

SUR LA NATURE DES GRENATS DES TERRAINS MÉTAMORPHIQUES DU MASSIF DE MENDERES (SW DE LA TURQUIE)

P. de GRAGIANSKY

Ecole Nationale Supérieure des Mines, Paris

RÉSUMÉ. — L'étude minéralogique précise d'échantillons de grenats recueillis au sein des terrains métamorphiques du massif de Menderes aux environs de Milâs, a révélé une composition voisine de celle de l'almandin, pôle alumineux et ferreux de la série; une telle détermination coïncide avec les données de la bibliographie relative aux grenats de la mésozone dans le métamorphisme général.

La mesure des grandeurs physiques (indice de réfraction et paramètre cristallographique) de vingt cinq échantillons et l'analyse chimique de cinq témoins de ces grenats reflètent une remarquable constance de leur composition, des zones externes aux zones les plus profondes rencontrées.

INTRODUCTION

Le Taurus SW-anatolien comporte une zone axiale cristallophyllienne, connue sous le nom de massif de Menderes, ou massif des Méandres; elle forme un dôme complexe, granitique et gneissique, recouvert d'un ensemble détritique de conglomérats, de quartzites, de pélites, de calcschistes, surmonté d'une masse puissante de marbres marquée d'un niveau à émeris. La base de la série immédiatement sus-jacente aux gneiss est fortement recristallisée et les paragenèses minérales correspondent à celles du métamorphisme général; on y rencontre successivement de l'extérieur vers l'intérieur, dans les roches d'origine pélitique, la chlorite, l'épidote, le chloritoïde, puis la biotite, ensuite le grenat (Tableau 1). Les faciès métamorphiques que l'on peut définir par les associations de ces minéraux se répartissent en couronnes emboîtées autour du noyau gneissique, sur une épaisseur de terrains limitée à un millier de mètres environ; les isogrades correspondant à l'apparition de la biotite et du grenat sont souvent assez proches l'un de l'autre.

La disposition de certains minéraux présente une particularité: pour une part au moins, les biotites, les chloritoïdes, les minéraux opaques (ilménite) ont grandi en tous sens, à plat comme au travers du feuilletage et des microplis; n'étant pas orientés et encore moins déformés, ces cristaux paraissent avoir achevé leur croissance — sinon l'avoir effectuée totalement — après que se fussent relâchées les contraintes orientées, génératrices des déformations de leur roche hôte; le cas des grenats est comparable à cet égard: ils ne sont ni brisés, ni étirés et leurs lignes d'inclusions sont peu déplacées par rapport à la foliation.

Ces structures, ainsi que le resserrement relatif des zones autour du massif gneissique, sont généralement observés dans les conditions du métamorphisme de contact.

Le massif de Menderes présente ainsi des caractères intermédiaires entre deux types de métamorphisme, zonéographie, régulière et étendue du métamorphisme général,

Tableau - 1

Répartition des minéraux et des faciès métamorphiques sur la bordure S du massif de Menderes.

(Les hauteurs sont approximativement proportionnelles aux épaisseurs des terrains.)

Qz.: Quartz, msc.: muscovite, alb.: albite, chl.: chlorite, ép.: épidote, biot.: biotite, alm.: almandin.
+ : minéraux reconnus par R. D. Schuiling.

Classification d'Eskola (1939)	Classification de Turner et Verhaagen (1960)	Chlorite	Epidote	Chloritoïde	Biotite	Almandin	Staurotide +	Disthène +	Muscovite	Quartz	
Green schist faciès	Green schist faciès	sous-faciès à qz., alb., msc., chl.	■	■							Micaschistes
		sous-faciès à qz., alb. ép., biot.	■	■	■						
Epidote - amphibolite faciès		sous-faciès à qz., alb., ép., alm.	■	■	■	■	■				
Amphibolite faciès	Almandin- amphibolite faciès		■	■	■	■	■	■	■	■	Gneiss
		sous-faciès à staurotide et almandin					■	■	■	■	
		sous-faciès à disthène, almandin, muscovite							■	■	

Légende relative aux Tableaux 2 et 3

Les échantillons ont été recueillis dans les micaschistes de l'enveloppe sur deux coupes transversales à la bordure du massif, et d'autre part, dans les septas de micaschistes.

Les listes correspondent à un ordre de récolte des zones externes vers les zones internes; pour chacun des numéros, la présence de porphyroblastes de grenats ne sera pas répétée.

