HAL
open science

Le skarn Mo-W-Cu à grenat, wollastonite, pyroxène et vésuvianite d'Azegour (Haut-Atlas, Maroc)

Samia Berrada Hmima, Eric Marcoux, Ahmid Hafid

To cite this version:

Samia Berrada Hmima, Eric Marcoux, Ahmid Hafid. Le skarn Mo-W-Cu à grenat, wollastonite, pyroxène et vésuvianite d'Azegour (Haut-Atlas, Maroc). Bulletin de la Société Géologique de France, 2015, 186 (1), pp.21-34. 10.2113/gssgfbull.186.1.21 . insu-01104907

HAL Id: insu-01104907

https://insu.hal.science/insu-01104907v1

Submitted on 22 Apr 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Le skarn Mo-W-Cu à grenat, wollastonite, pyroxène et vésuvianite d'Azegour (Haut-Atlas, Maroc)

SAMIA BERRADA[1], ERIC MARCOUX[2] et AHMID HAFID[1]

Mots-clés. – Azegour, Skarn, Grenatite, Wollastonite, Maroc, Métasomatisme.

Résumé. – Le skarn minéralisé en Mo, W et Cu d'Azegour se forme aux dépens d'une série cambrienne essentiellement sédimentaire carbonatée dans l'auréole de métamorphisme d'un granite permien. Les bancs métasomatisés plurimétriques du skarn sont pour l'essentiel des grenatites et wollastonitites massives, plus rarement des pyroxénites. L'étude minéralogique montre que les grenatites sont composées pour l'essentiel d'andradite (grenat vert-noir et grenat brun-noir zoné) plus rarement de grossulaire (grenat orangé). Le pourcentage de spessartite est toujours faible (maximum 4 %). La wollastonite est légèrement manganésifère, la vésuvianite fluorée (jusqu'à 3,3 %) et chlorée (1,2 %). Les paragenèses permettent d'établir les conditions de formation du skarn aux alentours de 620-650 ºC pour une pression de 1,7 à 2 kbar, avec une fCO_2 de 31 mole %, en contexte réducteur (fO_2 de 10^{-18} et 10^{-16} atm.). Le skarn d'Azegour est un marqueur de la fin de l'orogenèse hercynienne, et dénote la persistance de conditions réductrices, un environnement très favorable à la cristallisation de sulfures. Le skarn d'Azegour semble ainsi se former à des températures plus élevées que d'autres skarns à tungstène hercyniens comme Salau (Ariège, France).

The Mo-W-Cu, garnet, wollastonite, pyroxene and vesuvianite skarn of Azegour (High Atlas, Morocco)

Keywords. – Azegour, Skarn, Garnetite, Wollastonite, Morocco, Metasomatism

Abstract. – The Mo-W-Cu skarn of Azegour is generated at the expense of a sequence dominated by calcareous sedimentary rocks Cambrian in age, within the metamorphic aureole of a Permian granite. Metasomatized layers constituting the skarn are several meters thick, and mainly composed of massive garnetite and/or wollastonitite and seldomly of pyroxenite. Garnets belong to three different types easy to recognize due to their different colors: green-black, brown-black and orange, this later one being present only in the northern part (Toulkine zone) of the skarn. The green-black garnet is very common, forming crystals up to 8 cm, and composed of andradite with locally a core of Al-rich andradite (up to 5% Al_2O_3). The very common brown-black garnet form thick layers associated with quartz. It often reveals a core of pure andradite surrounded by a Al-rich andradite (up to 10% Al_2O_3), close to the grossular domain. Orange garnet is only grossular. Pourcentage of spessartine is always weak (4% maximum). Wollastonite is slighly manganiferous, while vesuvianite is F- and Cl-rich (up to 3.3% and 1.2% respectively). Mineralogical association allow to establish the formation of the skarn around 620-650ºC, under a pressure of 1.7-2 kbar, and a fCO_2 of 31 mole %, in a reducing environment (fO_2 of 10^{-18} to 10^{-16} atm.). The skarn of Azegour marks the end of Hercynian orogeny and whitnesses of the perennity of a reducing environment highly favorable to sulphide crystallization. Mo-skarn of Azegour seems to have formed at higher temperatures than other Hercynian W-skarn such as Salau (France).

INTRODUCTION

Le site d'Azegour se situe sur le flanc nord du Haut-Atlas occidental environ 60 km au SSW de Marrakech, et 20 km au sud-ouest de la ville d'Amizmiz, à une altitude de 1525 mètres. Le site est surtout connu pour sa mine de molybdène, active entre 1932 et 1959, dont les ressources mesurées à l'époque étaient de 8 000 t Mo. Ce site recèle aussi des ressources importantes en scheelite, chalcopyrite etc., ainsi que des minéraux industriels valorisables (wollastonite, grenat).

La géologie du district et de la mine d'Azegour a fait l'objet d'une remarquable étude exhaustive de Permingeat [1957]. Les travaux commencés en 2012 en vue d'une réouverture de la mine nous ont incité à entreprendre une nouvelle étude du secteur. Ce premier volet porte sur l'environnement géologique, et plus précisément sur les formations à silicates calciques composant le skarn d'Azegour. Les travaux miniers n'étant actuellement pas accessibles, il n'a pas été possible d'obtenir de données nouvelles sur la minéralisation en place. Malgré son grand intérêt économique, celle-ci ne sera donc pas abordée dans cet article.

1. FST Marrakech, Université Cadi Ayyad, avenue Abdelkarim El Khattabi, 40000 Marrakech, Maroc. Email : *s.berradahmima@uca.ma*
2. OSUC/ISTO, Université d'Orléans, Campus géosciences, 1A rue de la Férollerie, 45071 Orléans cedex 2, France.
Manuscrit deposé le 7 février 2014 ; accepté le 24 septembre 2014

CADRE GÉOLOGIQUE

Le district d'Azegour est situé sur la bordure nord du Haut-Atlas, au sud de la grande plaine quaternaire de Haouz (fig. 1). La géologie régionale est dominée par une puissante série volcano-sédimentaire du Paléozoïque inférieur, ponctuellement recoupée par des granites tardi-hercyniens (massifs du Tichka et d'Azegour). L'ensemble est affecté par la déformation atlasique à axes de plis majoritairement sub-méridiens et recouvert vers le sud par une sédimentation tabulaire à monoclinale mésozoïque à cénozoïque [Zerhouni, 1988 ; Ait Ayyad, 2003].

Dans le secteur d'Azegour, les terrains sédimentaires du Paléozoïque inférieur (Cambrien inférieur-Georgien) sont composés d'une série détritique schisteuse et gréso-schisteuse à puissants bancs calcaires et d'un complexe volcanique [Permingeat, 1957] affectées par un métamorphisme général épizonal, auquel se superpose un important métamorphisme de contact à proximité du massif d'Azegour.

La série schisteuse comprend des schistes gris et jaunes, des grès schisteux ou calcareux et des grès. En se rapprochant du granite, ils passent à des schistes tachetés, puis à des schistes « noduleux » micacés à cordiérite-andalousite-biotite, et à de rares cornéennes sombres et compactes de même composition minéralogique avec apparition de la muscovite. Les schistes tachetés sont constitués de quartz, feldspaths, muscovite et de minéraux accessoires (oxydes de fer, tourmaline, apatite et zircon), les taches de cordiérite en plages de 0,5 à 2 mm de diamètre. La cordiérite ainsi que la biotite deviennent plus abondantes à proximité de l'intrusion.

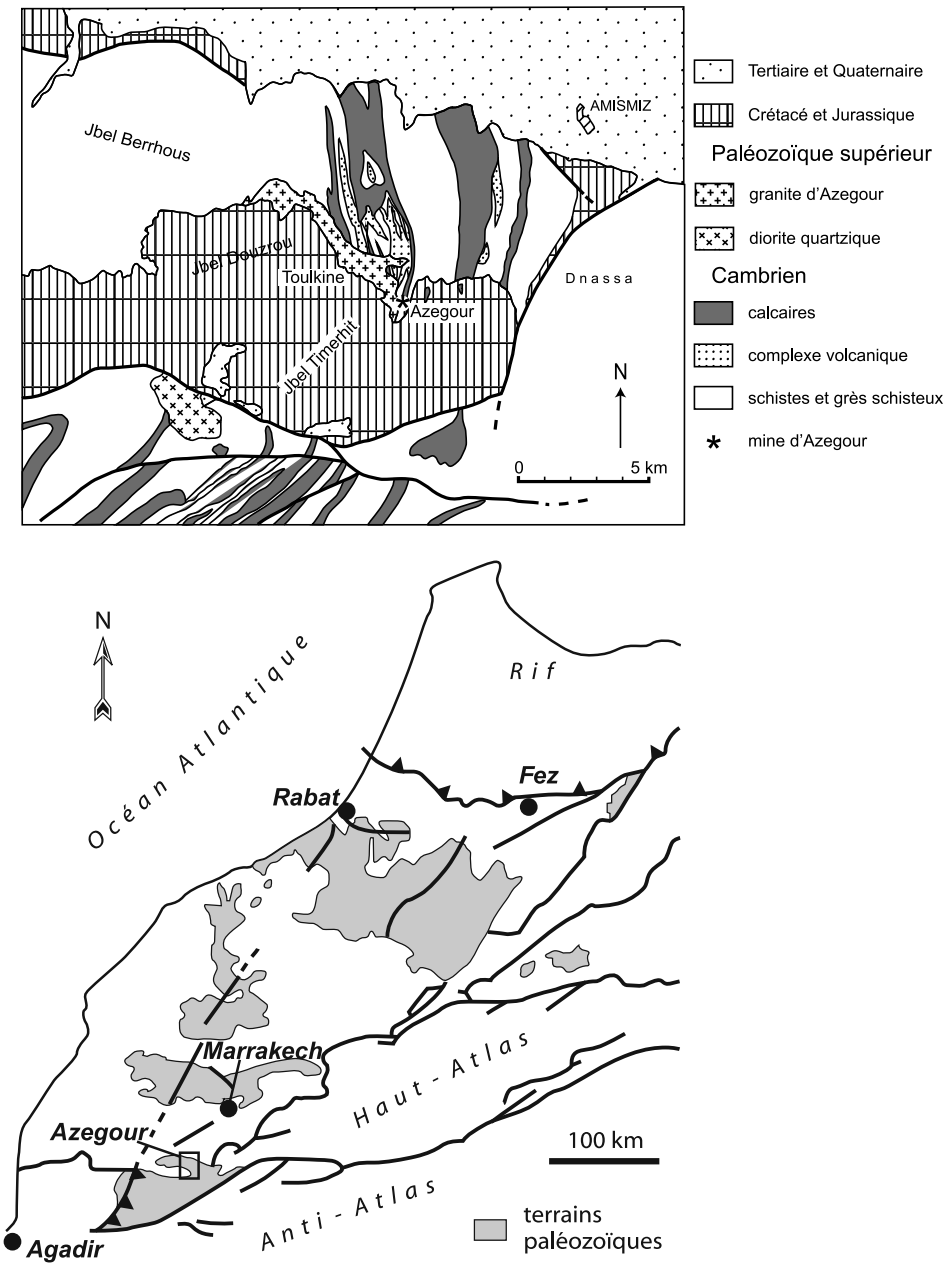

FIG. 1. – Localisation et géologie du secteur d'Azegour [d'après Permingeat, 1957].
FIG. 1. – *Location and geology of Azegour district [from Permingeat, 1957].*

Les roches carbonatées datées du Cambrien inférieur (Georgien) [Neltner, 1938] dessinent 4 bandes principales allongées N-S à pendage de 70 à 90ºE (fig.1). La bande centrale est la plus importante et montre des replis en voute. Elle se divise en plusieurs branches et porte la totalité des minéralisations en molybdénite, scheelite et chalcopyrite. Ces roches carbonatées se composent pour l'essentiel de marbres blancs, parfois bruns ou noirs, de marbres dolomitiques plus rares, de couleur brune, de fréquents calcaires recristallisés à éléments volcaniques, ainsi que de rares calcschistes. Ces calcaires ont été fortement transformés par le métamorphisme de contact en calcaires métamorphiques et skarns, composés de bancs de grenatites, pyroxénites et wollastonitites qui font l'objet de cette étude. Des intercalations volcaniques sont présentes au sein de ces bandes, notamment dans la partie sud du secteur. Le passage des calcaires aux volcanites montre fréquemment des niveaux de transition, que le développement des silicates calciques à fortement oblitérés.

