

INTERPRETATION DES ANOMALIES OPTIQUES DES GRENATS DES SKARNS DE LA KABYLIE DE COLLO

Reçu le 26/02/2001 – Accepté le 20/05/2002

Résumé

Les grenats formant la zone interne des colonnes métasomatiques des skarns de la Kabylie de Collo (Nord-Est algérien) appartiennent à la série grossulaire / andradite. La composition chimique et les caractères optiques de ces grenats permettent de distinguer deux générations de grenats :

- une première génération de composition proche de l'un des deux pôles (grossulaire et/ou andradite) parfaitement isotrope;
- une deuxième génération de composition intermédiaire (ougrandites), montrant en lame mince une anisotropie marquée par des zones concentriques parallèles à la bordure du cristal, alternativement isotropes et anisotropes (macles en lamelles) et par secteurs plus ou moins réguliers (macle en secteur ou macle de type pyrénéite).

Les profils de variation chimique obtenus par traversée à la microsonde électronique sur des sections de grenat zonées laissent apparaître une superposition d'une zonation chimique Fe^{3+}/Al et/ou $Fe^{2+}+Ti^{4+}/Al$ à une zonation optique de biréfringence en lamelles. La substitution du Fe^{3+} par Al et/ou du Al par le couple ($Fe^{2+}+Ti^{4+}$) dans le site octaédrique du grenat en fin de processus métasomatique, semble être à l'origine d'un désordre dans la structure cristalline du grenat qui se traduit par une anomalie optique.

Mots clés: Skarns, grossulaire, andradite, zonation chimique et optique, substitution.

Abstract

The garnets forming the skarn metasomatic column internal zone of the Kabylie-Collo (eastern Algeria) belong to grossular / andradite unit. The chemical composition and the optical characteristics of these garnets lead to distinguish two generations:

- a first generation of composition near one of the two poles (grossular and/or andradite) perfectly isotropic;
- a second generation of an intermediate composition (ougrandite), showing in thin sections an anisotropy marbled by a concentric zones, parallel to the border of crystal, alternately isotropic and anisotropic (macle in lamellae) and by sectors more or less regular (macle in sectors or macle type pyreneite).

The chemical variation profiles obtained crossing-over using the electronic microprobe on zoned garnet sections reveal a superimposition of chemical zonation Fe^{3+}/Al and/or $Fe^{2+}+Ti^{4+}/Al$ to optical zonation of birefringence in lamella. The substitution of Fe^{3+} by Al and/or of Al by the ($Fe^{2+}+Ti^{4+}$) in octahedric site of garnet crystal at the end of the metasomatic process, seems to be at the origin a disorder in the crystalline structure of garnet leading to an optical anomaly.

Key words: Skarn, grossular, andradite, chemical and optical zonation, substitution.

Y. BOUFTOUHA

Faculté des Sciences de la Terre
de la Géographie et de
l'Aménagement
Université Mentouri
25000 Constantine, Algérie

ملخص

فلزات الغرونات المكونة للمنطقة الداخلية لأعمدة الصخور الاستعاضية (أو صخور أسكارن) لمنطقة قبائل القل (الشمال الشرقي الجزائري) تنتمي إلى سلسلة الغروسيلار و الأندريدت série grossulaire / andradite التركيب الكيميائي و الخواص الضوئية لهذه الفلزات تمكن من تمييز جيلين من الغرونات:

- الجيل الأول من الغرونات : ذو تركيب كيميائي قريب من أحد القطبين (قطب الغروسيلار أو الأندريدت) متساوي الخواص الضوئية
- الجيل الثاني من الغرونات : ذو تركيب كيميائي متوسط و الذي يظهر تحت المجهر متكون من تناوب صفائح موازية لحواف البلورة ، تارة متساوية الخواص الضوئية و تارة متباينة الخواص الضوئية .