1) Grenats de l'enveloppe :

Série MG (Milàs):

MG 45 : Micaschiste sériciteux à mica blanc, chlorite, quartz.

MG 44 : Micaschiste sériciteux à mica blanc, biotite, chlorite, quartz.

MG 43, 42, 41 : Micaschistes sériciteux à mica blanc, chloritoïde, quartz.

MG 38, 37, 33, 32 : Micaschistes à mica blanc, biotite, quartz et minéraux opaques (ilménite, magnétite).

MG 27 : Micaschiste à mica blanc, biotite, -quartz, minéraux opaques, zircon, tourmaline zonée.

MG 26 : Micaschiste à mica blanc, séricite, quartz.

MG 23, 15, 8, 6 : Micaschistes à mica blanc, biotite, quartz, tourmaline, zircon, apatite, minéraux opaques (magnétite).

Série MK (Milàs) :

MK 15, 17 : Micaschistes sériciteux à mica blanc, chloritoïdes, chlorite, quartz.

MK 20 : Micaschiste sériciteux à mica blanc, biotite, quartz.

MK 23 : Micaschiste sériciteux; quartz et minéraux opaques.

: Echantillons isolés :

MB 11 : Séricitoschiste; quartz, minéraux opaques.

Abd 2 et -Abd 11 : Micaschistes à biotite et mica blanc provenant de Yatagan (40 km ENE de Milàs environ; échantillons aimablement communiqués par Ş. Abdüsselâmoğlu).

2) Grenats des «septa» de micaschistes au sein des gneiss :

X 2 : Micaschiste à biotite, mica blanc, tourmaline, quartz, albite, chlorite (Labraunda).

X 4 : Micaschiste à biotite, mica blanc, chlorite, tourmaline, quartz, petits feldspaths (Labraunda).

44 M : Micaschiste à grain fin avec biotite, mica blanc, chlorite, quartz, petits plagioclases (An 30 %), apatite (Beypınar).

72 M : Micaschiste à biotite, mica blanc, petits feldspaths, quartz (km no. 34, route Yatağan-Aydın).

Tableau 2
Analyses chimiques de grenats

	<i>Mg26</i>	<i>Mg8</i>	<i>X2</i>	<i>X4</i>	<i>44M</i>
SiO ₂	36,00	39,75	37,45	38,70	45,50
Al ₂ O ₃	21,30	21,30	21,40	18,70	18,70
Fe ₂ O ₃	1,15	2,30	traces	traces	0,50
FeO	31,30	26,70	30,10	32,90	24,50
TiO ₂	indosable	indosable	indosable	0,60	indosable
MnO	0,50	1,95	2,05	0,95	0,80
CaO	4,30	6,30	6,80	4,50	7,10
MgO	3,30	2,30	2,60	3,10	2,00
Na ₂ O	0,20	0,20	0,20	0,20	0,30
K ₂ O	0,05	0,15	0,10	0,10	0,20
H ₂ O+	0,15	0,10	0,05	0,90	0,50
Nombres de cations calculés sur la base de 0=24					
Si	5,88	5,74	5,94	6,19	5,73
Al	0,12	0,26	0,04	—	0,27
Al ₃₊	3,98	3,97	3,97	3,67	3,97
Fe	0,14	0,28	—	—	0,07
Fe ₃₊	4,27	3,76	4,01	4,51	3,94
Mn	0,07	0,28	0,28	0,13	0,13
Ca	0,75	1,14	1,16	0,79	1,42
Mg	0,80	0,67	0,62	0,76	0,51
Pourcentages moléculaires					
alm	72,5	71,7	66,4	72,9	65,0
gross	9,1	3,9	19,1	12,7	21,5
pyr	13,6	11,0	10,2	12,2	9,4
spea	1,1	5,3	4,2	2,1	2,1
and	3,6	8,0	—	—	1,8
indice mesuré	1,797 ±0,003	1,797 ±0,003	1,797 ±0,003	1,797 ±0,003	1,797 ±0,003
paramètre mesuré	11,52 ±0,01	11,55 ₈ ±0,002	11,54 ±0,01	11,51 ₆ ±0,005	11,54 ₆ ±0,005

NB : Les nombres d'ions ont été calculés en tenant compte de la présence d'aluminium en position tétraédrique et en retranchant l'excès de silice obtenu à l'analyse chimique, dû à une séparation incomplète du quartz.

auréoles de contact étroitement localisées du métamorphisme de contact, si tranchés dans la nature en d'autres régions;¹ en fonction de l'idée, souvent exprimée, d'une liaison possible entre conditions du métamorphisme et composition des grenats qui lui sont liés, il est donc utile de déterminer avec précision la nature minéralogique des grenats rencontrés.