Rappelons que la majorité des skarns se forment en deux étapes successives [Jébrak et Marcoux, 2008] :

– une étape prograde correspond à une métasomatose précoce de haute température (de 600 à 500 ºC) lors de laquelle se forment des silicates métamorphiques anhydres : pyroxènes (diopside-hédenbergite), grenat (andradite-grossulaire), clinozoïsite, titanite, wollastonite, vésuvianite, ainsi que de la calcite et de la biotite ;

– une étape rétrograde qui traduit l'envahissement du système par des fluides de plus basse température (de 450 à 300 ºC) provoquant l'hydrolyse partielle des minéraux de l'étape prograde et conduisant à l'apparition de nombreux minéraux hydratés comme des amphiboles (actinote, hornblende et trémolite), de l'épidote, du talc ou des chlorites.

Le complexe volcanique est interstratifé avec les schistes et les calcaires. Il montre des andésites gris foncé à noir, à hornblende secondaire, passant progressivement à des dacites claires gris verdâtre à phénocristaux clairs de 5 mm. On observe également des pyroclastites sous forme de brèches toujours à éléments fins, de composition surtout dacitique, et de « roches vertes » à hornblende verte abondante, plagioclases, chlorite et clinozoisite [Permingeat, 1957 ; Zerhouni, 1988] qui correspondraient à d'anciennes coulées massives et des coulées à pillow-lava, présentant les caractéristiques géochimiques d'une série tholéitique [El Amrani, 1984, 1987].

Le granite d'Azegour est un granite rose homogène, à grain moyen à fin (1 à 5 mm) qui affleure le long d'une bande NW-SE de 7 km et sur une largeur maximale de 1 km avant d'être recouvert vers le sud et le sud-ouest par le Crétacé. Il est composé de quartz (35 %), d'orthose perthitique, d'albite, d'oligoclase (13-16 % An), et de rare biotite (2 %) et montre une composition chimique très homogène alcalin potassique (73 % SiO_2, 2 % K_2O, 3,5 % Na_2O, < 2 % CaO). Il a fait l'objet de deux datations Rb/Sr concordantes qui l'attribue au sommet du Permien inférieur : 269 ± 11 Ma [Charlot *et al.*, 1967] et 271 ± 3 Ma [Mrini, 1985]. Le granite est accompagné par un cortège filonien comprenant des filons pegmatitiques et aplitiques et surtout des roches microgrenues qui s'étendent dans l'encaissant sur plus de 5 km au nord et à l'ouest du granite. Les plus nombreux sont des filons de microgranites porphyriques très puissants (jusqu'à plusieurs dizaines de mètres) appelés « porphyres à quartz » sur les anciennes cartes. Ces microgranites très siliceux (> 74 % SiO_2) ont une composition proche de celle du granite. D'autres filons, moins nombreux et moins puissants (moins de 2 m), sont des lamprophyres, anciennement appelés « porphyres sans quartz ». Leur minéralogie montre 65 à 80 % de feldspaths (surtout de l'andésine), en accord avec leur composition dioritique (60-63 % SiO_2) [Permingeat, 1957 ; Zerhouni,1988].

Ce granite est considéré, selon les auteurs, comme anorogénique [Mabkhout *et al.,* 1988], ou orogénique calco-alcalin [El Amrani, 1984 ; Mrini, 1985] ou encore subalcalin [Gasquet *et al.*, 1995]. La typologie du zircon confirme des caractéristiques correspondant à celles d'une association calco-alcaline riche en potassium tardi-orogénique [Amenzou et Badra, 1996 ; Ait Ayyad, 2003].

L'intrusion du granite a développé une auréole de métamorphisme de contact d'environ 1,5 km de large [Permingat, 1957]. Celle-ci s'est traduite au niveau des schistes par des changements minéralogiques progressifs (zone externe à schistes tachetés, passant à une zone interne nodulaire puis à des cornéennes au contact du granite) et dans les bandes carbonatées par la formation de grenatites, pyroxénites et wollastonitites.

La couverture post-paléozoïque est tabulaire à faiblement monoclinale. Il s'agit pour l'essentiel de terrains calcaires crétacés [Zerhouni, 1988], mais selon certains auteurs, la sédimentation aurait commencé dès le Jurassique. Sur la bordure nord du plateau crétacé, subsistent quelques lambeaux de sédiments éocènes.

La fracturation régionale montre des directions N060ºE, NNW, NS et NNE à remplissage sporadique d'oxydes de fer, parfois massif et important (Toulkine).

SKARNS ET AURÉOLE DE MÉTAMORPHISME

Les roches carbonatées sont les roches les plus marquantes du paléozoïque d'Azegour. Elles forment principalement quatre bandes métriques à décamétriques de direction N-S, qui sont d'est en ouest : la bande d'Anougal (constituée surtout de calcaires impurs), la bande principale (calcaires purs et massifs), la bande centrale (calcaires purs à passées dolomitiques), puis la bande de Toulkine (calcaires massifs à intercalations schisteuses) (fig.1).

Le présent travail est axé sur la bande centrale et celle de Toulkine où les skarns sont particulièrement bien developpés. La bande centrale est la plus importante avec une extension de plus de 2000 m et bordée par des schistes dans la partie nord. Au sud, au contact avec le granite, elle se divise en plusieurs branches d'épaisseurs variables à intercalations volcaniques. Une de ces branches, particulièrement remarquable par ses faciès, est située dans un lobe du granite sur le flanc ouest d'Assif Ouadaker et a fait l'objet d'une cartographie fine et d'un échantillonnage détaillé (fig. 2). La bande de Toulkine est plus puissante au sud (< 200 m) et se rétrécit vers le nord.

L'auréole de métamorphisme est visible jusqu'à 1,5 km du granite. Au-delà, les calcaires montrent toujours une recristallisation importante mais sans néoformations minérales. L'auréole de métamorphisme se développe également dans les schistes, donnant les schistes tachetés et noduleux ainsi que de rares cornéennes, mais s'exprime de façon bien plus spectaculaire dans les bancs calcaires en formant des

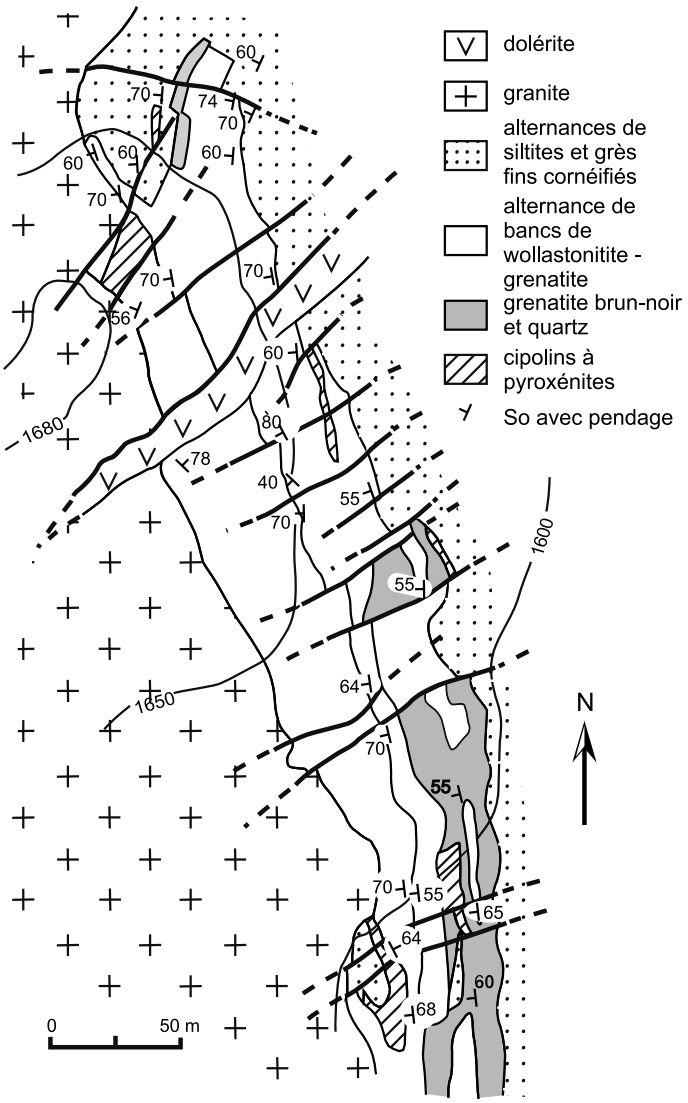

FIG . 2. – Géologie de la bande centrale du skarn d'Azegour.
FIG. 2. – *Azegour skarn: geology of the central belt.*

roches à silicates calciques se caractérisant par leur teinte, leur structure et leur minéralogie, souvent réduite à une ou deux phases. Sur le terrain nous distinguons les grenatites, les pyroxénites, les wollastonitites et les idocrasites (fig. 3). Ces skarns sont décrits, pour la première fois par Permingeat [1957] qui distinguait plusieurs ensembles lithologiques, comme suit :

– des calcaires métamorphiques, composées de roches carbonatées recristallisées très calciques (> 96 % $CaCO_3$), c'est-à-dire des marbres, de teinte blanche, d'aspect saccharoïde avec apparition de scapolite, grossulaire et hédenbergite dans l'auréole de contact. Quelques dolomies recristallisées et de rares calcschistes ont également été observés ;

– des grenatites variées distinguées selon leur couleur : *grenatites à grossulaire* (brun clair) ; *grenatites à grossulaire* (brun clair) *et vésuvianite*, avec trois variétés : i) grenue et passant à des idocrasites avec rare épidote ; ii) compacte : rare, à vésuvianite > 10 cm, et iii) nodulaire : rare, à gros cristaux de grossulaire, nodules de vésuvianite et orthoseplagioclases sodiques, rare épidote et chlorite ; *grenatites à andradite* vert à vert-noir, passant en continuité aux grenatites à grossulaire ;

– des idocrasites ferrifères, rares, de teinte vert foncé, à grenats fréquents, qui montrent tous les intermédiaires avec les grenatites à vésuvianite. Permingeat [1957] les considère comme un terme extrême de grenatite ;

– des pyroxénites, de deux types : pyroxénites à hédenbergite et pyroxénites à diopside avec peu de termes intermédiaires. Les *pyroxénites à hédenbergite* de teinte vert foncé à grands cristaux (1 à 30 cm) d'hédenbergite (très souvent amphibolitisés) se localisent entre calcaires recristallisés et grenatite à andradite. Outre l'hédenbergite, elles montrent de la calcite (parfois abondante), de la chlorite, de la hornblende, du quartz, des oxydes de fer, de la dolomie blanche en filonnets et du talc. Les *pyroxénites à diopside* de teinte blanche à vert clair, compactes, à grain fin, non altérées, se rencontrent près des grenatites à grossulaire et des pyroclastites auxquelles elles passent graduellement. Le contact avec les marbres à diopside est très franc. La minéralogie est à diopside dominant (parfois 100 %), quartz, calcite, grenat, vésuvianite, et feldspaths ;

– des wollastonitites, avec wollastonite en lamelles de 2-3 cm localement remplacées par de rare diopside et grossulaire, et localement transformée en calcite et quartz, ou en talc ;

– des niveaux à scapolites, plus dispersés, formant des arêtes légèrement en relief. La scapolite se présente sous forme de phénoblastes blanchâtres dans un fond de calcite mêlé de débris volcaniques.

Ces distinctions lithologiques très précises étaient basées essentiellement sur des critères de couleur pour distinguer les grenats entre eux et les pyroxènes entre eux, un critère descriptif qui ne peut cependant pas être parallélisé avec la composition chimique révélée à la microsonde électronique. De plus à cette époque (1957), la branche de la zone centrale située dans le lobe granitique était passée inaperçue faute de travaux miniers de surface, et les extraordinaires wollastonitites et grenatites massives n'étaient donc pas connues. Nos levers ont permis de préciser la nature des différentes formations à silicates calciques et d'en préciser les relations (fig. 2). Aucun sulfure n'a été observé dans cette zone centrale, mais des houppes millimétriques d'hématite apparaissent localement dans les filonnets quartzeux qui sillonnent les grenatites et pyroxénites.