المقاطع الخاصة بالتغير في التركيب الكيميائي لفلزات الغرونات ذات التمنطق المحصل عليها عن طريق الميكرو سوند الإلكترونية في الصفائح ذات التمنطق تبين توافقاً بين التمنطق الكيميائي Fe^{3+}/Al أو $Al^{3+}/Ti^{4+}+Fe^{2+}$ و تمنطق في ضوئي ممثل بتناوب صفائح متساوية الخواص و صفائح متباينة الخواص الضوئية استبدال Fe^{3+} بـ Al أو $Al + Fe^{3+}$ بـ $Fe^{2+}+Ti^{4+}$ في موقع ثماني الوجوه في بنية الغرونات عند نهاية الظاهرة الاستعاضية يحدث خلل بالبنية الكريستالوغرافية لفلز الغرونات و التي تظهر على شكل شذوذ ضوئية.

الكلمات المفتاحية: صخور أسكارن، سلسلة الغروسيلار و الأندريدت، التركيب الكيميائي، الخواص الضوئية.

Les lois physiques de base régissant les processus métasomatiques dans les ensembles rocheux ont été établies pour l'essentiel par D. Korzhinskii [1]. Celles-ci montrent que le phénomène de percolation est principalement induit par une solution en mouvement sous l'action de son gradient de pression et/ou de température. Schématiquement, ces processus qui ont été discutés par Hofmann [2], Burt [3], Fonteilles [4], Einaudi et al. [5], Guy [6], etc., consistent en un échange d'éléments chimiques, conduisant à un équilibre entre la solution mobile et l'ensemble rocheux percolé.

L'expression finale de ces échanges entre la roche percolée et la solution se traduit par le développement d'une suite de zones métasomatiques à minéralogies souvent contrastées et séparées par des limites généralement brutales (fronts métasomatiques). C'est cette suite de zones métasomatiques qui forme la colonne métasomatique des skarns.

Les occurrences de skarns associées aux granites miocènes de la Kabylie de Collo (N.E algérien), résultent de la percolation de matériaux variés : marbre dolomitique, roches silico-alumineuses et roches mixtes par des fluides hydrothermaux post-magmatiques [7,8].

Dans ces skarns, le grenat de la zone interne de la colonne métasomatique sur marbre dolomitique est de composition chimique dominée par la composante andradite, et le grenat de la

zone interne des colonnes métasomatiques développées sur roches silico-alumineuses et mixtes est de composition chimique dominée par la composante grossulaire.

L'observation optique et l'analyse minéralogique de ces grenats ont révélé la superposition d'une zonation chimique à une zonation optique de biréfringence.

Cet article a pour objet de faire ressortir l'étroite relation entre la variation chimique et l'anomalie optique dans ces grenats et de trouver une réponse à ce problème.

PRINCIPALES CARACTERISTIQUES MINERALOGIQUES ET CHIMIQUES DES GRENATS DES SKARNS DE LA KABYLIE DE COLLO

Grenats des skarns sur marbre dolomitique

La zone interne du skarn sur marbre dolomitique est formée par une grenatite massive pratiquement monominérale de couleur brune foncée à jaune verdâtre. Cette grenatite montre une grande porosité, marquée par des cavités géodiques et des vides intergranulaires. Dans les vides de la roche, s'observent souvent des cristaux de grenat automorphes de taille relativement importante.

L'examen microscopique de ces grenats laisse apparaître que ces derniers sont représentés par des sections hexagonales, losangiques ou carrées, montrant un cœur généralement isotrope, entouré par des lamelles concentriques parallèles à la bordure du cristal, alternativement isotropes et anisotropes (Photo 1). A cette anomalie optique de biréfringence en lamelles, s'ajoute une autre anomalie optique de biréfringence en secteur (maclé de type pyrénéite).

Le phénomène de biréfringence de ces grenats apparaît particulièrement exprimé dans les zones en contact des fractures et des vides géodiques (Photo 1). En effet, les plus hautes valeurs de la biréfringence des cristaux de grenats s'observent dans ces zones. Par ailleurs, dans les grenats occupant les vides de la roche, le phénomène de biréfringence atteint même le centre des cristaux.

