

The Fortuna Gold Skarn, Nambija District (Cordillera Real, Ecuador)

MARKOWSKI Agnès; Mars 2003

Supervisor: Prof L. Fontboté, Institut de Minéralogie, Université de Genève

Le skarn aurifère de Fortuna est situé dans le nord du District de Nambija au sud de l'Equateur, à une altitude variant entre 1600 et 1700 mètres. Selon Meinert (1998 et 2000), le skarn de Nambija appartient à la classe des skarns oxydés calciques. Il s'est développé près d'intrusions felsiques d'âge inconnu et dans des roches volcaniques appartenant à l'Unité de Piuntza. Les intrusions comprennent des corps porphyriques de composition dioritique et une intrusion équigranulaire (pouvant appartenir au batholithe de Zamora) de composition granodioritique à monzodioritique. Selon la classification géochimique de Pearce et al. (1984) ces intrusions montrent des compositions de granite d'arc volcanique. Fortuna contient quatre secteurs prospectés dont certains exploités et qui sont répartis sur environ 1 km de long. Ces secteurs sont du nord au sud: le Cuerpo 3, la Mine 1, la Mine 2 (la seule exploitée actuellement) et le secteur sud situé près de l'intrusion porphyrique de Fortuna. A Fortuna, les teneurs en or varient de 5 à 10 g/t. La minéralisation aurifère est essentiellement concentrée le long de grandes failles orientées N10°E-N60°E. La concentration en métaux de base est faible (avec des teneurs dans les échantillons sélectionnés allant jusqu'à 150 ppm pour le Cu et 300 ppm pour le Zn). Sur la base de la minéralogie, deux phases principales du skarn ont été mises en évidence: une phase prograde, composée de grenat, pyroxène et accessoirement d'épidote, et une phase rétrograde peu développée et composée d'épidote, quartz et feldspaths dans un premier temps, puis de calcite, chlorite, or, hématite, pyrite, et séricite dans un deuxième temps.

Deux types de skarn à grenat ont été identifiés sur le terrain, leur morphologie est soit rubanés, soit irrégulière, à l'échelle de l'affleurement: (1) un skarn à grenat brun, généralement massif essentiellement composé de grenats, (2) un skarn à grenat bleu-vert, constitué de grenat, pyroxène et épidote, dans une matrice de quartz. La couleur bleuâtre est due à la présence de quartz (jusqu'à 50% vol), alors que la couleur verte est due à la présence d'épidote et de pyroxène (jusqu'à 50% vol). De grands grenats, rouge-miel, apparaissant à l'intérieur du skarn à grenat vert ou brun, forment des concrétions qui peuvent atteindre quelques centimètres.

Les grenats isotropes forment la majeure partie du skarn à grenat brun (Ad99-40). Le skarn à grenat vert est généralement formé de grenats incolores à légèrement bruns, fortement anisotropes et riches en grossulaire. La composition moyenne varie entre Ad25-52 mais des grenats ayant des compositions plus extrêmes (en général: Ad15-80) existent aussi. Les concrétions de grenats rouge-jaune sont constituées de grenats isotropes, jaunes et dont la composition est proche du pôle andraditique (Ad99.5-97.0). Ils constituent l'essentiel des concrétions rouge-jaune, et en général représentent la dernière génération de grenat cristallisant partiellement dans des cavités.

Le pyroxène est une phase mineure du skarn excepté dans la partie nord de la concession de Fortuna et autour de la partie de la mine en cours d'exploitation (Mine 2), où affleure un skarn à pyroxène et un skarn à grenat-pyroxène respectivement. Les trois pôles du pyroxène montrent des variations de compositions tels que: Hd40.1-17.9 Di69.7-46.8 Jo19.1-7.05. Un enrichissement en Mn (2.5-6 poid%) et un léger enrichissement en Fe (7-11 poid%) sont observés à partir de la mine

actuellement exploitée jusqu'au Cuerpo 3 (1 km en direction du nord). Le pyroxène forme des grains subidiomorphes qui remplacent parfois le grenat (principalement la variété alumineuse).

Dans le secteur nord de la mine, l'épidote (Ep9.8-17.7) constitue une des deux phases principales et semble parfois remplacer le grenat. L'abondance de l'épidote et du pyroxène dans la Mine 1 et le Cuerpo 3, est interprétée comme reflétant la composition du protolithe. Le skarn à grenat de la Mine 2 et du secteur sud se sont probablement développés au dépend d'un protolithe riche en carbonate, comme le suggère la présence de reliques de bioclastes.