L'on peut s'attacher à l'étude des variations de composition chimique des grenats recueillis à travers des faciès successifs de métamorphisme croissant, dans une même série, ou bien rechercher, d'une série à l'autre, une relation entre la nature du grenat et le type du métamorphisme qui lui a donné naissance.

1. Les données de la bibliographie

On sait depuis Sollas (1891) et depuis Tilley (1926) que les grenats riches en fer ferreux, communs dans les schistes pélitiques des zones de degré moyen et élevé du métamorphisme régional, se rencontrent rarement dans les roches ayant recristallisé sous les températures plus hautes et les pressions plus basses du métamorphisme de contact, dont le grenat habituel est plutôt la spessartine, alumino-manganeux.

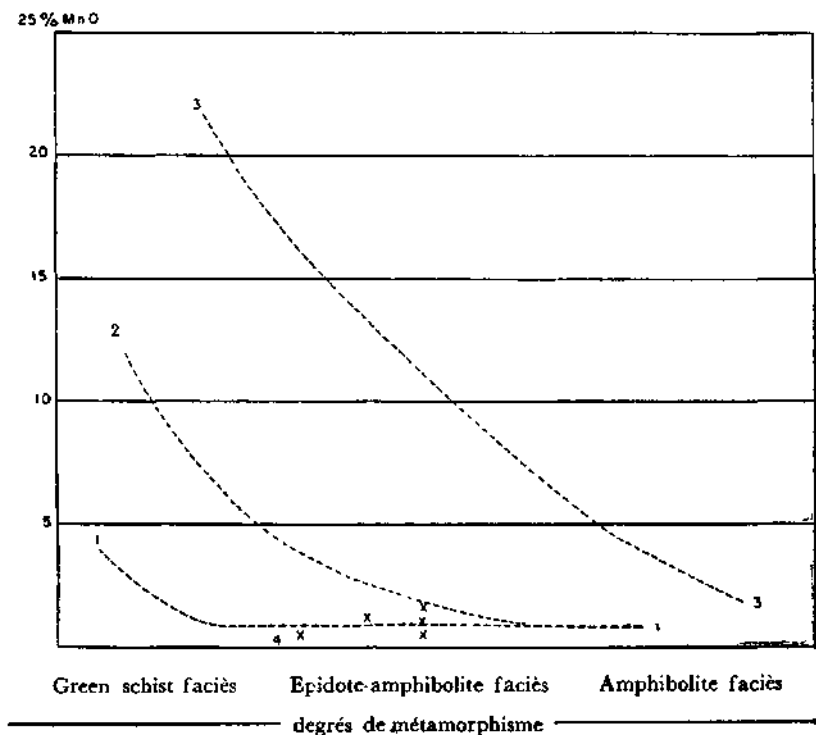


Fig. 1 - Diagramme de variation des pyralspites (d'après MIYASHIRO).

- 1 - Dutchess County (BARTH, 1936.), courbe typique du métamorphisme général;
 2 - Stavanger, Norvège (GOLDSCHMIDT, 1920); 3 - District de Gosaisyo-Takanuki, Japon (MIYASHIRO, 1953), type tendant vers le métamorphisme thermique;
 4 - Bordure du massif de Menderes.

¹ Une disposition comparable se rencontre par exemple sur le pourtour de la Montagne Noire (SW du Massif Central français); à son propos M.-. Roques (1941) a parlé d'un véritable métamorphisme développé au contact d'un dôme de migmatites et superposé à un métamorphisme d'extension régionale; les paragenèses observées sont toutefois différentes dans les deux cas.

Dans le cas des micaschistes du métamorphisme général, recoupés par des auréoles thermiques, il arrive même que le grenat soit détruit ou pseudomorphosé par de la cordiérite et de la magnétite [cf. A. Harker (1950); G. A. Chinner (1962)].

Généralisant ces observations à l'aide d'analyses chimiques de grenats provenant de divers districts du monde, A. Miyashiro (1953) a pu établir une classification des types de métamorphisme en fonction de la composition chimique des pyralspites² rencontrés.