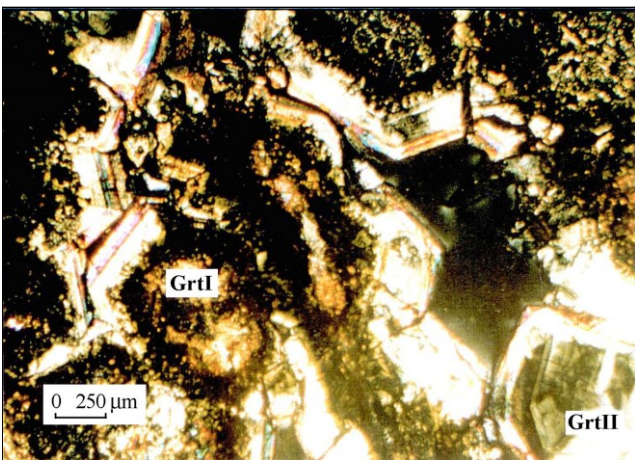


Photo 1: Grenats du skarn sur marbres dolomitiques de la Kabylie de Collo.

Grt I: Grenat isotrope,
Grt II: grenat anisotrope.

Composition chimique des grenats sur marbre dolomitique

Les grenats formant la masse de grenatite appartiennent à la série grossulaire-andradite et ont des teneurs en andradite variant de 70 % à 100 %. Leur teneur en composante pyralspite (Pyrope + almandin + spessartine) est très faible, de l'ordre de 1 % à 2 % (Fig. 1).

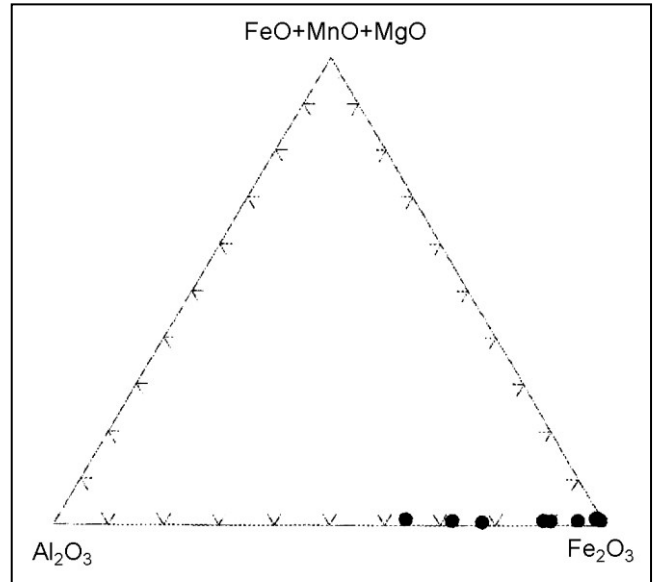


Figure 1: Position des grenats du skarn sur marbre dolomitique dans le diagramme triangulaire Al₂O₃- Fe₂O₃-MgO+FeO+MnO.

Les profils de variation chimique obtenus par traversée à la microsonde électronique sur des sections zonées montrent d'une part, une parfaite correspondance entre la variation de composition chimique et l'anomalie optique (les parties isotropes de ces grenats correspondent à une composition proche du pôle andradite, alors que les parties anisotropes correspondent à une composition intermédiaire) et d'autre part, la biréfringence est d'autant plus prononcée dans les parties externes de ces grenats où la variation de composition chimique est plus accentuée que dans les parties internes, où la variation de composition chimique est moins importante (Fig. 2).

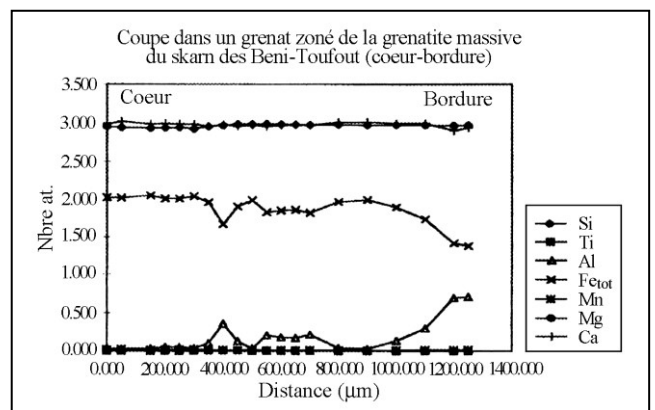


Figure 2: Profils de variation chimique dans un grenat zoné du skarn sur marbre dolomitique.