GRENATITES, PYROXÉNITES ET WOLLASTONITITES

Les wollastonitites se présentent en bancs et en lentilles submonominérales d'extension décamétrique et de puissance variable (de 10 cm jusqu'à 2 m) alternant avec des bancs de grenatites. Elles sont adjacentes aux intrusions granitiques et affleurent à différents niveaux de l'auréole métamorphique. Le flanc ouest d'Assif Ouadaker de la zone centrale est le plus riche et montre des alternances de bancs de wollastonitites à 30-100 % de wollastonite, et de grenatites (fig. 3B,C,D, F), constituant un niveau de 420 m d'extension pour une puissance moyenne de 35 m. Ces bancs de wollastonitites sont le plus souvent massifs à sub-massifs et composés exclusivement de wollastonite blanchâtre en fibres enchevêtrées atteignant couramment de 10 à 15 cm

(fig. 3D, 4A,B). L'examen microscopique des wollastonitites massives confirme la présence de wollastonite seule (fig. 4C). D'autres bancs à wollastonite dominante, contiennent assez souvent des grenats brun verdâtre centimétriques. La wollastonite existe aussi en fibres disséminées dans d'autres bancs, associée en proportions variables à du grenat, de la vésuvianite, du clinopyroxène, de la calcite, parfois du quartz (fig 4D).

A la microsonde, la composition de la wollastonite dans les bancs, monominéraux ou non, est assez pure avec une substitution mineure de Ca par Fe et Mn et des traces de P (P_2O_5 < 0.45 wt. %) (tabl. I). La teneur de FeO_t est généralement faible (0.8 wt. %), celle en manganèse un peu plus forte (< 1.8 wt. % MnO). Les compositions des cristaux varient peu autour de la composition moyenne (0,42 % FeO et 1,22 % MnO) [Berrada *et al.*, 2011].

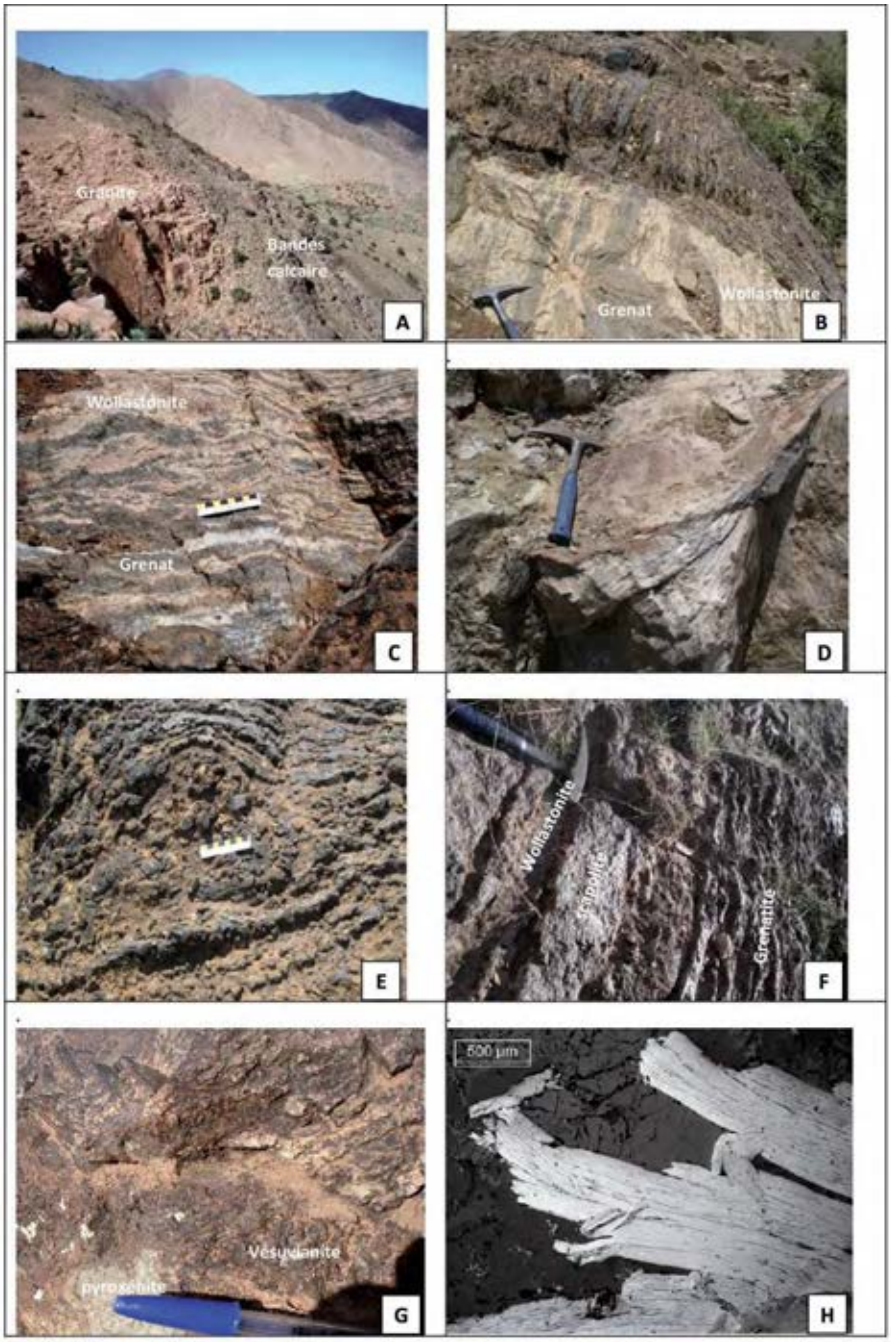

FIG. 3. – Allure générale des skarns. A : vue générale sur le contact entre le granite (gauche) et les bandes calcaires skarnifiées (droite) ; B, C : bancs de wollastonitite (clairs) intercalés avec des bancs de grenatite (sombres) ; D : wollastonitite en lentille monominérale ; E : grenatite à gros cristaux en lits plissés ; F : banc riche en scapolite interstratifié avec des bancs de wollastonitite (gauche) et de grenatite (droite) ; G : bancs de pyroxénite avec vésuvianite ; H : Molybdénite (gris-blanc) dans grenatite (noir) (lumière naturelle réfléchie).

FIG. 3. – *General overview of skarn*. A: *global view of the contact between granite (left) and limestones layers transformed into skarns (right)*; B, C: *wollastonite layers (pale) interbedded with garnetite layers (dark); D: monomineral lens of wollastonitite*; E: *folded layers with large crystals garnetite*; F: *scapolite-rich layer interbedded with layers of wollastonitite (left) and garnetite (right)*; G: v*esuvianite-bearing pyroxenite layer*; H: *molybdenite (white-grey) within garnetite (black) (plane polarized reflected light).*

TABL. I. – Composition des wollastonites d'Azegour (analyses à la microsonde électronique SX 50 BRGM-ISTO, Orléans).
TABLE I. – *Composition of wollastonite from Azegour (electronic microprobe analyses, CAMECA SX 50 BRGM-ISTO, Orléans).*

Echantillon	EZ 12 c2	EZ 12 c3			1aSKc2			1aSKc4		1aSKc1	2cSKc3		2cSKc4			2cSKc5	2cSKc2	4cSKc3		4cSKc2		4cSKc1	8SKc1
Analyse	51	52	53	62	6	7	8	13	14	15	41	43	45	46	47	48	49	79	80	85	90	89	91
SiO_2	52,68	51,62	50,99	50,34	51,36	50,49	50,43	49,10	50,90	50,95	50,99	51,26	51,35	51,17	50,49	50,88	51,72	51,05	50,89	50,96	51,13	51,25	51,20
FeO	0,15	0,52	0,17	0,44	0,40	0,47	0,47	0,46	0,42	0,25	0,44	0,61	0,24	0,25	0,34	0,27	0,21	0,44	0,82	0,72	0,34	0,50	0,32
CaO	44,60	46,74	46,68	45,70	46,01	45,60	46,59	45,17	46,54	46,24	46,06	46,86	46,21	45,61	45,46	46,97	46,34	45,76	45,08	45,73	45,82	45,55	45,99
MnO	0,83	1,70	1,41	1,55	1,17	1,09	1,09	1,03	1,26	1,28	1,07	0,95	1,10	1,51	1,19	0,72	0,83	1,73	1,82	1,63	1,50	1,24	1,07
Total	98,63	100,93	99,62	98,32	99,33	97,99	98,91	95,96	99,42	99,01	98,93	100,04#	99,24	98,82	97,72	99,25	99,49	99,23	98,96	99,47	99,09	98,91	99,03
Formule structurale sur la base de 6 oxygènes																							
Si	2,053	1,996	1,995	1,996	2,010	2,004	1,989	1,992	1,995	2,001	2,005	1,997	2,009	2,011	2,006	1,996	2,015	2,002	2,005	2,000	2,006	2,013	2,010
Fe	0,005	0,017	0,006	0,015	0,013	0,016	0,016	0,016	0,014	0,008	0,014	0,020	0,008	0,008	0,011	0,009	0,007	0,014	0,027	0,024	0,011	0,016	0,011
Mn	0,027	0,056	0,047	0,052	0,039	0,037	0,036	0,035	0,042	0,043	0,036	0,031	0,036	0,050	0,040	0,024	0,027	0,057	0,061	0,054	0,050	0,041	0,036
Ca	1,862	1,936	1,957	1,942	1,929	1,939	1,969	1,964	1,954	1,946	1,940	1,956	1,937	1,920	1,936	1,975	1,935	1,923	1,903	1,923	1,926	1,917	1,934
Total	3,947	4,004	4,005	4,004	3,990	3,996	4,011	4,008	4,005	3,999	3,995	4,003	3,991	3,989	3,994	4,004	3,985	3,998	3,995	4,000	3,994	3,987	3,990

TABL. II. – Composition des grenats orangés d'Azegour (analyses à la microsonde électronique SX 50 BRGM-ISTO, Orléans).
TABLE II. – *Composition of orange garnet from Azegour (electronic microprobe analyses, CAMECA SX 50 BRGM-ISTO, Orléans).*

Couleur du grenat	**Grenats orangés**																					
Echantillon	EZ 14c2			EZ 13c1	11SKc1		AZ38-1							AZ38-2								
Analyse	118	119	122	87	119	121	5	6	7	8	9	10	11	14	15	16	17	19	20	21	22
SiO_2	42,81	37,83	38,19	38,41	38,91	38,48	39,44	39,54	39,32	39,08	38,39	39,16	39,51	39,31	39,41	39,26	39,23	39,25	39,47	39,51	39,47
TiO_2	0,37	0,36	0,38	0,32	0,47	0,29	0,26	0,29	0,48	0,16	0,17	0,23	0,28	0,20	0,46	0,36	0,55	0,74	0,74	0,96	0,37
Al_2O_3	18,17	19,27	19,64	19,36	17,94	17,98	20,52	20,52	20,42	20,78	20,81	20,47	20,64	20,50	20,15	20,28	20,28	20,27	20,12	20,05	20,50
FeO	5,79	6,22	6,13	5,00	5,27	5,75	3,88	3,38	3,18	3,33	3,24	3,36	3,33	3,77	3,35	3,42	3,20	3,15	3,31	3,16	3,50
MnO	1,06	1,27	1,19	1,17	1,65	1,62	1,30	1,32	1,18	1,48	1,25	1,10	1,22	1,31	1,27	1,14	1,13	1,17	1,16	1,34	1,38
MgO	0,12	0,12	0,09	0,09	0,13	0,16	0,16	0,21	0,27	0,21	0,20	0,24	0,22	0,14	0,24	0,27	0,22	0,31	0,29	0,30	0,25
CaO	32,41	34,84	34,55	34,64	33,79	34,55	35,74	35,58	35,41	35,13	35,48	35,61	35,67	35,12	35,12	35,53	35,20	35,76	35,70	35,46	35,50
Total	100,72	99,90	100,16	98,98	98,17	98,82	101,30	100,84	100,26	100,17	99,54	100,17	100,87	100,35	100,00	100,26	99,81	100,65	100,79	100,78	100,97
Andradite	7,45	13,40	11,56	10,50	12,82	14,86	8,33	7,51	7,18	6,83	7,49	7,67	7,28	7,31	7,45	7,98	6,98	7,99	8,20	7,89	7,73
Grossulaire	89,46	83,28	85,39	86,56	82,82	80,85	88,27	88,85	89,21	89,16	88,98	89,03	89,26	88,93	88,83	88,51	89,68	88,28	88,15	88,00	88,34
Pyrope	0,51	0,47	0,34	0,35	0,53	0,62	0,60	0,80	1,03	0,80	0,78	0,91	0,83	0,53	0,93	1,03	0,85	1,19	1,12	1,16	0,95
Spessartite	2,58	2,85	2,64	2,59	3,83	3,66	2,79	2,85	2,57	3,21	2,76	2,38	2,63	2,84	2,79	2,48	2,48	2,54	2,54	2,95	2,98
Total	100,00	100,00	99,92	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,61	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