Cette classification est celle des domaines de variations particuliers à chaque type pour la teneur en manganèse du grenat (Fig. 1). Entre le métamorphisme général, avec des grenats pauvres en spessartine mais riches en fer ferreux et le métamorphisme du contact, caractérisé par des grenats manganifères, divers types intermédiaires peuvent être rencontrés.

A ce phénomène, se superpose, dans tous les cas envisagés, une décroissance générale de la teneur en manganèse des zones externes vers les zones internes, compensée par une augmentation de la teneur en fer ferreux, quelles que soient par ailleurs les valeurs absolues de celles-ci, et le type de métamorphisme (cf. Fig. 1).

Ces observations de terrain paraissent souffrir peu d'exceptions. A leurs conclusions toutefois, qui feraient attribuer une responsabilité prépondérante aux conditions de métamorphisme pour la nature du grenat qui en résulte, peut-être opposerait-on l'idée d'un rôle majeur joué par la composition chimique de la roche encaissante, dont l'influence pourrait l'emporter sur celle des conditions physiques. C'est en particulier l'opinion de Chinner (1961); mais le problème est certainement complexe: si les cornéennes manganifères sans spessartine sont rares, si la présence de manganèse est

Tableau - 3

<i>Numéro de l'échantillon</i>	<i>Indice de réfraction</i>	<i>Paramètre</i>	<i>Numéro de l'échantillon</i>	<i>Indice de réfraction</i>	<i>Paramètre</i>
MG45	1,797±0,003	11,53 ₈ ±0,005	MK15	1,805±0,005	11,59 ₂ ±0,002
MG44	1,797±0,003	11,57 ₄ ±0,006	MK17	1,805±0,005	11,56±0,01
MG43	1,797±0,003	11,53 ₈ ±0,002	MK20	1,805±0,005	11,52 ₄ ±0,004
MG42	1,797±0,003	11,53 ₄ ±0,004	MK23	1,805±0,005	11,52±0,01
MG41	1,797±0,003	11,52±0,01			
MG38	1,797±0,003	11,59 ₀ ±0,001	MB11	1,797±0,005	11,53 ₇ ±0,005
MG37	1,797±0,003	11,55 ₁ ±0,005			
MG33	1,797±0,003	11,55 ₁ ±0,005	X2	1,797±0,003	11,54±0,01
MG32	1,797±0,003	11,56 ₀ ±0,005	X4	1,797±0,003	11,51 ₈ ±0,005
MG27	1,810±0,005	11,47±0,02	44M	1,797±0,003	11,54 ₆ ±0,005
MG26	1,797±0,003	11,52±0,01	72M	1,795±0,005	11,50±0,02
MG23	1,805±0,005	11,52±0,01			
MG15	1,810±0,005	11,53±0,02	Abd 2	1,790±0,005	11,56±0,02
MG8	1,797±0,003	11,55 ₈ ±0,002	Abd 11	1,805±0,005	11,57±0,02
MG6	1,792±0,003	11,52±0,02			

presque une raison suffisante d'existence pour la spessartine, il ne paraît pas nécessaire qu'elle soit en de fortes proportions; des analyses de Goldschmidt, de Miyashiro montrent en effet des roches avec des teneurs en manganèse de l'ordre de 0,40% et cependant riches en grenats atteignant jusqu'à 50% de spessartine.

2. Détermination de grenats issus des terrains métamorphiques du massif de Menderes

La séparation et la purification de deux échantillons de grenats des micaschistes de l'enveloppe et de trois échantillons provenant des septas dans les gneiss ont été réalisées grâce à l'obligeance³ de G. Matharan, assistant au Laboratoire de Minéralogie de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris et les analyses effectuées au Laboratoire de Chimie du Bureau de Recherches Géologiques et Minières par M. Grillot et ses collaborateurs. Les résultats sont consignés dans le Tableau 2.