La faible quantité d'amphibole est attribuée à la rareté du pyroxène, dont elle est généralement le produit rétrograde. De plus, le skarn de Fortuna contient une phase rétrograde peu développée.

La chlorite peut être abondante par endroits, principalement autour des failles. Elle présente un rapport $Fe/(Fe+Mg)$ variant de 0.38 à 0.87. Trois géothermomètres ont été appliqués. La distribution des températures est bimodale avec des températures de 300-330°C pour la première population et 400 à 420°C pour la seconde. Les chlorites des échantillons provenant du Cuerpo 3, de la Mine 1 et du sud de la Mine 2 donnent de plus basses températures que ceux prélevés autour de la faille de direction N60°E. La chlorite tout comme le pyroxène montre un enrichissement en Mn vers le nord (2 à 4.5 poid%). Les autres minéraux rétrogrades du skarn sont le feldspath potassique, le plagioclase, le quartz, la calcite et la séricite. Ces minéraux ainsi que la chlorite et l'épidote cristallisent dans des veines centimétriques (N40°E-N60°E) et des ouvertures irrégulières. De fines veinules de calcite, sans orientation préférentielle, recoupent le tout. Les observations en cathodoluminescence ne permettent pas de mettre en évidence différentes générations de fluides à partir desquels cristalliserait la calcite.

L'or (5.9 à 14.6 poid% d'Ag, et traces de Cu et Hg) apparaît avec la calcite ou le quartz dans les fractures des grenats et aux joints de grains. La minéralisation est toujours encaissée dans le skarn. L'hématite semble plus fréquemment associée à l'or que la pyrite, ce qui pourrait indiquer une fugacité d'oxygène élevée lors du dépôt de l'or. Les isotopes de Pb ont été analysés sur quatre roches ignées de Fortuna. Les compositions isotopiques sont similaires à celles analysées dans des minerais provenant du District de Nambija.

La géochimie sur roche totale a été réalisée sur des échantillons prélevés dans les quatre parties de la concession. Un enrichissement en FeO en direction de la zone du Cuerpo 3 et du secteur sud a été observé. Un enrichissement en MnO et MgO a également pu être mis en évidence en direction du Cuerpo 3. La géochimie sur roche totale reflète la minéralogie des roches ainsi que la composition des minéraux. Les teneurs en or sont importantes au niveau de la Mine 1 et 2 (jusqu'à 2000 ppb en général, et deux valeurs à 3 et 33 g/t), elles montrent une tendance inverse à celles du Zn et du Cu, qui sont importantes dans le Cuerpo 3 et le secteur sud de la mine de Fortuna.

Les inclusions fluides primaires dans le quartz, montrent des températures d'homogénéisation variant entre 350°C et 200°C, des salinités intermédiaires (1.6-9.7 %poid éq. NaCl) et des rapports liquide/vapeur variables. Des inclusions fluides primaires à halite (32-36 %poid éq. NaCl) ont également pu être mises en évidence, et ont des températures d'homogénéisation totale variant de 218 à 268°C. Elles pourraient résulter de l'ébullition d'un fluide de salinité modérée.

Plusieurs arguments suggèrent que l'or est associé à la formation du skarn. L'un d'entre eux est que l'or apparaît toujours en association avec la phase rétrograde du

skarn. De plus, la minéralogie et la paragenèse de Fortuna sont similaires à celles d'autres skarns aurifères oxydés tels que McCoy, Nevada (Meinert, 1998). Dans la zone étudiée, les compositions des grenats riches en grossulaire et les compositions des pyroxènes riches en diopside, ont été observées à proximité des zones de failles N°10-N60°E de la Mine 2 et du secteur sud. Selon Meinert (1997) cette zonation peut être utilisée pour déterminer la zone proximale du pluton ou la source des fluides responsables du métasomatisme. De plus, la chlorite indique des températures plus élevées au niveau de la faille de direction N60°E de la Mine 2. Il est donc proposé que les failles N10°E-N60°E de la Mine 2 ont servi de conduits pour les fluides à l'origine de la formation du skarn et de la minéralisation aurifère. Ceci est en accord avec les teneurs élevées en or de la Mine 2. L'or a été transporté très probablement sous forme de complexes chlorurés, dans des conditions proches du tampon hématite/pyrite et à un pH voisin de la neutralité (basé sur la présence d'hématite proche de la zone source supposée, et de pyrite dans la zone nord, ainsi que de l'absence d'altération acide). Le dépôt pourrait avoir été provoqué par refroidissement du fluide. La teneur très basse en métaux de base étaye l'hypothèse de la pauvreté du fluide en sulfures réduits.