Par ailleurs, ces profils laissent apparaître que le fer ferrique et l'aluminium sont les éléments chimiques principalement affectés par la substitution dans ces grenats. Ces deux éléments montrent une parfaite corrélation négative (Fig. 3).

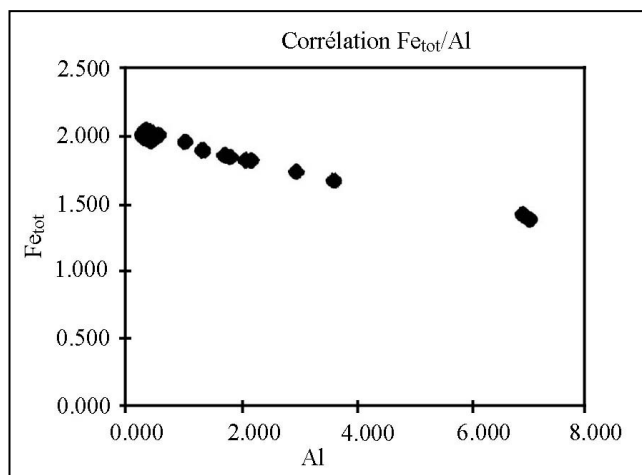


Figure 3: Corrélation négative entre le Fe_{tot} / Al dans un grenat zoné du skarn sur marbre dolomitique.

Grenats des skarns sur roches silico-alumineuses et mixtes

La zone à grenat des skarns sur roches silico-alumineuses et mixtes est largement développée. Elle se caractérise par une couleur rouge brun, un aspect caverneux, et une granulométrie assez importante (les cristaux de grenats pouvant atteindre parfois 1 à 2 centimètres de diamètre).

Les caractères optiques et texturaux des grenats des skarns sur roches silico-alumineuses et mixtes permettent de distinguer deux générations de grenats:

- une génération primaire, exprimée en plages xénomorphes, parfaitement isotropes et englobant poecilitiquement des reliques d'idocrase, d'épidote, de pyroxènes et parfois de wollastonite;

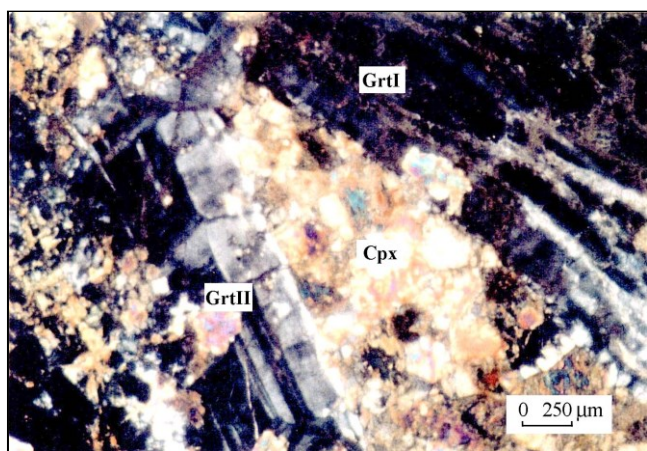


Photo 2: Grenats du skarn sur roches calcaro-pélimitiques de la Kabylie de Collo.

Grt I: Grenat isotrope,
Grt II: grenat anisotrope.

- une deuxième génération, développée généralement dans les vides de la roche, caractérisée par une tendance au développement des formes cristallines, l'absence d'inclusions, un zoning et surtout par une anomalie optique marquée par une biréfringence en lamelles parallèles à la bordure des grains (Photo 2).

Composition chimique des grenats des skarns sur roches silico-alumineuses et mixtes

Les grenats des skarns sur roches silico-alumineuses et mixtes appartiennent à la série grossulaire / andradite. Les grenats primaires montrent une teneur en composante grossulaire comprise entre 70% et 90%, une teneur en composante pyralspite très faible et des teneurs en titane relativement élevées. Les grenats tardifs de la deuxième génération montrent une teneur en composante grossulaire relativement moins importante que celle des grenats primaires, mais une teneur en composante pyralspite beaucoup plus importante que celle des grenats primaires (Fig.4).

