

## RESUME

La ressemblance des caractéristiques texturales, d'altération et géochimiques des intrusions pré-, syn- et postminérales est un problème connu dans certains gisements de type porphyre cuprifère, y compris le gisement de Gaby dans le nord du Chili. Cette étude vise à différencier le complexe plutonique permotriasique de Pampa Elvira (PEPC), qui est la principale roche encaissante des corps minéralisés à Gaby, et le porphyre tonalitique éocène (TP) associé génétiquement à la minéralisation. L'accent est mis ici sur les styles d'altération et leur chronologie relative. Pour ce faire, une analyse complète du PEPC et du TP a été réalisée par l'examen de leurs caractéristiques pétrographiques, de leur susceptibilité magnétique, des assemblages d'altération et de la composition chimique de la roche totale, ainsi que la composition de certains minéraux magmatiques et hydrothermaux. Diverses méthodes analytiques ont été employées, notamment la minéralogie automatisée QEMSCAN, la spectroscopie à ondes courtes infrarouge (SWIR), la diffraction des rayons X et des techniques à microfaisceaux telles que l'EPMA et le LA-ICP-MS.

Les proportions relatives de K-feldspath et de plagioclase diffèrent d'une lithologie à l'autre, la proportion de K-feldspath étant nettement plus importante dans le PEPC. Des altérations potassiques et sodiques typiques des porphyres sont présentes et sont recouvertes par des halos d'altération séricitique. L'altération sodique et potassique du PEPC est nettement plus forte que dans le porphyre. La minéralisation est principalement représentée par des veines de quartz-pyrite avec moins de chalcopyrite, des sulfures et oxydes de Cu supergènes et une

minéralisation polymétallique mineure. Les deux unités sont similaires dans leur contenu en éléments majeurs et traces, mais présentent des concentrations distinctes de TiO<sub>2</sub>, Sc, V, Sr, U et Th. Les meilleurs outils de distinction sont représentés par des rapports d'éléments tels que Sr/Y (12,5 dans le PEPC et 44,1 dans le TP) et l'anomalie Eu négative du PEPC.

La composition du mica blanc est cohérente entre le PEPC et le TP mais varie dans les halos d'altération séricitique en ce qui concerne la teneur en Fe, Mg et Al, ce qui est également indiqué par leur réponse spectrale. La partie externe des halos est plus riche en Fe et en Mg, tandis que la zone plus proche de la veine est plus pauvre. La chlorite du PEPC est plus enrichie en Fe que celle du TP et la chimie des éléments majeurs de la biotite est similaire dans les deux lithologies. Les éléments-traces dans les micas blancs présentent des schémas similaires avec des gradients de composition de Cr, Ni, Cu, Rb et Sr exprimés par leurs concentrations croissantes ou décroissantes par rapport à la distance au filon. Les compositions de chlorite sont plus cohérentes mais montrent des différences dans les teneurs en B et en Mn entre les deux unités. Les concentrations en rubidium, Ba, Cs et Ta diffèrent dans la biotite du PEPC et du TP.

Ce travail est basé sur les caractéristiques minéralogiques, d'altération, la signature géochimique roche totale et la composition chimique des minéraux pour démontrer les différences entre le PEPC et le TP. Les observations de terrain et les caractéristiques de l'altération indiquent des événements d'altération potassique et sodique d'âge minimum permo-triasique et maximum éocène, qui sont recouverts par une altération potassique et sodique causée par la mise en

place du porphyre. Cependant, la chimie des biotites ne confirme pas directement l'existence d'altérations potassiques multiples. Les teneurs en éléments-traces des minéraux d'altération sont contrôlées par la minéralogie des précurseurs, la géochimie de la roche totale et la chimie des minéraux des éléments majeurs.

**Mots-clés :** *Gisements de cuivre porphyriques, Spectroscopie infrarouge à ondes courtes, Altération, Géochimie, Chimie minérale*

## **ABSTRACT**

The similarity of textural, alteration, and geochemical features of pre-, syn-, and post-mineral intrusions is a known issue in certain porphyry copper deposits, including the Gaby deposit in Northern Chile. This study aims to differentiate between the Permo-Triassic Pampa Elvira plutonic complex (PEPC), which is the main host rock at Gaby, and the ore-related Eocene tonalite porphyry (TP). A special focus herein lies on the alteration styles and their relative timing.

To achieve this, a comprehensive analysis of the PEPC and TP was conducted through the examination of their petrography, magnetic susceptibility, alteration assemblages, whole-rock geochemistry and mineral chemistry. Various analytical methods were employed, including automated mineralogy QEMSCAN, short-wave infrared (SWIR) spectroscopy, X-ray diffraction, and microbeam techniques such as EPMA and LA-ICP-MS.

The relative proportions of K-feldspar and plagioclase differ between the lithologies with significantly more K-feldspar in the PEPC. Typical porphyry-style potassic and sodic alterations are present and overprinted by sericitic alteration. In the studied drill-core sodic and potassic alterations of the PEPC are significantly stronger than in the porphyry. The mineralization is mainly represented by quartz-pyrite veins with minor chalcopyrite, supergene Cu-sulfides and oxides, and minor polymetallic mineralization. The two units are similar in their major and trace element content but exhibit distinct TiO<sub>2</sub>, Sc, V, Sr, U, and Th content. The best distinguishing geochemical criteria are some

element ratios, such as Sr/Y (12.5 in PEPC and 44.1 in TP) and the negative Eu anomaly of the PEPC.

The alteration white mica composition is consistent between the PEPC and TP but varies in the sericitic alteration haloes regarding the Fe, Mg, and Al content, also indicated by their spectral response. The external part of the haloes is enriched in Fe and Mg, while their core is more depleted. Chlorite from the PEPC is enriched in Fe compared to the TP, while magmatic biotite major element chemistry is similar in both lithologies. Trace elements in hydrothermal white micas exhibit similar patterns with compositional gradients of e.g., Cr, Ni, Cu, Rb, and Sr expressed by their increasing or decreasing concentrations relative to the distance to the vein. Chlorite compositions are more consistent but show differences in B and Mn contents between the two units. Rubidium, Ba, Cs, and Ta concentrations differ in the biotite of the PEPC and TP.

This work reports mineralogy, alteration, geochemical, and mineral chemical features to demonstrate the differences between the PEPC and the TP. Field observations and alteration characteristics of the studied drill-core indicate potassic and sodic alteration events effecting only the PEPC and older rocks (La Tabla formation) which are overprinted by potassic, and minor sodic alterations caused by the porphyry intrusion. However, biotite chemistry does not directly confirm multiple potassic alteration events. Trace element contents in the alteration minerals are controlled by precursor mineralogy, bulk rock geochemistry, and major element mineral chemistry.

**Keywords:** *Porphyry deposits, Short-wave infrared spectroscopy, Alteration, Bulk geochemistry, Mineral chemistry*