

MÉTALLOGÉNIE. — *Le grenat mixte grossulaire-almandin (spessartine) comme indicateur d'une source magmatique proche dans les gîtes de skarns à tungstène.* Note de **Michel Fonteilles** et **Daniel Garcia**, présentée par Jean Wyart.

Un grenat de composition mixte grossulaire-almandin (spessartine) dans lequel le rapport Fe^{++}/Mn sort de la gamme des compositions métamorphiques dans les schistes et grès banals apparaît de façon caractéristique dans les skarns minéralisés en tungstène lors du seul épisode métasomatique qui voit un apport important d'alumine. Tant par leur richesse en alumine que par leur rapport Fe^{2+}/Mn , les fluides minéralisants à ce stade ont nécessairement une origine en partie magmatique.

METALLOGENESIS. — Garnets of intermediate grossularite-almandine (spessartine) composition as characteristic of presence of a magmatic source in tungsten-bearing skarns.

In tungsten bearing skarns, an intermediate grossularite-almandine (spessartine) composition, with Mn/Fe^{++} ratios extending far beyond the usual range in metamorphosed rocks of pelitic origin, is characteristic of the metasomatic stage of strong alumina enrichment. In these fluids, the high alumina content and Mn/Fe^{++} ratio are interpreted as a proof of magmatic contribution.

Il existe dans de nombreux gisements de tungstène du type skarn (Salau (Ariège) [1], Costabonne (Pyrénées orientales) [2], Fumade (Tarn) [3], Covas (Minho, Portugal), Kuga, Fujigatani, Kagata (Japon) [4]), des grenats qui présentent une composition particulière : mélange en proportions variables de deux pôles, dont l'un est un grossulaire à environ 10 % d'andradite et l'autre un almandin-spessartine. La proportion molaire d'almandin + spessartine peut atteindre 60 %.

Ce type de grenat occupe une position définie dans l'évolution paragenétique des skarns. Il n'apparaît pas dans les deux stades les plus précoces qu'on peut, très schématiquement, caractériser comme suit : 1, stade à grossulaire, idocrase, diopside/salite, wollastonite ou éventuellement forstérite + calcite en milieu dolomitique; 2, stade à hedenbergite et grenat de la série grossulaire-andradite (almandin + spessartine ≤ 5 % molaire).

Il est à peu près contemporain du stade 3 qui comporte les premiers minéraux hydratés. Ainsi, à Salau, son apparition fait suite à un premier stade où épidote et hornblende ferrifère se développent aux dépens des veines granodioritiques. Il est lui-même parfois accompagné d'une zone contemporaine à hornblende ferrifère-scapolite, et sa formation précède un second épisode à épidote. Ce dernier correspond au stade principal 4 de développement des paragenèses silicatées, avec, selon les roches de départ, quartz, calcite, actinote, épidote, chlorite ou quartz, épidote, chlorite, albite, muscovite.

Le stade 1 est caractérisé par un apport de silice de caractère assez local et sporadique d'ailleurs. Le stade 2 par un apport plus généralisé de silice, de fer et de manganèse. Le stade 4 ne témoigne pas d'une grande mobilité des constituants de la paragenèse silicatée. L'une des particularités du stade 3 est de s'accompagner d'un apport très important d'alumine. Le résultat est le développement de grenatites plus ou moins massives, dans lesquelles le grenat en question apparaît en veines, en encroûtements de géodes et souvent, dans des skarns très poreux, en surcroissances externes sur des grenats grossulaire ou andradite formés au cours des stades 1 et 2. Il se distingue souvent à l'œil des autres grenats par une couleur un peu différente, le plus souvent rouge ou plus orangée.

La relation de ce grenat avec la minéralisation en tungstène n'est pas simple. Dans de nombreux cas on peut admettre qu'une minéralisation précoce est associée aux paragenèses silicatées 1, 2 et/ou 3 des skarns. Il s'agit d'une minéralisation dispersée, à teneurs faibles à modérées. Les hautes teneurs qu'on observe dans un gîte tel que Salau sont liées à la phase 4. On ne sait pas, en l'état actuel des choses, caractériser un stade de

minéralisation en tungstène spécifiquement lié au stade 3 de développement des paragenèses silicatées. Pourtant, et c'est le point essentiel d'un point de vue pratique, il semble que ce stade 3 et son grenat caractéristique n'apparaissent que dans les gîtes bien minéralisés en scheelite et en relation toujours très proximale avec cette minéralisation.

Dans certains gîtes de skarns (par exemple Covas), la fluorine abondante accompagne ce grenat du stade 3, dans d'autres c'est le scapolite accompagné ou non d'une hornblende vert bleuté très riche en fer (par exemple à Salau, Quartier Véronique). Il est donc probable que F et/ou Cl jouaient un rôle important dans les solutions qui ont apporté l'alumine au stade 3.