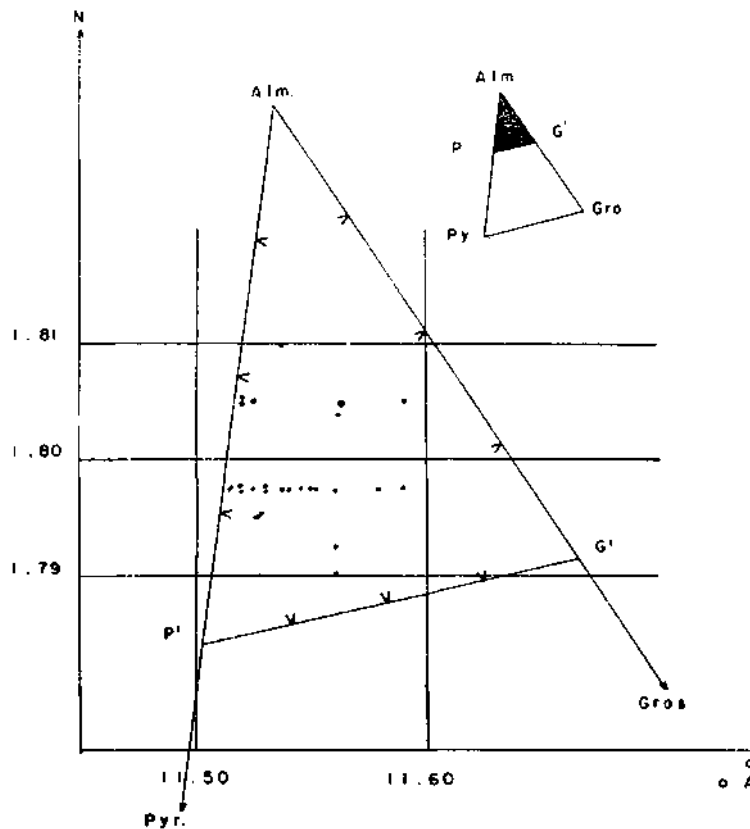


Fig. 2 - Répartition des indices et paramètres des grenats étudiés, montrant un resserrement des points près du pôle de l'almandin.

A titre indicatif, le triangle alm-pyr-gross a été superposé au diagramme a-N, suivant les données de WINCHELL (1958); la position des points ne peut être directement interprétée en termes de pourcentages moléculaires: il faudrait encore tenir compte des teneurs en spessartine et andradite. Les indices sont déterminés par encadrement à l'aide de liqueurs d'indice croissant; l'alignement des points sur des parallèles à l'axe des paramètres correspond à l'échelonnement des valeurs obtenues et non à l'existence de séries définies et distinctes.

Indépendamment de ces analyses chimiques, G. Matharan a déterminé l'indice de réfraction et le paramètre cristallographique de grenats provenant d'une vingtaine d'échantillons échelonnés sur une coupe menée au travers des micaschistes recouvrant les gneiss; ces mesures systématiques répondaient au souci de reconnaître d'éventuelles variations par rapport aux échantillons témoins étudiés par voie chimique; de plus, les méthodes physiques⁴ ont l'intérêt de ne pas être influencées par les inévitables imperfections de la séparation et de la purification minéralogiques.

En fait, ce lot de grenats récoltés au hasard a montré une constance remarquable des grandeurs physiques autour de valeurs moyennes avoisinant $n=1,80$ (exactement $1,798\pm 0,003$) pour l'indice de réfraction, et $a=11,55$ A° (exactement $11,545\pm 0,005$) pour le paramètre (Tableau 3 et Fig. 2).

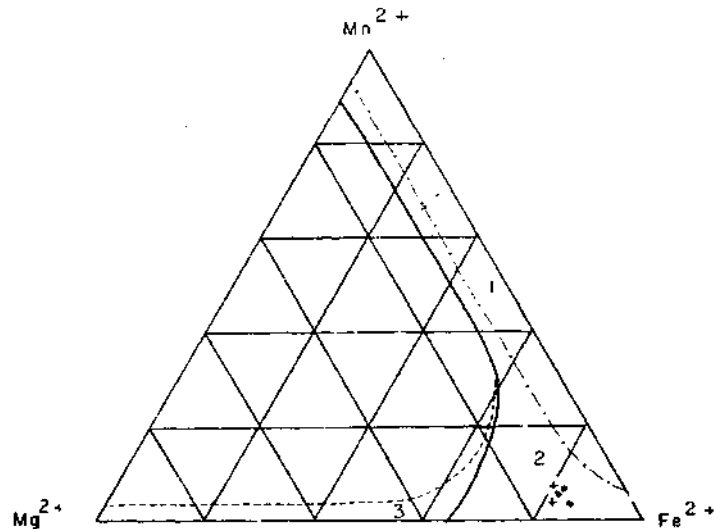


Fig. 3 - Composition des grenats pauvres en calcium en fonction des faciès métamorphiques, d'après A. MIYASHIRO (1953).