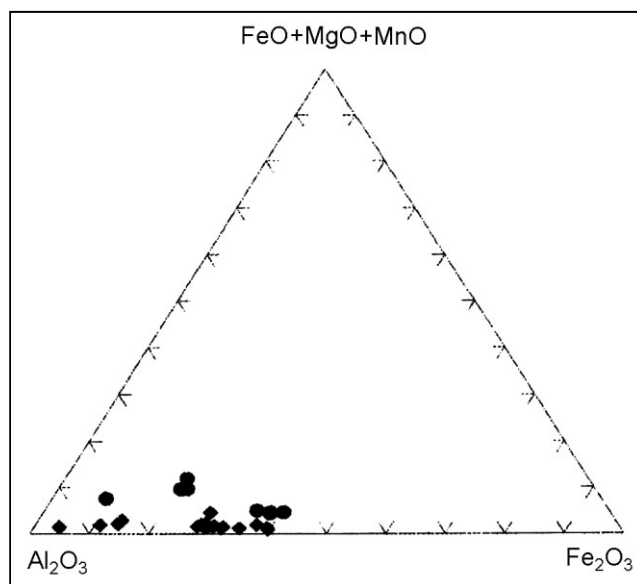


Figure 4: Position des grenats des skarns sur roches silico-alumineuses et mixtes dans le triangle Al_2O_3 - Fe_2O_3 - $FeO+MgO+MnO$. ♦: Grenats primaires (de la première génération). •: Grenats tardifs (de la deuxième génération).

Les profils de variation chimique des différents éléments, obtenus par traversée à la microsonde électronique de grenats zonés tardifs montrent que les éléments chimiques qui ont une certaine variation de teneurs sont le titane (Ti) et le fer (Fe), et dans des proportions moindres, l'aluminium (Al). Ces profils laissent apparaître une étroite relation entre la variation de la teneur du titane et du fer. En effet, lorsque la teneur en titane augmente, celle du fer diminue (Fig. 5). La variation des teneurs en Ti et $Al + Fe^{3+}$ dans ces grenats est parfaitement traduite par une corrélation négative (Fig. 6).

Ce phénomène de biréfringence des grenats a été également signalé dans les grenats des skarns du massif du Filfila [9] et dans ceux de l'Edough [10].

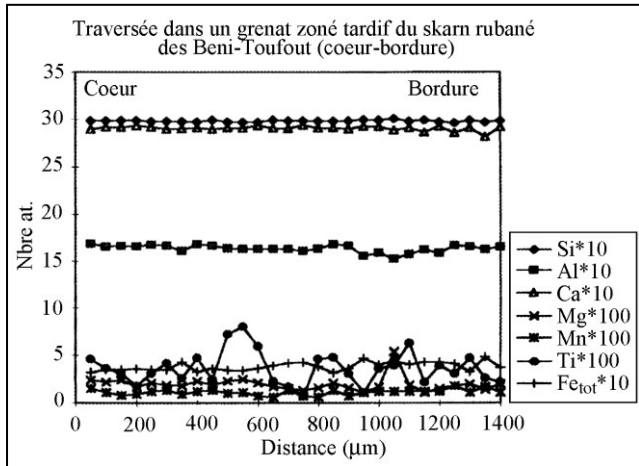


Figure 5: Profils de variation chimique dans un grenat zoné tardif de la deuxième génération des skarns sur roches silico-alumineuses et mixtes.