L'idée générale qui nous paraît constituer la seule base saine pour l'étude des skarns est que ceux-ci se sont développés dans une roche plus ou moins calcique par réaction avec des fluides d'origine *a priori* inconnue. Certaines de ces roches calciques (les marbres purs) étant particulièrement pauvres en tous éléments autres que C, O, Ca et Sr, il apparaît que l'essentiel des particularités chimiques des skarns par rapport aux compositions banales de départ est dû à un apport (d'origine non définie, mais à coup sûr étrangère au milieu-piège) par les solutions percolantes responsables de la formation des skarns. En particulier les apports souvent évidents de W, de Fe et Mn, de F et Cl et de Al ont cette origine.

La relation avec les granitoïdes des skarns minéralisés en tungstène est aussi étroite et constante que celles des gîtes dits de départ acide (veines à quartz, wolframite, greisen, etc.). Il est permis dans ces conditions de penser que les deux types de gîtes ont été produits par le même type de solutions, le piège seul étant différent. La nature des éléments apportés par les solutions est très analogue dans les deux cas. On peut montrer que la diversité des paragenèses observée dans les skarns (qui contraste avec la relative uniformité des paragenèses des gîtes de départ acide) s'explique très simplement par la variété des matériaux supports des skarns (calcaires purs ou impurs, dolomitiques ou non, graphiteux ou non).

Dans le dispositif granite-gîtes de départ acide, l'alumine est peu mobile, bien qu'une frange de muscovite assez mince soit souvent déposée aux deux épontes des filons et que ceux-ci puissent contenir couramment un peu de feldspath potassique, de béryl et/ou de tourmaline; les greisens témoignent souvent, par la constance du rapport Ti/Al, d'un comportement parfaitement inerte de l'alumine. Les seules roches portant la marque d'une mobilité massive de l'alumine sont les roches feldspathisées (microclinites, albitites et « épisyénites feldspathiques » des gîtes d'uranium). Si l'analogie entre les skarns et les gîtes filoniens est justifiée, les fluides responsables du développement du stade 3 des skarns doivent correspondre à ceux responsables des phénomènes de feldspathisation dans les gîtes de départ acide. En fait, dans ce dernier cas, il ne s'agit pas de fluides acides puisqu'ils sont capables de transformer en feldspaths alcalins le quartz et la muscovite. On peut comprendre l'origine de ces fluides s'ils sont générés en profondeur dans un milieu quartzo feldspathique comportant un feldspath alcalin et subissent une rapide chute de pression [5]. De tels fluides, s'ils n'ont pas le temps de s'équilibrer avec un environnement à quartz-muscovite au cours de leur chute de pression, se retrouvent finalement alcalins par rapport à l'association minérale du granite et susceptibles de l'attaquer et de le remplacer par un feldspath alcalin massif. Or, du fait de leur caractère alcalin, ces fluides sont susceptibles de transporter l'alumine (M. L. Pascal) [6]. Ces fluides, capables de déposer des feldspaths, présentent de ce fait une signature beaucoup plus clairement « granitique » que les fluides responsables de la formation des greisens

et veines de quartz qui sont agressifs eux aussi par rapport au granite mais qui, eux, développent aux dépens du granite une paragenèse à quartz-muscovite, plus analogue à l'association minérale naturelle des schistes.

De même qu'il est raisonnable de penser que skarns et gîtes de départ acide sont le résultat de l'action de fluides identiques sur des supports de nature différente, de même on peut identifier le stade où dans chaque cas l'alumine se trouve transportée en masse, comme le même stade de l'évolution physicochimique de la solution minéralisante. Le grenat mixte grossulaire-almandin (spessartine) peut alors être considéré comme le témoin de la circulation de fluides alcalins d'origine granitique; plus précisément, comme dans le cas des phénomènes de feldspathisation, sa présence indique, si ce modèle est correct, une situation relativement amont sur le trajet de ces fluides. La teneur en almandin-spessartine de ce grenat (20 à 60 %, alors qu'aux stades 1 et 2 elle ne dépasse guère 5 %) peut être considérée à plusieurs points de vue comme une confirmation de son origine granitique. D'une part, dans ces grenats, la proportion de spessartine par rapport à l'almandin montre des variations importantes et dépasse souvent très largement la gamme caractéristique des compositions des grenats dans les roches métamorphiques courantes. En outre ces grenats présentent des zonations de croissance spectaculaires en Fe/Mn souvent récurrentes que l'on ne peut attribuer à la circulation de fluides équilibrés avec le milieu métamorphique. D'autre part la cristallisation fractionnée des magmas granitiques conduit presque toujours à un stade suffisamment avancé (et variable toutes choses égales d'ailleurs selon la teneur en fer et probablement les conditions d'oxydo-réduction) à la précipitation d'un grenat à composition rapidement variable, mais toujours dans la gamme spessartine-almandin. Un fluide en équilibre avec un magma précipitant un tel grenat sera saturé par rapport à ce type de grenat et on conçoit facilement (si le milieu est suffisamment réducteur), qu'il tende à infléchir la précipitation du grossulaire, grenat banal obtenu par réaction avec le calcaire des fluides des stades 1 et 2, vers celle d'un grenat mixte grossulaire-almandin (spessartine).