1 - Domaine du green schist faciès; 2 - Domaine de l'épidote-amphibolite et de l'amphibolite faciès définis par ESKOLA (1939); 3 - Domaine des granulite et élogite faciès; (+) - Point représentatif de la composition de grenats recueillis dans les micaschistes de l'enveloppe, et (.) - dans les septas de micaschistes, au sein des gneiss du massif de Menderes.

Remarquer le groupement des points, traduisant l'uniformité des conditions physiques et chimiques de la cristallisation; leur localisation dans le domaine 2 est en accord avec les paragenèses observées.

Tableau - 4

	Mg26	Mg8	X2	X4	44M
% Mn ²⁺	1,3	6,0	5,6	2,4	2,8
% Fe ²⁺	82,8	81,5	81,8	83,5	84,8
% Mg ²⁺	15,5	12,5	12,6	14,1	12,3
% poids CaO	4,3	6,3	6,8	4,5	7,1

La réponse à la question posée sur la nature des grenats est sans ambiguïté: il s'agit d'almandins, avec une substitution limitée de Fe^{2+} par Ca, Mg, et à un degré moindre par Mn.

3. Conclusions

Les résultats de ces déterminations coïncident donc parfaitement avec ceux d'autres observations relatives aux grenats des zones moyennes du métamorphisme général; l'almandin constitue en effet, avec le quartz, l'albite et l'épidote, l'un des minéraux caractéristiques du sous-faciès le plus profond du «green schist faciès» dans la classification zonéographique de Turner et Verhoogen.

Comme l'avait indiqué A. Miyashiro (1953), la faiblesse et la constance des teneurs en MnO se retrouve à propos du Menderes et d'autres séries du métamorphisme général (Fig. 1).

Les points représentatifs de ces grenats dans le diagramme triangulaire Mg^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} sont étroitement resserrés dans le domaine réservé d'après les données de la bibliographie, à «l'épidote-amphibolite faciès» et à «Famphibolite faciès» d'Eskola (Fig. 3).

L'homogénéité des résultats, que traduit sur les diagrammes le groupement des points représentatifs de la composition ou des propriétés physiques des grenats (Fig. 2 et 3), ne laisse que peu de place pour des variations de teneur en l'un des ions constitutifs, entre les zones internes et les zones externes; à peine s'en esquisse-t-il pour les grenats de la couverture, mais dans un domaine si restreint qu'elles doivent être peu significatives.