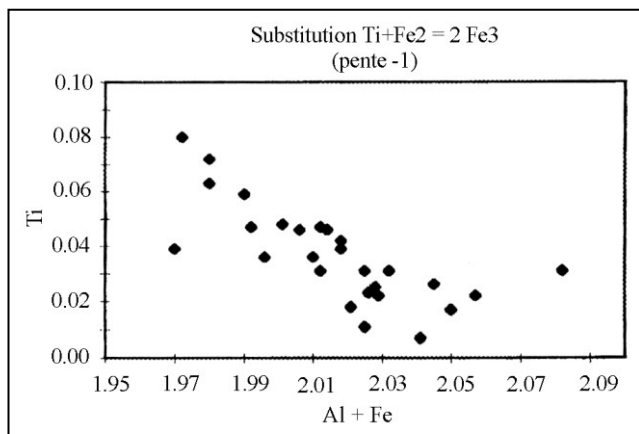


Figure 6: Corrélation négative entre Al+Fe et Ti dans les grenats des skarns sur roches silico-alumineuses et mixtes.

Les analyses chimiques des grenats des skarns de la Kabylie de Collo (Annexe: Tab. 1 et 2) montrent un mauvais bouclage. Ce mauvais bouclage est dû en partie au non dosage de certains éléments tels que H₂O, l'étain (Sn), l'Yttrium (Y), le Fluor (F), mais aussi probablement à un mauvais calibrage de l'appareil et/ou à une mauvaise métallisation des lames.

En résumé, il ressort, des observations optiques et des données chimiques des grenats des skarns de la Kabylie de Collo, que le phénomène de la variation de la composition chimique et l'apparition d'anomalies optiques restent limités aux grenats des parties de la roche contiguës aux fractures et vides géodiques. Dans les zones de fractures et des vides géodiques, le grenat andraditique primaire des skarns sur marbre dolomitique subit un remplacement rythmé ou oscillatoire du Fe³⁺ par Al et le grenat alumineux primaire des skarns sur roches silico-alumineuses et mixtes un remplacement rythmé ou oscillatoire du couple (Al + Fe³⁺) par le couple (Ti + Fe²⁺). La variation de la composition chimique de ces grenats s'accompagne par l'apparition d'une biréfringence en lamelles alternativement isotropes et anisotropes. Les lamelles isotropes correspondent à une

composition chimique proche de l'un des pôles, alors que les lamelles anisotropes correspondent à une composition intermédiaire.

L'incorporation du Al à la place du Fe³⁺ et/ou du couple (Ti + Fe²⁺) à la place du couple (Al + Fe³⁺) dans le réseau du grenat semble induire un désordre dans la structure cristalline de ce dernier, ce qui se traduit par une anomalie optique.

ELEMENTS D'INTERPRETATION DE LA ZONATION CHIMIQUE ET OPTIQUE DES GRENATS DES SKARNS DE LA KABYLIE DE COLLO

Avant d'aborder la discussion des causes qui sont à l'origine du phénomène de variation chimique et des anomalies optiques des grenats des skarns de la Kabylie de Collo, nous rappelons brièvement certains travaux se rapportant à ce phénomène.

Goldsmith, cité par Verkaeren [11], fut le premier à signaler l'existence d'une biréfringence en secteur et en lamelles dans les grenats de la zone de Kristiana. Store *et al.*, cité également par Verkaeren [11], observèrent le même phénomène dans les grenats remplissant les cavités d'un conglomérat triasique de Pennsylvanie et Ingerson *et al.* [12], dans les grenats de l'auréole de contact d'un stock granodioritique du Nevada. Le phénomène de biréfringence de ces grenats a été attribué, par ces auteurs, à un développement de macles.

Par la suite, d'autres interprétations ont été données à ce phénomène de biréfringence des grenats, dont celle de Shase *et al.* [13], qui ont attribué la biréfringence en lamelles des grenats à un phénomène de tension dans le cristal.

Pour sa part, Dimanche [14] estime que l'isotropie et l'anisotropie du grenat du type "ferro-grossulaire" peut être ramenée à une question d'ordre et de désordre dans la structure cristalline de ce dernier. Ces variations proviendraient du caractère tantôt désordonné, tantôt ordonné de l'arrangement des ions Ca et Fe³⁺ en site X et des ions Al et Fe³⁺ en site Y (formule générale du grenat X₃Y₂(SiO₂)₃).

Pour Verkaeren [11], le phénomène de zonation chimique Fe³⁺/Al et de biréfringence des grenats tardifs des skarns serait lié à de brusques variations du contexte physico-chimique du milieu, sans doute liées à l'évolution d'un paramètre tel que la fugacité de l'oxygène. L'auteur fait remarquer que l'apparition d'un état de tension dans le cristal est tributaire du caractère oscillatoire des conditions chimiques de la croissance des grains.