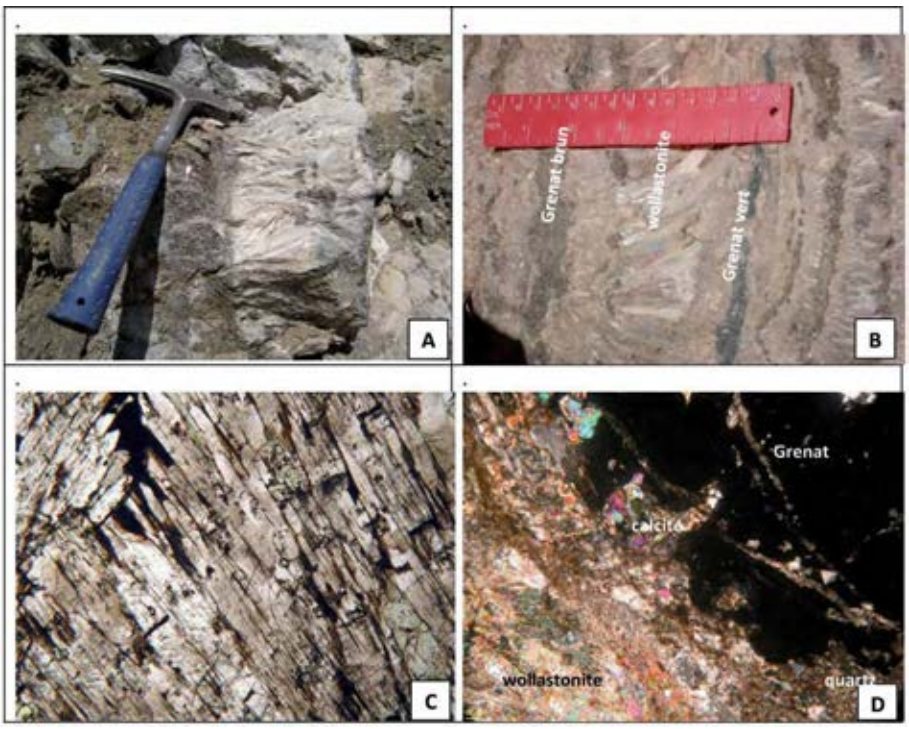

FIG. 4. – Wollastonitites. A : gros cristaux fibreux de wollastonite en banc sub monominéral intercalé avec des bancs décimétriques de grenatite vert-noir ; B : wollastonitite en bancs centimétriques interstratifiée avec des grenatites vert-noir et brun-noir ; C : wollastonitite vue au microscope (lumière naturelle) ; D : idem avec grenat (éteint), pyroxène, calcite et quartz (lumière polarisée).
FIG. 4. – *Wollastonitites.* A: *large fibrous crystals of wollastonite forming sub-monomineral layer interbedded with decimetric wide green-black garnetite layers*; B: *centimetric wide wollastonite layers interbedded with green-black and brown-black garnetites*; C: *wollastonitite under microscope (plane polarized light)*; D: *id. with garnet (black), pyroxene, calcite and quartz (crossed polarized light).*

La wollastonite intègre dans sa structure plus de Mn que de Fe puisque le rayon ionique du Mn^{2+} est plus proche de celui du Ca^{2+} (1,00 Å) que de celui de Fe^{2+} (0,78 Å) [Mason, 1975]. La formule chimique calculée de la wollastonite d'Azegour est $(Ca_{0.97}Mn_{0.02}Fe_{0.01})SiO_3$.

Les grenatites, qui sont préférentiellement associées à la minéralisation de molybdène (fig. 3H), montrent trois types de grenats de couleurs différentes : orangés, vert-noir et bruns. Les analyses montrent certaines divergences avec les identifications de Permingeat, réalisées sans moyens analytiques autres que le microscope.

Les **grenatites orangées** semblent cantonnées à la zone nord. Les grenats en cristaux de 1 à 2 cm se présentent en amas massifs avec de la calcite intergranulaire, et parfois une intercroissance avec la wollastonite. Ils ne montrent pas de zonation ni au microscope optique ni au MEB (fig. 5A,B).

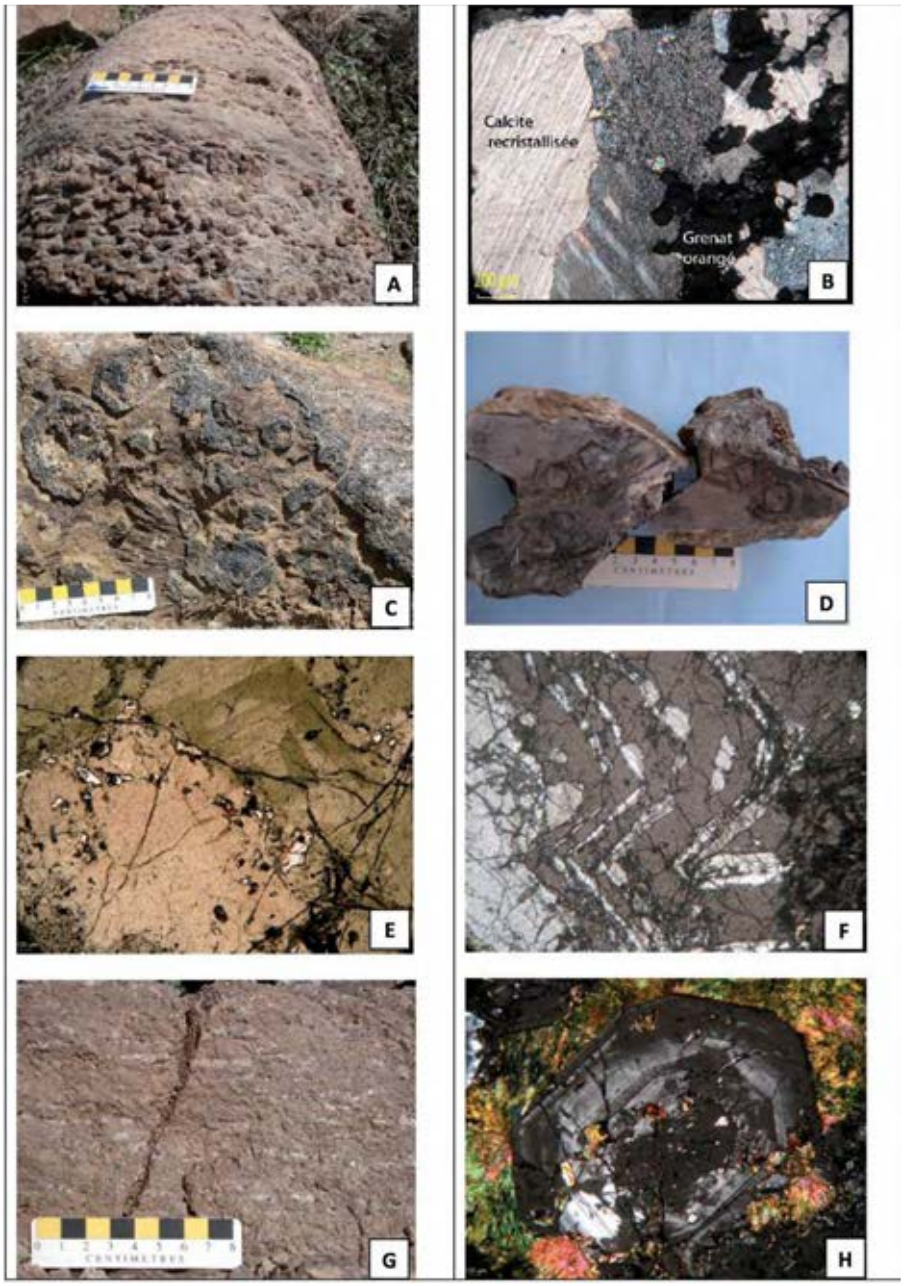

FIG. 5 – Trois types de grenat d'Azegour. A : lits de grenats orangés (grossulaire) intercalés avec des lits plus fins à calcite et grenat (Toulkine, échantillon AZ 38) ; B : idem en lumière polarisée montrant un grenat totalement isotrope (Toulkine, échantillon AZ 7) ; C et D : grenats vert-noir (andradite) automorphes associés avec des clinopyroxènes (haut à droite) et de la wollastonite fibreuse ; E grenats vert-noir au microscope montrant leur cœur brun (en bas à gauche) et les bandes de croissance verte (haut à droite), photo en lumière naturelle ; F : idem en lumière polarisée montant les bandes de croissances du grenat (brun-noir) (E et F : échantillon AZ 7) ; G : grenat brun-noir (andradite) avec quartz (échantillon AZ 20) ; H : idem au microscope (lumière polarisée) montrant la zonalité avec la biréfringence anormale du grenat.

FIG. 5. – *Three types of garnet from Azegour.* A: *layers of orange garnet (grossular) interbedded with thinner layers of calcite and garnet (Toulkine, sample AZ 38)*; B: *id. with crossed polarized light showing a fully isotropic garnet (Toulkine, sample AZ 7)*; C *and* D: *automorphic green-black garnet (andradite) associated with clinopyroxene (top right) and fibrous wollastonite*; E: *green-black garnet under microscope showing a brown core (left bottom) and green growing band (top right), planed polarized light*; F: *id. under crossed polarized light showing growing band of the garnet (brown-black) (*E *and* F: *sample AZ 7)*; G: *brown-black (andradite) with quartz (sample AZ 20)*; H: *id. under crossed polarized light showing the zonation with abnormal birefringence of the garnet.*

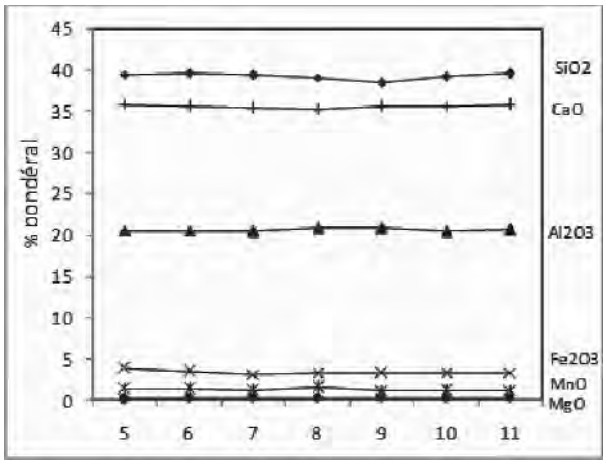

FIG. 6. – Composition chimique du grenat orangé le long d'une coupe allant du centre (gauche du diagramme) vers les bordures d'un cristal (échantillon Az 38).
FIG. 6. – *Composition of orange garnet along a crosscut from core (left of diagram) to periphery (right of diagram) of a monocristal (sample AZ 38).*

Cette homogénéité est confirmée par les analyses à la microsonde électronique qui montrent qu'il s'agit toujours d'un grossulaire, de composition très constante, de formule moyenne $(Ca_{2,90}Mn_{0,08}Mg_{0,02})(Al_{1,78}Fe_{0,22})(SiO_4)_3$ (tabl. II et fig. 6).

Les grenatites à grenats vert-noir ne sont habituellement pas massives mais montrent des grenats de grande dimension (jusqu'à 8 cm de diamètre), fréquemment en relief bien que corrodés, agglomérés à disséminés dans une matrice fine à anorthite, diopside, épidote, wollastonite et calcite (fig. 5C et D). Une frange d'oxyde de fer les recouvre couramment. Au microscope optique et au MEB, certains individus apparaissent homogènes, sans zonalité, mais d'autres, apparaissent composites avec un cœur brunâtre fréquent, de larges bandes de croissance verdâtres et de fines bandes périphériques brunâtres (fig. 5E, F). La composition des zones verdâtres, qui constituent parfois la totalité des individus, bien que légèrement variable, reste cependant toujours proche du pôle andradite, avec une moyenne de $(Ca_{2,95}Mn_{0,04})(Al_{0,27},Fe_{1,70})(SiO_4)_3$, (tabl. III). Le cœur brun-noir de certains individus montre une composition légèrement plus alumineuse (< 5 % Al_2O_3), de même que les bandes brunâtres périphériques (fig. 7A, B).