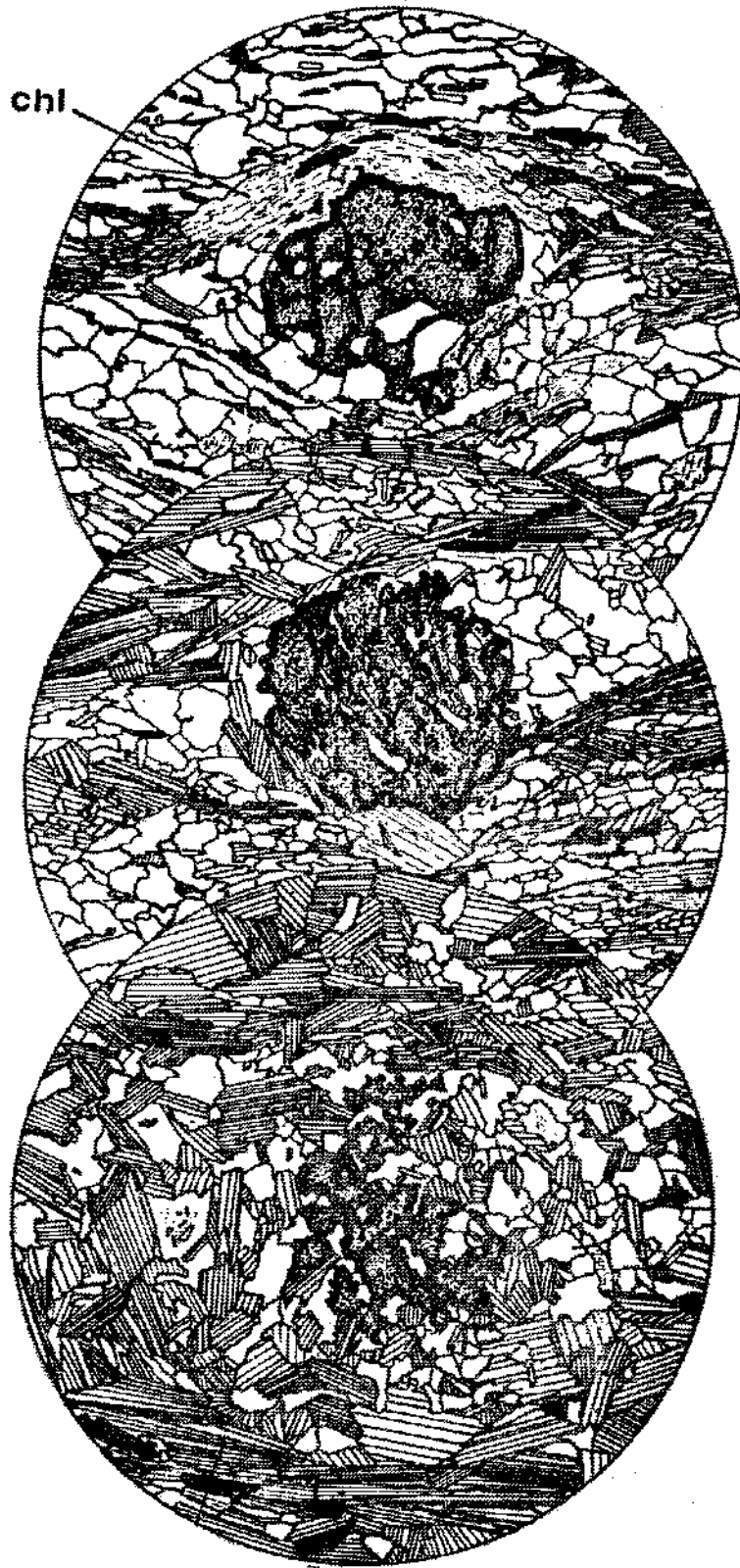
S'il est vrai que les conditions du métamorphisme exercent une influence⁵ sur la composition chimique des grenats, remarquable est l'étroitesse des limites entre lesquelles oscillent les teneurs relevées «pour les grenats de la couverture et des «septas» inclus dans les gneiss du massif de Menderes. Le passage des micaschistes aux gneiss ne semble donc pas correspondre à une saute de métamorphisme suffisante pour influencer de façon sensible sur la composition des grenats; dès lors, ne pourrait-on pas se demander si ces deux domaines — bordures du noyau gneissique et base de la couverture — ne se trouvent pas dans des positions zonéographiques très analogues?

⁵ Telle, par exemple, l'augmentation de MgO et la diminution de CaO avec le métamorphisme croissant observée par R. Lambert (1959) dans les schistes du Moine (région d'Inverness).

Manuscript received June 18, 1965

B I B L I O G R A P H I E

- BARTH, T. (1936) 5 Structural and petrological studies in Dutchess County, New York. 2^{ème} Partie, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 47, pp. 775-850.
- CHINNER, G.A. (1962) : Almandine in thermal auréoles. *Journal of Petrology*, vol. 3, no. 1, pp. 316-340.
- HARKER, A. (1950) : Metamorphism. 3d Edition -Methuen Ed., London.
- LAMBERT, R.St.J. (1959) : The mineralogy and metamorphism of the Moine schists of the Morart and Knoydart districts of Inverness-shire. *Trans. Roy. Soc. Edin.*, vol 63, p. 566.



- MIYASHIRO, A. (1953) : Calcium-poor garnet in relation to metamorphism. *Geoch. et Cosmoch. Acta.* vol. 4, no. 4, pp. 179-208.
- ROQUES, M. (1941) : Les schistes cristallins de la partie SW du Massif Central français. *Mém. Carte Géol. France.*
- SOLLAS, (1891) : On a fragment of garnet hornfels. *Sci. Proc. Roy. Dubl.* (2), vol. 7, p. 49.
- SCHUILING, R.D. (1958) : On petrology, age and structure of the Menderes migmatite complex. *M.T.A. Bull.*, 58, p. 71.
- TILLEY, C.E. (1926) : On garnet in pelitic contact zones. *Miner. Mag.*, 21, p. 47.
- TURNER, F.J. & VERHOOGEN, J. (1960) : Igneous and metamorphic petrology. McGraw - Hill Ed.
- WINCHELL, H. (1958) : The composition and physical properties of garnet. *Am. Min.*, vol. 43. p. 595.