Pour Blanc et Maisonneuve [14], le phénomène d'anisotropie observé dans les grenats calciques de la série grossulaire / andradite est dû à un effet magnéto-optique lié à la présence d'ions magnétiques substitués au calcium dans les sites c du groupe spatial du grenat. Les ions substitués, responsables de cet effet, sont des terres rares du groupe des terres yttriques.

De leur côté, Deer *et al.* [16], font remarquer que les grenats affectés par le phénomène d'anisotropie appartiennent généralement à la série grossulaire / andradite.

Pour Fraga *et al.* [17], la relation d'ordre à courte

distance entre calcium et aluminium serait à l'origine de la biréfringence des grenats. D'après ces auteurs, la relation d'ordre à courte distance entre calcium et aluminium augmente l'ordre de répartition des cations dans la structure du minéral, et diminue la symétrie, de sorte que l'on passe d'une symétrie cubique, d'où isotropisme, à une symétrie inférieure, d'où anisotropisme.

Pour Jamtveit [18], la zonation des grenats tardifs peut être expliquée par un phénomène d'immiscibilité de compositions de grenat grossulaire / andradite (grandite). A basse température (400°C - 500°C), la zonation du grenat (grandite) est fonction de facteurs internes et externes: comme facteur interne, la libération d'énergie durant la croissance épitaxiale et comme facteur externe, la variation de la composition des fluides hydrothermaux à partir desquels le grenat précipite.

Les données chimiques et optiques, pour les grenats des skarns de la Kabylie de Collo, montrent que les phénomènes de variation chimique et de biréfringence apparaissent dans les grenats de composition intermédiaire. Ces phénomènes se manifestent en fin du processus métasomatique. En effet, les phénomènes de variation chimique et de biréfringence apparaissent dans les grenats primaires qui ont subi un rééquilibrage chimique partiellement ou totalement avec un fluide tardif, ainsi que dans les grenats tardifs résultant de la précipitation directe à partir de ce fluide tardif dans les vides de la roche.

L'examen du phénomène de la zonation chimique et d'anisotropie des grenats tardifs des skarns de la Kabylie de Collo permet de relever une relation directe entre la variation de la composition chimique et l'apparition du phénomène de biréfringence. En effet, le remplacement du Fe^{3+} par Al dans les grenats andraditiques et du Al + Fe^{3+} par Ti + Fe^{2+} dans les grenats alumineux, s'accompagne par l'apparition d'une biréfringence dans les lamelles affectées par la substitution.

Ces substitutions chimiques semblent être directement liées à des fluctuations dans les conditions physico-chimiques du milieu, notamment, la variation de la fugacité d'oxygène dans le fluide tardif. et sa température. En effet, les fortes fugacités d'oxygène semblent favoriser l'incorporation du Fe^{3+} dans le site octaédrique du grenat, alors que les faibles fugacités d'oxygène semblent plutôt favorables à l'incorporation du Al et/ou du Ti + Fe^{2+} dans ce site. Cette variation dans l'état d'oxydation du fer qui se manifeste en fin du processus métasomatique semble être favorisée par une baisse de la température, comme l'indiquent les travaux de Perchuk et al. [19].

CONCLUSION

Les données géochimiques et optiques des grenats des skarns de la Kabylie de Collo permettent de relever une étroite liaison entre la variation de la composition chimique et l'anomalie optique de biréfringence.

La mise en jeu de l'aluminium dans les différentes substitutions observées dans les grenats anisotropes de la série grossulaire / andradite des skarns de la Kabylie de Collo, incite à lier le phénomène d'anisotropie à des variations de cet élément dans le réseau du grenat. En effet, l'incorporation du Al dans le réseau du grenat et/ou son

départ, semble induire un désordre dans la structure cristalline de ce dernier [18]. Ce désordre s'accompagne par l'apparition d'une anomalie optique de biréfringence.