Les grenatites à grenats brun-noir sont plus fréquentes et s'associent avec le quartz et/ou la vésuvianite et la scapolite dans des bancs de puissance décimétrique à plurimétrique. Les cristaux de grenat sont généralement agglomérés en masses importantes avec des espaces inter-agglomérats remplis essentiellement de quartz (fig. 5G). Au microscope, on observe l'apparition systématique de fines bandes alternativement blanches et noires qui traduisent une biréfringence anormale, enrobant un cœur isotrope (fig. 5H). Ce type de grenat montre une zonalité chimique nette qui introduit probablement un désordre cristallin à l'origine de la biréfringence. Ces grenats sont toujours de l'andradite mais les traversées réalisées à la microsonde électronique montrent que le cœur isotrope est franchement andraditique

TABL. III. – Composition des grenats vert-noir non zonés (a) et zonés (b) d'Azegour (analyses à la microsonde électronique SX 50 BRGM-ISTO, Orléans).
TABLE III. – *Composition of green-black garnet from Azegour, without zoning* (a) *and with zoning* (b) *(electronic microprobe analyses, CAMECA SX 50 BRGM-ISTO, Orléans).*

Couleur du grenat	a) Grenats vert-noir non zonés																											
Echantillon	EZ12c0			EZ11bc1	EZ11bc2	EZ12 c1	1aSKc2		1aSKc3				2cSKc1			2cSKc3			7bSKc1					7bSKc2			
Analyse	40	41	42	99	100	46	2	4	9	10	11	12	16	36	37	39	40	42	65	66	67	68	69	70	71	72	74
SiO_2	35,86	35,22	33,36	34,92	36,52	35,12	35,91	36,02	36,05	35,80	36,16	36,30	35,91	35,44	35,57	35,65	35,71	35,65	35,64	35,75	35,68	35,96	34,91	35,81	36,02	35,92	35,93
TiO_2	0,00	0,00	0,00	0,65	0,65	0,00	0,01	0,02	0,10	0,23	0,31	0,07	0,04	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,15	0,01	0,00	0,03	0,03	0,01	0,00
Al_2O_3	1,25	0,49	0,59	12,35	10,99	0,66	3,75	3,45	5,44	3,88	4,49	3,65	3,85	1,00	1,13	1,71	1,50	1,52	0,48	1,53	5,36	2,90	1,75	0,98	3,44	2,76	3,19
FeO	29,14	29,93	30,57	16,66	15,90	31,18	26,21	25,63	24,14	25,82	24,19	26,39	25,82	29,60	29,13	28,71	29,12	29,09	30,08	29,25	23,20	28,45	28,57	29,81	26,09	27,83	27,23
MnO	0,39	0,35	0,29	0,73	0,78	0,37	0,58	0,92	0,99	0,52	0,69	0,52	0,71	0,37	0,26	0,40	0,48	0,38	0,43	0,44	0,75	0,86	0,54	0,43	0,42	0,75	1,05
MgO	0,07	0,10	0,03	0,10	0,05	0,13	0,06	0,07	0,07	0,09	0,04	0,03	0,18	0,00	0,04	0,04	0,07	0,07	0,02	0,05	0,02	0,03	0,02	0,07	0,01	0,03	0,00
CaO	33,03	32,38	33,54	33,14	34,26	32,79	32,91	33,02	32,74	33,51	32,84	33,17	32,56	32,65	32,57	33,16	32,64	32,63	32,72	32,87	33,59	32,57	33,31	32,36	32,50	32,67	32,84
Total	99,74	98,47	98,39	98,54	99,14	100,26	99,42	99,12	99,53	99,85	98,71	100,13	99,06	99,05	98,70	99,67	99,56	99,33	99,37	99,89	98,74	100,79	99,08	99,49	98,50	99,97	100,25
Andradite	92,64	97,07	96,64	41,04	43,83	96,18	78,82	80,25	70,05	78,28	74,30	79,35	78,12	94,06	93,22	90,06	91,23	91,09	97,14	91,06	70,40	83,64	89,95	94,14	79,99	84,22	81,98
Grossulaire	5,91	1,41	2,41	56,78	54,08	2,12	19,35	16,89	27,03	19,91	23,63	19,11	19,09	4,89	5,85	8,62	7,07	7,51	1,52	7,48	27,53	13,87	8,51	4,31	18,82	13,57	15,17
Pyrope	0,34	0,50	0,14	0,41	0,19	0,65	0,26	0,35	0,31	0,42	0,18	0,13	0,87	0,00	0,18	0,21	0,35	0,33	0,10	0,24	0,09	0,16	0,07	0,33	0,02	0,14	0,00
Spessartite	1,11	1,02	0,80	1,78	1,90	1,04	1,57	2,51	2,62	1,39	1,88	1,41	1,92	1,05	0,75	1,11	1,36	1,07	1,25	1,23	1,98	2,33	1,47	1,22	1,16	2,06	2,85
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Couleur du grenat	b) Grenats vert-noir zonés																										
Echantillon	Ez12				8SKc3				EZ42e												7b SK						
Analyse	Cœur		bordure		Cœur		Bordure		Cœur									bordure			Bordure						Cœur
	57	59	60	61	93	94	95	97	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61		23	24	25	27	28	29	
SiO_2	36,87	36,73	36,67	35,08	36,13	36,92	35,93	36,09	35,71	36,02	35,72	35,22	35,31	35,54	35,35	35,04	35,15	35,45	35,43		35,82	36,43	35,81	36,02	36,29	36,09	
TiO_2	0,16	0,60	0,92	0,65	0,41	0,45	0,26	0,01	0,11	1,04	1,52	0,06	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02		0,04	0,11	0,01	0,00	0,00	0,00	
Al_2O_3	11,62	10,47	10,00	11,27	7,69	6,23	3,75	4,28	2,19	3,30	3,37	0,16	0,01	0,03	0,07	0,04	0,08	0,11	0,91		2,62	3,52	3,11	2,40	2,97	2,95	
FeO	14,99	17,60	16,35	16,84	20,88	22,23	25,90	26,04	28,00	25,42	25,03	31,11	31,64	31,49	31,03	30,73	32,14	31,09	28,84		27,47	26,28	26,75	27,55	26,35	26,87	
MnO	1,31	0,67	0,84	0,69	1,38	0,87	0,73	0,71	0,66	0,54	0,66	0,66	0,46	0,46	0,69	0,59	0,51	0,58	0,41		0,76	0,80	0,66	0,62	0,96	0,76	
MgO	0,02	0,10	0,09	0,23	0,02	0,06	0,05	0,04	0,05	0,18	0,15	0,00	0,03	0,04	0,00	0,07	0,04	0,02	0,01		0,03	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	
CaO	34,56	32,77	34,32	33,52	32,72	33,04	32,74	32,62	32,97	33,47	33,62	32,96	32,74	32,20	32,48	33,02	32,84	32,91	32,65		32,72	32,94	33,00	32,84	32,66	32,86	
Total	99,53	98,94	99,20	98,28	99,24	99,79	99,35	99,79	99,69	99,97	100,07	100,17	100,19	99,79	99,62	99,49	100,76	100,16	98,27		99,46	100,09	99,38	99,43	99,23	99,53	
Andradite	41,77	45,35	47,64	44,09	58,76	65,39	78,62	76,03	87,34	80,93	80,53	99,06	99,94	99,82	99,58	99,76	99,53	99,35	94,51		84,88	79,92	82,23	86,03	82,71	83,01	
Grossular	55,00	52,51	49,85	53,27	37,60	32,04	19,14	21,88	10,59	16,69	16,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,25		12,87	17,85	15,77	12,24	14,62	14,90	
Pyrope	0,10	0,46	0,40	0,98	0,10	0,26	0,24	0,19	0,24	0,88	0,73	0,00	0,06	0,18	0,00	0,24	0,20	0,10	0,05		0,15	0,05	0,19	0,00	0,00	0,00	
Spessartine	3,13	1,68	2,11	1,66	3,54	2,31	2,00	1,90	1,83	1,49	1,83	0,94	0,00	0,00	0,42	0,00	0,27	0,55	1,18		2,10	2,19	1,81	1,73	2,68	2,10	
Tot	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	

$(Ca_{2,93}Mn_{0,04})(Fe_{1,55},Al_{0,44})(SiO_4)_3$, soit 67-76 % andradite, alors que la périphérie biréfringente touche presque le domaine du grossulaire $(Ca_{2,97}Mn_{0,08})(Fe_{1,06}Al_{0,99})$ $(SiO_4)_3$, soit 46,5-52,3 % andradite (tabl. IV et fig. 8).

La vésuvianite de couleur vert-foncé, se rencontre dans les bancs de grenatites. Elle se présente souvent en prismes striés isolés, atteignant parfois 10 cm de longueur ou accolés parallèlement ou presque en gerbes obliques les unes sur les autres formant la roche entière. Des petites paillettes de molybdénite y sont associées de façon constante. Au microscope optique, les cristaux de vésuvianite sont entourés par les grenats brunâtres (fig. 9), qui paraissent parfois les remplacer dans une matrice à calcite. Les analyses à la microsonde montrent une variation de composition significative, de l'échelle du cristal à celle de l'affleurement, particulièrement en Al_2O_3 (19,45 – 15,03 %), TiO_2 (0,53 – 3,65 %), FeO_t (2,85 – 4,78 %), CaO (32,69 – 36,09 %) et MnO (0,03 – 4,31 %,) passant au domaine de la manganvésuvianite). Il s'agit d'une vésuvianite plus ferrifère que magnésienne (moyenne Fet : 3,6 %, moyenne Mg : 1,9 %). Le chlore et surtout le fluor sont en teneurs élevées dans la vésuvianite, allant à 2,8 % F (tabl. V).

Les **pyroxénites** sont moins abondantes que les grenatites. Elles constituent des bancs de puissance variable, habituellement inframétriques, de teinte blanc verdâtre à vert sombre, au contact de bancs calcaires massifs. Dans ces

TABL. IV. – Composition des grenats brun-noir d'Azegour (analyses à la microsonde électronique SX 50 BRGM-ISTO, Orléans).
TABLE IV. – *Composition of brown-black garnet from Azegour (electronic microprobe analyses, CAMECA SX 50 BRGM-ISTO, Orléans).*

Couleur du grenat	**c) Grenats brun-noir**																	
Echantillon	AZEM4c1				AZEM4c2			AZEM4c3			AZEM4-1							
	centre			bord	centre		bord	centre		bord	bord							centre
Analyse	128	129	130	131	135	136	137	142	143	144	33	34	35	36	37	38	39	41
SiO_2	36,03	36,91	36,84	36,51	35,42	35,81	36,41	36,13	36,29	36,47	36,89	36,75	36,87	36,32	36,24	36,37	35,93	36,54
TiO_2	0,30	1,03	0,29	0,38	0,06	0,10	0,03	0,25	0,04	0,48	0,46	0,73	0,45	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01
Al_2O_3	5,92	9,28	9,87	10,17	5,40	8,88	9,00	4,55	8,67	9,35	10,39	10,41	10,15	8,09	4,54	4,72	4,49	4,28
FeO	22,21	17,42	17,22	17,57	23,42	20,04	19,47	25,39	19,19	18,09	17,39	16,39	17,49	20,22	24,92	24,19	24,65	24,93
MnO	1,11	1,21	1,29	1,43	0,81	1,34	1,39	2,46	1,31	1,58	1,20	1,21	1,41	1,12	0,56	0,76	0,64	0,72
MgO	0,04	0,03	0,00	0,00	0,04	0,03	0,00	0,02	0,02	0,03	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,05	0,02	0,06
CaO	32,91	32,79	33,16	32,51	33,06	33,12	32,29	30,86	32,90	32,60	33,51	34,00	34,04	33,68	33,02	33,72	33,82	33,62
Total	98,53	98,67	98,67	98,57	98,22	99,33	98,58	99,65	98,41	98,59	99,84	99,56	100,41	99,46	99,28	99,81	99,55	100,16
Andradite	67,02	49,60	47,97	46,73	70,12	54,14	52,33	74,22	53,92	50,31	46,50	46,22	48,13	57,39	74,43	73,76	75,09	76,03
Grossulaire	29,81	47,11	48,77	49,67	27,53	42,40	44,15	19,00	42,68	45,54	50,54	50,48	48,42	39,78	24,06	23,99	23,11	21,75
Pyrope	0,20	0,14	0,00	0,00	0,20	0,14	0,00	0,11	0,07	0,13	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,23	0,09	0,28
Spessartite	2,97	3,15	3,26	3,60	2,15	3,32	3,52	6,67	3,33	4,01	2,96	3,00	3,45	2,83	1,51	2,02	1,70	1,93
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

TABL. V. – Composition des vésuvianites d'Azegour (analyses à la microsonde électronique SX 50 BRGM-ISTO, Orléans).
TABLE V. – *Composition of vesuvianite from Azegour (electronic microprobe analyses, CAMECA SX 50 BRGM-ISTO, Orléans).*