Si le milieu est moins réducteur, ce type de grenat mixte ne se formera pas, mais on observera probablement à sa place le développement par l'action des mêmes fluides sur les skarns des stades 1 et 2 d'une association de magnétite et feldspath alcalin, qui est celle que l'on observe dans le gisement chinois de Shizuyuan (Hunan) [7]. Ce gisement présente un large développement de skarns à bien des égards analogues à ceux de Salau, mais, à la différence du cas de Salau, les marbres y sont dépourvus de graphite, ce qui est probablement la cause du caractère plus oxydant des fluides. On peut noter que l'envahissement des skarns par du feldspath alcalin, soit de façon interstitielle (Yaogangshen, Hunan), soit en veines (Ity, Côte-d'Ivoire) [8], soit en masses tendant à remplacer les minéraux primaires des skarns, n'est pas un phénomène exceptionnel. Cette constatation tend à justifier l'identification des fluides porteurs de la minéralisation proposée plus haut.

Dans les gîtes de départ acide on n'observe pas de grenat almandin-spessartine, mais les fluctuations du rapport Fe/Mn dans la wolframite ne sont pas sans analogie avec celles observées dans ces grenats. L'existence fréquente de compositions précoces riches en hubnérite peut être le reflet de la richesse en manganèse des premiers grenats cristallisant à partir du liquide granitique. L'origine magmatique de ces fluides déposant des hubnérites paraît dans ces conditions très probable et leur stade de séparation du magma particulièrement bien défini.

En conclusion pratique à cette discussion de la signification du grenat mixte grossulaire-almandin (spessartine) dans les skarns nous proposons de considérer, sur la base du

modèle que nous venons de développer et par analogie aux divers cas de gisements bien étudiés, l'existence dans un skarn de tels grenats et/ou d'autres indices de mobilité massive de l'alumine (feldspathisation...) comme indication :

1. de minéralisation probable du skarn considéré avec teneurs initialement non économiques en WO_3 (mais susceptible de le devenir au cours de stades hydrothermaux plus tardifs);
2. d'une participation nécessaire de fluides d'origine magmatique, puisqu'au même titre que la feldspathisation la présence de tels grenats est le signe d'une mobilité en masse de l'alumine;
3. d'une situation relativement proche de cette source magmatique.

Remise le 25 février 1984.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] J. L. KAELEN, Communication personnelle.
- [2] B. GUY, Pétrologie et géochimie isotopiques (S, C, O) des skarns à scheelite de Costabonne, Pyrénées Orientales, *Thèse*, Paris, 1979.
- [3] G. ACUANA-SORRIAUX, Le métamorphisme de contact du granite du Sidobre, Tarn, *Thèse*, Toulouse, 1981.
- [4] H. SHIMAZAKI, *Canadian Mineralogist*, 15, 1977, p. 74-80.
- [5] M. FONTEILLES et M. L. PASCAL, *Comptes rendus*, 300, série II, 1985, p. 755-758.
- [6] M. L. PASCAL, Nature et propriétés des espèces en solution dans le système $K_2O-Na_2O-SiO_2-Al_2O_3-H_2O-HCl$: contribution expérimentale, *Thèse*, Paris, 1984.
- [7] WANG Changlie, XU Youzhi, XIE Ciguo et XU Menguang, *Tungsten Geology Symposium*, Jiangxi, China, E.S.C.A.P./R.M.R.D.C. Bandung, Indonesia, 1982, p. 413-422.
- [8] J. P. JAJONIE et M. FONTEILLES, 1968, *Chronique des Mines et de la Recherche Minière*, n° 373, 1968, p. 143-153.

M. F. et D. G. : U.A. C.N.R.S. n° 040384;

M. F. : *Laboratoire de Géologie appliquée*,
4, place Jussieu, Université Pierre-et-Marie-Curie, 75230 Paris Cedex 05;

D. G. : *Laboratoire de Géologie, École des Mines*,
158, cours Fauriel, 42023 Saint-Étienne Cedex.