L'incorporation du Al dans le réseau du grenat semble être contrôlée par deux facteurs: la fugacité d'oxygène et la température.

La baisse de température et de la fugacité de l'oxygène en fin du processus métasomatique semblent être deux facteurs qui favorisent l'incorporation du Al dans le réseau du grenat.

REFERENCES

- [1]- Korzhinskii D.S., "The theory of metasomatic zoning", Clarendon Press, Oxford, (1970), 162 p.
- [2]- Hofmann A., "Chromatographic theory of infiltration metasomatism and its application to feldspar", *Am. J. Sci.*, 271, (1972), pp. 69-90.
- [3]- Burt D.M., "Mineralogy and petrology of skarn deposits", *Soc. Ital. Miner. Petro. Rediconti.*, 33, (1977), pp. 859-873.
- [4]- Fonteilles M., "Les mécanismes de la métasomatose", *Bull. Minéral.*, 101, (1978), pp. 166-194.
- [5]- Einaudi M.T., Burt D.M., "Terminology, classification and composition of skarn deposits", *Econ. Geol.*, 77, (1982), pp. 745-754.
- [6]- Guy B., "Contribution to theory of infiltration metasomatic zoning: the formation of sharp fronts: a geometrical model", *Bull. Mineral.*, 107, (1984), pp. (93-105).
- [7]- Bouftouha Y., "Etude des skarns et indices métallifères de l'aurole métamorphique du massif granitique des Beni-Toufout (Kabylie de Collo, N.E. algérien)", Thèse de magister, Univ. de Constantine, (1989), 136 p.
- [8]- Bouftouha Y., "Pétrologie, géochimie et métallogénie des skarns de la Kabylie de Collo (Nord-Est algérien)", Thèse Doctorat d'Etat, Faculté des Sciences de la Terre, de la Géographie et de l'Aménagement, Univ. Mentouri-Constantine, (2000), 257 p.
- [9]- Bourefis A., "Etude pétrographique, minéralogique et métallogénique des skarns du djebel Filfila (Skikda, Algérie)", Thèse de magister, Univ. de Constantine, (1994), 245 p.
- [10]- Aissa D.E., "Etude géologique, géochimique et métallogénique du massif cristallophyllien de l'Edough-Annaba) et caractérisation des phases fluides minéralisatrices", Thèse Doctorat d'Etat, I.S.T. / U.S.T.H.B, Alger, (1996), 500 p.
- [11]- Verkaeren J., "Les grenats biréfringents des skarns à magnétite de San Leone (Sardaigne SW)", *Bull. Soc. Minéral. Cristallogr.*, 94, (1971), pp. 492-499.
- [12]- Ingerson E. and Barksdale J.D., *Amer. Mineralogist*, 28, (1943), pp. 303-312.
- [13]- Chase A.B. et Lefever R.A., *Amer. Mineralogist*, 45, (1960), pp. 1126-1129.
- [14]- Dimanche F., "Les skarns amphibolitiques à magnétite de Ginervo (Ile d'Elbe, Italie)", Thèse Doctorat, Fac. des Sciences, Univ. de Liège, (1969).
- [15]- Blanc et Maisonneuve, "Sur la biréfringence des grenats calciques", *Bull. Soc. Fr. Minéral. Cristallogr.*, 96, (1973), pp. 320-321.
- [16]- Deer W.A., Howie R.A., et Zussman J., "Rock-forming minerals : orthosilicates", Longman London, (1982).
- [17]- Fraga H., Gali S., Font Altaba M., "Sector zoning as a growth phenomenon and its influence in the optical properties of crystals. The case of Grossularite-andradite garnets", *Estudios Geol.*, 38, (1982), pp. 173-178.
- [18]- Jamtveit B., "Oscillatory zonation in hydrothermal grossular-andradite garnet: Nonlinear dynamics in regions of immiscibility", *American Mineralogist*, Vol. 76, (1991), pp. 1319-1327.
- [19]- Perchuk L.L., Aranovich L.Y., "Thermodynamics of variable composition; andradite-grossularite and pistachite-cinozoisite solid solution", *Phys. Chem. Minerals*, Vol.5, (1979), pp.1-14. □