Echantillon	10Bc2									10Bc3			2aSKc4			3SKc3	
Analyse	2	3	4	5	6	7	9	10	12	13	14	15	32	34	35	51	61
SiO_2	36,75	36,74	36,60	37,55	36,85	37,02	36,57	36,47	36,59	36,56	36,68	36,29	36,17	35,71	35,76	36,15	37,57
FeO	3,44	3,31	3,26	2,86	3,49	3,35	3,41	3,30	3,14	2,86	2,85	3,61	4,29	5,23	4,78	4,17	4,26
CaO	36,09	35,76	35,95	35,35	35,79	35,90	36,12	35,75	36,04	35,41	35,69	35,83	35,31	34,92	34,91	34,76	34,46
TiO_2	2,79	2,43	1,66	0,77	1,37	1,99	2,69	3,15	2,48	3,42	3,65	3,16	1,93	1,92	1,98	0,55	2,43
Al_2O_3	16,04	16,18	16,56	18,23	16,80	16,54	15,71	15,66	16,20	15,84	15,49	15,58	15,61	15,50	15,03	16,63	16,04
MnO	0,10	0,07	0,20	0,08	0,10	0,09	0,03	0,14	0,19	0,21	0,16	0,05	0,43	0,55	0,58	0,38	0,50
MgO	1,92	2,03	1,90	1,48	1,85	2,05	1,93	1,99	2,03	1,87	2,07	2,04	1,93	1,84	1,92	1,88	1,74
P_2O_5	0,37	0,44	0,32	0,33	0,30	0,32	0,34	0,35	0,36	0,43	0,29	0,32	0,30	0,34	0,37	0,28	0,32
Cl	0,41	0,37	0,46	0,28	0,36	0,37	0,45	0,29	0,25	0,35	0,34	0,53	0,35	0,34	0,39	0,18	0,29
F	2,35	2,01	1,36	1,19	2,35	2,49	2,15	1,73	2,41	1,88	1,35	2,40	2,16	2,03	3,33	3,03	1,55
H_2O	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Total	101,25	100,32	99,26	99,10	100,28	101,12	100,39	99,82	100,68	99,83	99,56	100,80	99,48	99,35	100,04	99,00	100,15
O-(F-Cl)	1,08	0,93	0,67	0,56	1,07	1,13	1,01	0,79	1,07	0,87	0,64	1,13	0,99	0,93	1,49	1,31	0,72
Total final	100,17	99,39	98,59	98,54	99,21	99,99	99,38	99,02	99,61	98,95	98,91	99,67	98,49	98,42	98,55	97,68	99,43
Formule structurale sur la base de 74 oxygènes																	
Si	17,139	17,331	17,555	17,900	17,300	17,208	17,238	17,359	17,136	17,328	17,522	17,013	17,277	17,197	16,853	17,120	17,819
Al	8,819	8,994	9,363	10,242	9,297	9,064	8,732	8,786	8,940	8,848	8,721	8,608	8,789	8,796	8,348	9,282	8,964
Fe	1,341	1,305	1,306	1,138	1,370	1,304	1,342	1,314	1,228	1,135	1,139	1,414	1,715	2,105	1,885	1,652	1,688
Mn	0,038	0,028	0,082	0,034	0,041	0,034	0,010	0,055	0,074	0,082	0,063	0,021	0,173	0,222	0,230	0,152	0,201
Mg	1,333	1,425	1,355	1,053	1,296	1,420	1,358	1,413	1,420	1,324	1,477	1,428	1,376	1,317	1,349	1,325	1,229
Ca	18,035	18,075	18,474	18,054	18,001	17,880	18,244	18,233	18,086	17,983	18,266	17,999	18,074	18,019	17,630	17,643	17,510
Ti	0,979	0,862	0,599	0,275	0,485	0,696	0,952	1,126	0,872	1,220	1,310	1,113	0,693	0,695	0,703	0,194	0,865
F	3,462	2,999	2,057	1,786	3,486	3,665	3,206	2,605	3,571	2,824	2,038	3,551	3,255	3,084	4,958	4,531	2,329
Cl	0,327	0,293	0,372	0,222	0,290	0,295	0,362	0,232	0,194	0,283	0,271	0,420	0,284	0,274	0,312	0,145	0,229
Total	51,473	51,311	51,164	50,704	51,566	51,565	51,444	51,122	51,522	51,028	50,807	51,569	51,636	51,710	52,269	52,045	50,834

bancs, le pyroxène peut être seul ou accompagné de quartz, calcite et/ou grenat andradite. Les cristaux, généralement millimétriques, peuvent dépasser 10 cm dans certains filons. La composition des clinopyroxènes est variable, oscillant entre le pôle diopside et le pôle hédenbergite (tabl. VI, fig. 10). Le pourcentage du composant johannsenite varie généralement de 2 à 5 %, mais il est assez élevé (10 à 23 %) dans les cristaux contenant entre 50 et 70 % d'hédenbergite. Dans les pyroxénites à diopside, le grenat est plus riche en grossulaire et vésuvianite. Certains cristaux ont été rétromorphosés en amphibole lors de la phase rétrograde du skarn et sont souvent accompagnés d'hématite avec parfois de la chlorite, des oxydes de fer et de chalcopyrite le long des clivages.

La scapolite est peu abondante et présente à la bordure nord du granite, dans la bande calcaire de Toulkine. Elle est laiteuse, massive et automorphe, généralement associée à la calcite, l'hématite et à des inclusions de quartz. Elle est parfois remplacée par le diopside plus ou moins ferrifère. Sa composition est proche du pôle méionite (56,73 à 96,66 Me) (tabl. VII).

TABL. VI. – Composition des pyroxènes d'Azegour (analyses à la microsonde électronique SX 50 BRGM-ISTO, Orléans).
TABLE VI. – *Composition of pyroxenes from Azegour (electronic microprobe analyses, CAMECA SX 50 BRGM-ISTO, Orléans).*

Echantillon	EZ12c1		EZ12c3		EZ14c1		EZ16c3		EZ13c1	EZ13c2		2aSKc1						2aSKc3		
Analyse	44	45	55	56	111	112	76	82	88	90	92	95	96	97	104	106	109	22	23	24
SiO2	55,18	55,02	53,26	54,06	52,74	52,77	51,52	51,15	53,15	53,77	49,49	47,77	48,60	48,10	48,22	48,60	48,99	52,95	52,02	52,08
Al2O3	0,72	0,11	0,26	0,39	0,18	0,42	5,85	5,52	0,51	0,68	5,90	1,65	0,47	0,70	0,51	0,20	0,21	1,02	0,41	0,47
FeO	1,70	3,21	6,17	4,56	7,74	10,53	3,32	3,84	7,92	6,89	6,29	25,01	25,52	26,75	25,01	24,61	24,25	6,60	11,29	11,41
MnO	1,60	1,86	1,22	1,52	1,74	1,09	0,21	0,00	0,63	0,81	1,42	1,27	1,15	0,93	3,37	1,93	1,64	1,38	2,05	0,34
MgO	16,45	16,20	14,25	15,05	12,92	11,59	15,53	14,57	12,97	13,92	12,28	1,27	1,19	0,38	0,10	2,01	1,81	13,24	10,14	10,91
CaO	24,71	25,97	25,09	25,48	25,01	25,00	23,79	23,10	24,94	25,22	23,71	22,54	22,57	21,90	22,52	22,97	22,81	24,87	24,37	24,13
TOTAL	100,36	102,36	100,27	101,06	100,33	101,40	100,22	98,18	100,13	101,28	99,08	99,50	99,50	98,76	99,73	100,32	99,71	100,07	100,27	99,34
Diopside	89,84	88,82	77,41	81,48	70,77	63,96	88,66	87,11	72,97	76,30	73,90	74,70	57,48	62,33	65,10	64,54	70,14	70,57	49,14	60,81
Hédenbergite	5,20	5,39	18,81	13,84	23,80	32,62	10,65	12,89	25,00	21,17	21,25	20,88	35,92	36,58	30,26	30,50	25,15	25,48	41,52	32,51
Johannsenite	4,96	5,79	3,77	4,68	5,43	3,43	0,69	0,00	2,02	2,53	4,85	4,42	6,59	1,09	4,64	4,95	4,71	3,95	9,35	6,67

Echantillon	7bSKc3				4cSKc3				4cSKc2		EZ11bc1			EZ11bc2	EZ11bc3	
Analyse	25	26	27	28	29	30	75	76	77	78	95	96	97	104	106	109
SiO2	52,32	52,25	52,66	52,84	51,87	52,08	50,42	51,19	50,77	50,66	47,77	48,60	48,10	48,22	48,60	48,99
Al2O3	0,39	0,51	0,67	0,86	0,28	0,54	0,03	0,01	0,00	0,06	1,65	0,47	0,70	0,51	0,20	0,21
FeO	9,70	9,57	8,03	8,20	13,03	10,34	12,90	13,67	14,46	14,63	25,01	25,52	26,75	25,01	24,61	24,25
MnO	1,47	1,53	1,49	1,26	2,90	2,10	6,78	5,95	5,88	5,55	1,27	1,15	0,93	3,37	1,93	1,64
MgO	11,71	11,36	12,57	12,74	8,65	10,86	5,56	6,23	5,48	5,63	1,27	1,19	0,38	0,10	2,01	1,81
CaO	24,41	24,21	24,85	24,28	23,81	24,18	23,74	23,56	23,51	23,74	22,54	22,57	21,90	22,52	22,97	22,81
TOTAL	100,00	99,44	100,25	100,16	100,54	100,09	99,44	100,61	100,10	100,26	99,50	99,50	98,76	99,73	100,32	99,71
Diopside	33,40	36,04	32,37	33,11	47,81	48,55	42,27	53,56	26,39	35,96	7,90	7,38	2,41	0,65	11,89	11,08
Hédenbergite	43,46	44,39	47,90	48,33	41,85	43,95	47,71	39,74	58,46	47,35	87,61	88,57	94,27	87,43	81,62	83,22
Johannsenite	23,14	19,57	19,73	18,56	10,34	7,50	10,03	6,71	15,15	16,69	4,49	4,05	3,33	11,92	6,49	5,70

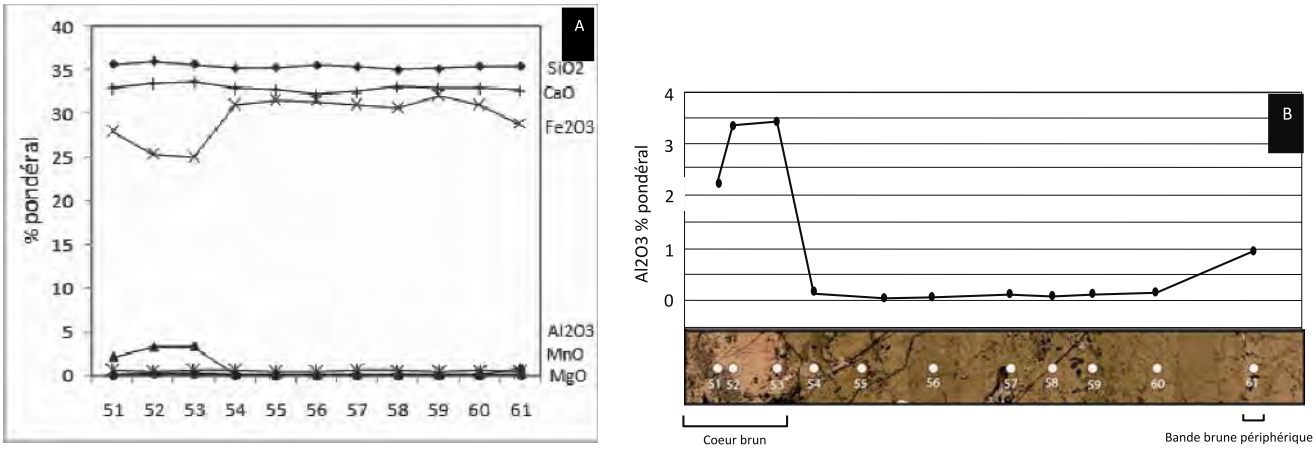

FIG. 7. – A : variation de composition d'un cristal de grenat vert-noir (AZ 42) en passant du cœur brun (gauche du diagramme, analyses 51-53 tableau III), aux bandes de croissance verdâtre (centre) puis aux bandes périphériques brunâtres (sur la droite, analyse 60-61 du tableau 3) ; B : idem montrant l'évolution de la teneur en Al le long de la coupe du cristal.
FIG. 7. – A: *variation in composition of a green-black garnet (AZ 42) from core (left, analyses 51-53 of table III), to greenish growing bands (center) and brown peripherical bands (right, analyses 60-61 of table III)*; B: *idem showing evolution of Al content along the cross cut of the crystal.*

