis et Jägerchrüz.

L'analyse isotopique sur les silicates a révélé des différences significatives entre les types de veines (calcite-quartz, ankérite-quartz, quartz). Les veines calcite-quartz ont montré des valeurs élevées en $\delta^{18}\text{O}$ (SMOW), suggérant un équilibre avec les sédiments locales, formées probablement pendant ou avant le pic métamorphique. Les veines de quartz dans le microgranite et la granodiorite du Massif sont similaires et très bas (autour de 10‰), tandis que ceux du gneiss et les quartz dans les veines Ankérite-quartz se trouve autour de 16‰, présentant ainsi, les mêmes valeurs que les quartz individuels prélevés de la roche totale du massif.

L'analyse de soufre sur le filon de barytine et la pyrite dans le massif a donné des valeurs significativement différentes, pouvant être liées à des processus de fractionnement à haute température avec une source importante d'oxygène. L'isotopie de soufre de la barytine dans les brèches sédimentaire trouvée à quelque mètre des filons à la même composition que ceux du filon, ce qui suggère que les clastes sont très locaux.

Les analyses des éléments majeurs par XRF sur le Massif ont révélé un gain de certains éléments (P_2O_5 , TiO_2 , MgO , CaO , et LOI) et une perte d'autres (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , et Na_2O) en s'approchant du contact socle-sédiments, suggérant l'influence d'un fluide provenant des sédiments qui lessive les roches du massif. Cette hypothèse nécessite une vérification avec davantage d'échantillons dans le massif lors de travaux futurs.

Mots clés : Massif de l'Aar, géochimie isotopique de l'oxygène, du carbone et du soufre, thermométrie.

Abstract

The Aar Massif stands out within the Alps as a site where the basement, the Permian and Mesozoic-Tertiary sediments are exposed. The basement of the massif is primarily composed of gneiss and migmatites, primarily dated as Ordovician, but a few Variscan ages have been found. The basement is intruded by various less deformed igneous rocks (microgranite and granodiorite) dated to be the Carboniferous. This basement is polymetamorphic, affected by both Hercynian and Alpine orogenies, and heavily deformed. A baryte vein, cutting through the granodiorites above Gampel, was also studied, including the adjacent sedimentary breccias.

During the Alpine orogeny, Mesozoic and Tertiary sediments initially deposited at the European margin of the Tethyan ocean were thrust onto the crystalline basement of the Aar Massif, forming what is now known as the Helvetic nappes. In the study area, the Doldenhorn nappe is considered autochthonous, while the Plammis and Jägerchrüz nappes are allochthonous. The sediments contained in these nappes range from the Triassic to the Eocene.

Raman analyses of organic material were conducted on two samples from each nappe, with a focus on the Malm formations which are rich in graphite. The results revealed a peak in metamorphism around $350 \pm 25^\circ\text{C}$, consistent with previous large scale studies. No temperature difference was found in the three tectonic units.

Isotopic analyses of carbon and oxygen were conducted on carbonate rocks and their veins in the Quinten and Schilt formations of the three nappes (Doldenhorn, Plammis, Jägerchrüz). The results reveal a similar $\delta^{13}\text{C}$ isotopic composition in the total rocks of the three nappes, indicating isotopic values typical of marine carbonates that remain relatively unchanged by fluids. However, the $\delta^{18}\text{O}$ composition varies between nappes, with the Doldenhorn nappe exhibiting lower values than Plammis and Jägerchrüz, suggesting a more pronounced fluid influence in the Doldenhorn nappe.

Isotopic analysis of silicates revealed significant differences between vein types (calcite-quartz, ankerite-quartz, quartz). Calcite-quartz veins exhibited elevated $\delta^{18}\text{O}$ values (SMOW), suggesting equilibrium with on-site sediments, likely formed during or before the peak metamorphism. Quartz veins in the microgranite and granodiorite of the massif are similar and very low (around 10‰), while those in the gneiss and in the ankerite-quartz veins are around 16‰, presenting values similar to individual quartz extracted from the whole rock of the massif.

Sulfur analysis on the baryte vein, associated sedimentary breccias and pyrite yielded significantly different values, potentially linked to high-temperature fractionation processes with a significant oxygen source. Nevertheless, the clasts in the breccia reveals identical sulfur isotope values, suggesting a close-by source for the clasts.

Major XRF analyses on the massif indicated an increase in certain elements (P_2O_5 , TiO_2 , MgO , CaO , and LOI) and a decrease in others (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , and Na_2O) approaching the basement-sediment contact, suggesting the influence of fluids from the sediments leaching the massif rocks. This hypothesis requires verification with additional samples in the massif in future studies.

Keywords: Aar Massif, isotopic geochemistry of oxygen, carbon, and sulfur, thermometry.