TABL. VII. – Composition des scapolites d'Azegour (analyses à la microsonde électronique SX 50 BRGM-ISTO, Orléans).
TABLE VII. – *Composition of scapolite from Azegour (electronic microprobe analyses, CAMECA SX 50 BRGM-ISTO, Orléans).*

Echantillon	10Bc2		10Bc1			10Bc3	10SKc2			10Skc1
Analyse	8	11	17	19	20	16	110	111	112	113
SiO2	48,74	48,87	43,27	44,66	43,68	45,72	47,95	47,89	46,13	47,41
Al2O3	26,53	27,31	33,47	28,41	23,61	27,06	25,49	25,10	26,12	25,49
FeO	0,09	0,00	0,02	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,11	0,12
MgO	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,04	0,03	0,00
CaO	15,35	13,96	18,73	20,41	26,16	15,69	15,17	15,63	15,33	14,88
Na2O	4,73	5,28	1,86	1,52	0,43	4,21	3,97	3,32	4,57	4,11
K2O	0,98	0,92	0,44	1,16	0,11	0,57	0,89	0,85	1,19	1,07
Cl	1,20	1,10	0,01	0,04	0,01	0,69	1,08	0,79	1,03	1,20
CO_2	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30
Total	101,93	101,75	102,11	100,51	98,37	98,25	98,85	97,93	98,80	98,58
O?Cl	0,27	0,20	0,00	0,01	0,00	0,12	0,19	0,14	0,18	0,21
total vrai	101,66	101,56	102,10	100,51	98,37	98,13	98,66	97,79	98,62	98,36
Formule structurale sur la base de 24 oxygènes										
Si	6,955	6,958	6,184	6,547	6,648	6,785	7,039	7,092	6,837	6,996
Al	4,463	4,584	5,639	4,909	4,234	4,733	4,412	4,381	4,563	4,433
Fe	0,011	0,000	0,003	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,014	0,014
Mg	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,003	0,003	0,010	0,006	0,000
Ca	2,348	2,129	2,868	3,206	4,267	2,494	2,386	2,480	2,435	2,353
Na	1,309	1,457	0,516	0,433	0,127	1,211	1,130	0,954	1,312	1,177
K	0,179	0,168	0,081	0,217	0,022	0,108	0,167	0,160	0,225	0,201
Cl	0,290	0,266	0,003	0,010	0,004	0,173	0,268	0,198	0,258	0,301
sum	15,56	15,56	15,29	15,32	15,31	15,51	15,40	15,27	15,65	15,48
An	64,20	59,37	84,75	88,10	97,12	67,31	67,87	72,23	64,98	66,66
Me	**61,34**	**56,73**	**82,79**	**83,14**	**96,64**	**65,43**	**64,82**	**69,10**	**61,49**	**63,21**

DISCUSSION ET CONCLUSION

Le métamorphisme de contact a provoqué la formation d'un puissant skarn avec grenatites dominantes, pyroxénites et wollastonitites aux dépens de bancs de roches carbonatées et silico-carbonatées. L'apport de fluides magmatiques à dominante Si et Fe (jusqu'à 30 % Fe_2O_3) a conditionné la cristallisation des silicates calciques, associés au molybdène, tungstène et cuivre qui forment la minéralisation économique.

Origine et genèse

La nature pétrographique des bancs du skarn relève pour l'essentiel de la nature initiale de la roche-hôte, qui à Azegour est variable : calcaire, calcaires volcanoclastiques, dolomie ou calcschiste. Les bancs calcaires les plus purs ont conduit à la formation de bancs à wollastonite pure ou largement dominante, les calcaires volcanoclastiques, plus alumineux à la formation de grenatites par fixation du fer magmatique et de la silice, les pyroxénites représentant un faciès de réaction sur la bordure des bancs calcaires. Une partie du fer ayant diffusé dans les bancs calcaires pourrait être à l'origine des grenats au sein des bancs à wollastonite. À plus grande distance du granite, les bancs de calcaires purs, n'ayant pas bénéficié de l'apport de fer et/ou de silice magmatiques, ont simplement recristallisés.

Une grande quantité de wollastonite peut être formée dans des marbres calcitiques selon la réaction :

$CaCO_3 + SiO_2$ (fluide) = $CaSiO_3$ (wollastonite) + CO_2 (fluide) (1)

lorsque le fluide riche en H_2O provient d'une source magmatique [Tanner *et al.,* 1985 ; Dipple and Gerdes,1998 ; Fernàndez-Caliani and Galàn, 1998].

Les grenats se forment pour leur part à partir de la réaction [Abu El-Enen *et al.*, 2004] :

$CaCO_3 + 3\ SiO_2 + (Al,Fe)O_3$ (fluide) = grenat (grossulaire-andradite) + 3 CO_2 (fluide)

Les formations métasomatiques du skarn sont dominées par les grenatites. Les trois couleurs des grenats traduisent bien trois gammes de compositions différentes Le grenat

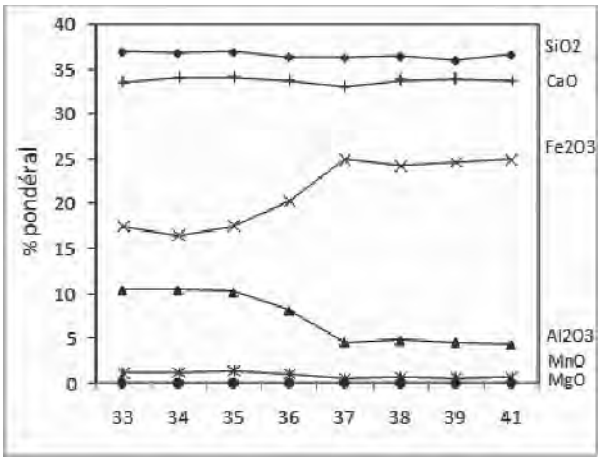

FIG. 8. – Variation de la composition d'un grenat brun-noir du bord (analyses 33 à 35) vers le cœur isotrope (analyses 38 à 41) (AZEM 4-1).
FIG. 8. – *Variation in composition of brown-black garnet from periphery (analyses 33 to 35) towards isotropic core of a crystal (analyses 38 to 41; sample AZEM 4-1).*

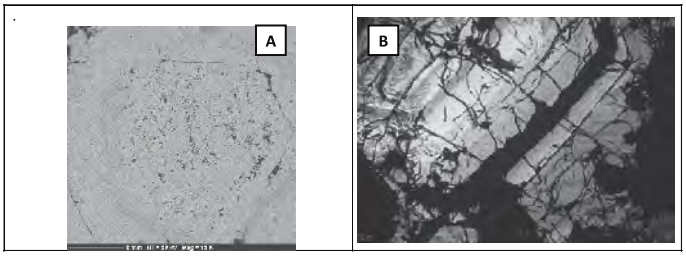

FIG. 9. – Zonalité dans un cristal de vésuvianite entouré par des grenats brun-noir (A : photo MEB, et B : microscope polarisant).
FIG. 9. – *Zoning within a crystal of vesuvianite surrounded by brown-black garnet (*A: *SEM photograph, and* B: *optical microscope).*

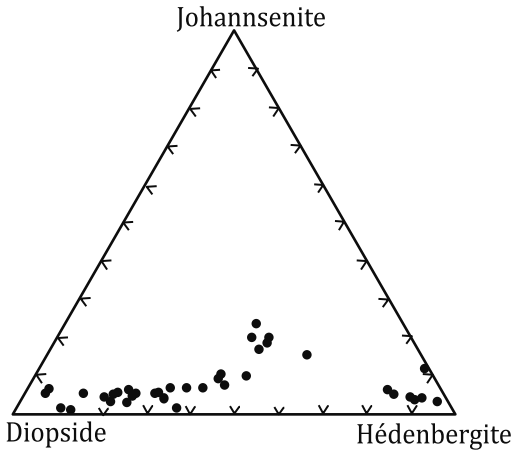

FIG. 10. – Composition chimique des pyroxènes dans le diagramme triangulaire johannsenite - hédenbergite - diopside.
FIG. 10. – *Composition of pyroxene within the johannsenite-hedenbergite-diopside diagram.*

vert-noir est en effet majoritairement de l'andradite pure, le grenat orangé du grossulaire, et le grenat brun-noir est souvent composite avec un cœur de grenat brun, composé d'andradite presque pure, et une périphérie de grenat plus alumineux se rapprochant du champ du grossulaire (fig. 11). Il est difficile de proposer une chronologie à l'échelle du district, le grossulaire n'ayant été observé que dans la zone nord. De plus les andradites présentant tantôt des cœurs tantôt ferrifères évoluant vers une composition plus alumineuse parfois proche du champ grossulaire (grenat brun-noir), tantôt un cœur plus alumineux et une périphérie plus ferrifère (grenat vert-noir). Il est probable que la nature du protolite conditionne de façon prépondérante l'apparition de tel ou tel grenat. Le pourcentage de spessartite peut atteindre 4 % dans ces grenats (tabl. II).

La place de la vésuvianite est elle aussi variable, bien que fréquemment tardive, sub-synchrone de la fin de cristallisation du grossulaire. L'introduction des volatils à partir du magma granitique a pu jouer un rôle important dans la formation de ce minéral et de la scapolite [Watanabe et Arima, 1989]. Le chlore est présent dans les scapolites (< 1,2 %) et à un degré moindre dans les vésuvianites (< 0,5 %). Le fluor existe sous forme de fluorine comme minéral accessoire dans les roches à silicates calciques, et en teneur notable dans les vésuvianites (jusqu'à 3,3 %) (tabl. V), et a probablement conditionné la formation de la vésuvianite. Selon Permingeat [1957], la scapolite proviendrait de la transformation de plagioclase de débris volcaniques, ce qui n'a pu être confirmé dans le cadre de cette étude.

Conditions de formation

L'ensemble des observations minéralogiques permet de remonter aux conditions de pression, température et fraction du CO_2 du fluide responsable de la formation des skarns. L'abondance de la wollastonite autour du granite suggère une température minimale de 580-600 °C [Taylor et Liou, 1978 ; Zhu *et al.*, 1994 ; Grammatikopoulos et Clark, 2006].

La présence de cordiérite fraîche, d'andalousite et de biotite dans les cornéennes, au contact immédiat du granite, suggère une température de formation au-dessus de la courbe de réaction : muscovite + quartz = silicates d'alumine + orthose + H_2O, dans le champ de l'andalousite, soit une gamme de température entre 620 et 650 °C. Ces résultats sont en accord avec ceux d'Ait Ayyad [2003] qui estime la température entre 640 et 670 °C.

La pression de mise en place du granite d'Azegour a été estimée par El Amrani [1984], Zerhouni [1988] et Ait Ayad [2003] entre 1,5 et 2 kbar. Si on applique l'équation : $T_{contact}$ = 60 % $T_{granite}$ + $T_{encaissant}$ [Jaeger, 1968] pour les températures ci-dessus (620 – 650 °C), en considérant une température moyenne du granite de 700 °C, un gradient géothermique de 30 °C/km et une pression lithostatique de 2,6 kbar/10 km dans la croûte continentale, la pression calculée se situe entre 1,7 et 2 kbar.

Par ailleurs, la coexistence d'andradite, wollastonite, calcite et hédenbergite dans les grenatites correspond à un équilibre suivant les réactions :

andradite + quartz = hédenbergite + calcite (2),

très couramment observé, et :

andradite + quartz = hédenbergite + wollastonite (3),

moins communément observé.

Les réactions (1), (2) et (3) convergent vers le point triple « Azegour » sur le diagramme T°-XCO_2, correspondant à une fraction molaire de CO_2 de ≈ 31 mole % et une température de 640 °C [Taylor et Liou, 1978] (fig. 12). Cette valeur est cohérente avec la valeur moyenne considérée dans la littérature [Einaudi *et al.*, 1981 ; Meinert *et al.*, 2005].

Ces températures de 620-650 °C correspondent aux températures maximales atteintes lors de l'étape prograde. L'étape rétrograde va voir une baisse significative des températures, induisant notamment la formation d'amphibole (actinote et magnésio-hornblende) aux dépens des pyroxènes, et dans les cornéennes de muscovite aux dépens de la cordiérite.

Les skarns à molybdène présentent généralement une minéralogie dominée par l'hédenbergite, et à un degré moindre de grandites, wollastonite, amphibole et fluorine. Cette minéralogie constitue un indicateur d'un environnement réduit [Meinert, 1992, 2005]. Les skarns d'Azegour se distinguent de ceux cités dans la littérature par l'abondance du grossulaire

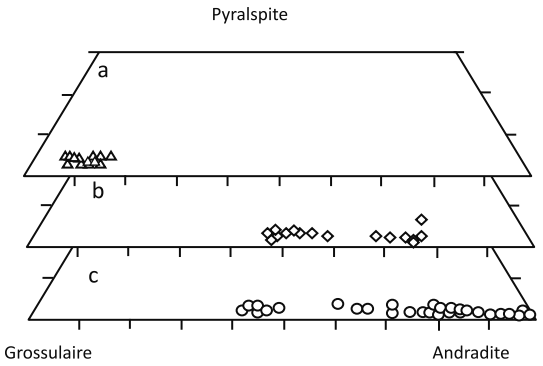

FIG. 11. – Composition des trois types de grenats dans le diagramme triangulaire grossulaire, andradite et pyralspite. a: grenats orangés ; b : grenats brun-noir ; c : grenats vert-noir.
FIG. 11. – *Composition of the three different garnets in the grossular-andradite-pyralspite diagram.* a: *orange garnet;* b: *brown-black garnet;* c : *green-black garnet.*

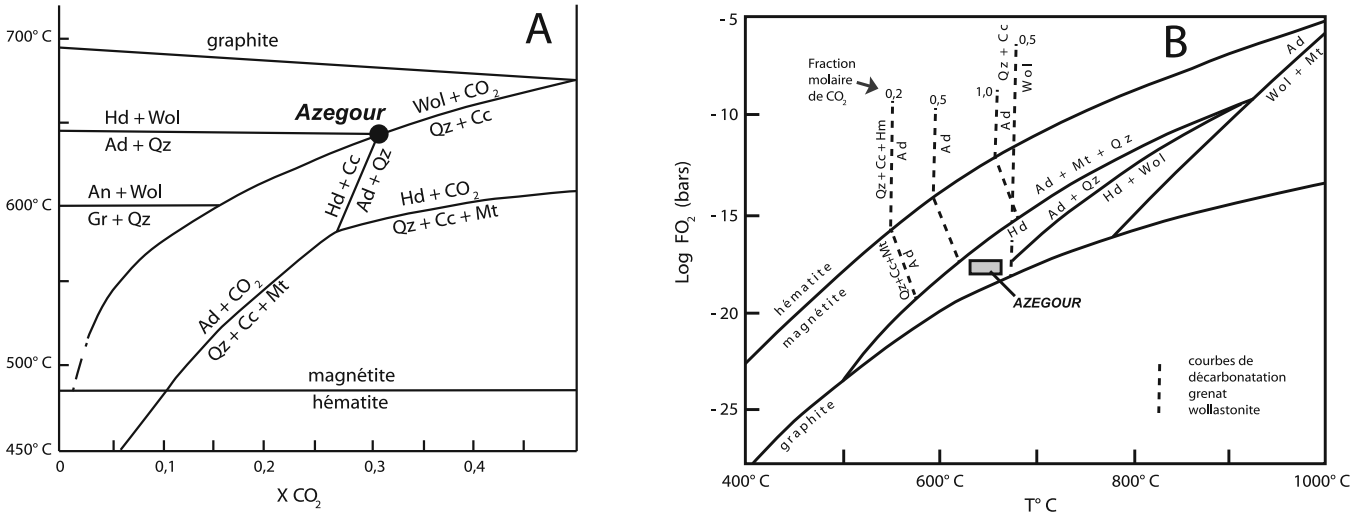

FIG. 12. – A : Diagramme de stabilité T-X CO_2, à P_{fluide} = 2000 bars et pour log (O_2 = -18,5, montrant les conditions de formation du skarn d'Azegour, et B : Diagramme de stabilité log (O_2-T dans le système Ca-Fe-Si-O-H et position des conditions du stade prograde d'Azegour [A et B d'après Taylor and Liou, 1978].

FIG. 12. – A: *stability diagram T-X CO_2, with Pfluid = 2000 bars with log fO_2 = -18.5, showing the condition of formation of the Azegour skarn;* B*: stability diagram log fO_2-T in the Ca-Fe-Si-O-H system, with position of the prograde stage at Azegour [A and B from Taylor and Liou, 1978].*

et de l'andradite. Le faible rapport moyen d'oxydation $Fe_2O_3/(Fe_2O_3+FeO)$ de 0,29 du granite d'Azegour [Ait Ayyad, 2003] indiquerait aussi une cristallisation sous des conditions relativement réductrices. L'utilisation du diagramme T°C-fO_2, avec la fraction de $CO_2 \approx 31$ mole % pour une température T de 640 °C, et en tenant compte des réactions (1) et (3) permet de définir un intervalle de fO_2 entre 10^{-18} et 10^{-17}atm (fig. 12B).

Plusieurs autres skarns hercyniens et tardi-hercyniens sont connus au Maroc et dans les Hercynides occidentales. Si certains sont peu minéralisés (Tighza au Maroc central), la plupart possèdent une minéralisation à tungstène et cuivre accessoire (Salau, Ariège, France), aucun cependant ne présente une minéralisation à molybdène, ce qui est une différence majeure par rapport à Azegour.

Le skarn de Tighza (ou Djebel Aouam) s'est formé au contact des calcaires viséens et du granite du Mispickel, daté à 286 ± 1 Ma [Nerci, 2006]. La paragenèse prograde est dominée par l'andradite vert zoné ($An_{59}Gr_{38}$) avec un peu d'étain (0,12 % Sn), accompagnée de wollastonite, diopside-hédenbergite évoluant vers de la vésuvianite et de l'hydrogrossulaire, qui assurent la transition vers un stade rétrograde franc à actinote, chlorite et épidote [Nerci, 2006]. Les conditions précises de dépôt n'ont pas été abordées mais elles sont très probablement proches de celles rencontrées dans le skarnoïde à scheelite tout proche du Signal, et calculées à 580 °C et 1,8 kbar [Cheilletz et Isnard, 1985].

Le skarn à tungstène de Salau (Ariège, France) est un important gisement de ce métal, exploité de 1971 à 1986 pour une production de 13 950 t de WO_3. Le skarn s'est développé aux dépens de calcaires dévoniens suite à l'intrusion de la granodiorite de la Fourque, datée par analogie avec les autres massifs pyrénéens entre 270 et 290 Ma. Ce gisement a fait l'objet d'importants travaux notamment très complets [Fonteilles *et al.*, 1989]. La paragenèse du skarn varie grandement selon la roche initiale, mais les silicates calciques restent abondants avec grossulaire ($Gr_{83-94}An_{11-5}Al_{4,3-0,7}$), diopside-hédenbergite ($Di_{80-60}Hd_{20-40}$), vésuvianite, calcite et quartz mais très peu de wollastonite. Les conditions du stade prograde ont été établies à 540-450 °C, avec scheelite et pyrrhotite en équilibre avec l'hédenbergite précoce, évoluant vers de plus basses températures (450-350 °C), et la cristallisation synchrone de grossulaire et de scheelite abondante.

Les paragenèses de ces deux skarns tardi-hercyniens sont proches mais non semblables à celle d'Azegour qui se singularise par l'abondance de la wollastonite. Par ailleurs, les températures obtenues sur ces deux sites sont inférieures à celles calculées à Azegour, possiblement à relier à l'abondance de molybdénite, un minéral qui se rencontre dans les systèmes de haute température comme les porphyres cuprifères. Les skarns tardi-hercyniens semblent donc bénéficier d'une grande diversité, à la fois paragénétiques et métallogéniques.

Références

ABU EL-ENEN M.M., OKRUSCH M. & WILL T.M. (2004). – Contact metamorphism and metasomatism at a dolerite-limestone contact in the Gebel Yelleq area, northern Sinai, Egypt. – *Mineralogy and Petrology,* **81**, 135-164.

Ait Ayyad N. (2003). – Le magmatisme paléozoïque du Haut Atlas occidental : marqueur de l'évolution géodynamique du Maroc hercynien méridional. – Thèse d'Etat, Université Cadi Ayyad, Marrakech, 251 p.

AMENZOU M. & BADRA L. (1996). – Les granites d'Azegour et de Brikiine (Maroc) : implication génétique d'après la typologie des zircons. – *C. R. Acad. Sci.,* Paris, (Série 2)*, Sciences de la terre et des planètes*, **323**, 3, 213-220.

BERRADA H.S., HAJJAJI M. & BELKABIR A. (2011). – Mineralogical and geochemical features of the wollastonite deposit of Azegour, Haut-Atlas (Morocco). – *J. Afr. Earth Sci.,* **60** (4), 247-252.

CHARLOT R., TISSERANT D., VIDAL PH. & VIDAL F. (1967). – Rapport technique et quelques résultats. – *C. R. Activ., Serv. Géol. Maroc*, 126-137.

CHEILLETZ A. & ISNARD P. (1985). – Contribution à la prospection des gisements hydrothermaux de tungstène sur l'exemple du district polymétallique W-Pb-Zn-Ag du Jbel Aouam (Maroc central). – *Mineral. Dep.*, **20**, 220-230.

DIPPLE G.M. & GERDES M. (1998). – Reaction infiltration feedback and hydrodynamics at the skarn front. *In* : D.R. LENTZ, Ed., Mineralized intrusion-related skarn systems. – *Mineralogical Association of Canada Short Course*, **26**. – Mineralogical Association of Canada, 71-97.

EINAUDI M.T., MEINERT L.D. & NEWBERRY R.J. (1981). – Skarn deposit. – *Econ. Geol.,* **75,** the Anniversary Volume, 317-391.

EL AMRANI M. & EL HASSANI I. (1984). – Contribution à l'étude pétrologique, minéralogique, métallogénique et pétrologie structurale des formations de la région d'Azegour (Haut Atlas, Maroc). – Thèse Doctorat 3ème cycle, Faculté des Sciences, Nancy I, France.

EL AMRANI M. & EL HASSANI I. (1987). – Caractérisation pétrologique du massif de « roches vertes » de la région d'Azegour (Haut Atlas occidental). – *Bull. Inst., Sci*., Rabat, 1987, **11**, 9-22.

FERNÁNDEZ-CALIANI J.C. & GALÁN E. (1998). – Effects of fluid infiltration on wollastonite genesis at the Mérida contact-metamorphic deposits, SW Spain. – *Mineral. Petrol*., **62**, 247-267.

FONTEILLES M., SOLER P., DEMANGE M., DERRÉ C., KRIER-SCHELLEN A-D., VERKAEREN J., GUY B., & ZAHM A. (1989). – The scheelite skarn deposit of Salau (Ariège, France). – *Econ. Geol.*, **84**, 1172-1209.

GASQUET D., NACHIT H. & STUDDI J.M. (1995). – Les granitoïdes hercyniens du Maroc : leur rôle comme marqueurs géologiques dans l'évolution spatio-temporelle régionale. – *Réunion Extraordinaire de la Soc. Géol. France*, Marrakech, 53-54.

GRAMMATIKOPOULOS T.A. & CLARK A.H. (2006). – A comparative study of wollastonite skarn genesis in the Central Metasedimentary belt, southeastern Ontario, Canada. – *Ore Geol. Rev.,* **29,** 146-161.

JAEGER J.C. (1968). – Cooling and solidification of igneous rocks. *In* : H.H. HESS and A. POLDERVAARD, Eds, The Poldervaart treatise on rocks of basaltic composition, **2**. – Inerscience, ? ? ? ? ? ? ?ville, pp. ? ? ? ? ? ? ? ? ? ? ?

JÉBRAK M. & MARCOUX É. (2008). – Géologie des ressources minérales. – Éd. Ministère des ressources naturelles et de la faune, Québec, 668 p.

MABKHOUT F., BONIN B., AIT AYYAD N., SINA C. & LAGARDE J.L. (1988). – Les massifs granitiques alcalins du Permien marocain. – *C. R. Acad. Sci.,* Paris, **507**, (2), 163-168.

MASON B. (1975). – Compositional limits of wollastonite and bustamite. – *Am. Mineral*., **60**, 209-212.

MEINERT L.D. (1992). – Skarns and skarn deposits. – *Geoscience Canada*, **19**, 4, 145-162.

MEINERT L.D., DIPPLE G.M. & NICOLESCU S. (2005). – World skarn deposits. – *Econ. Geol.*, **100th** anniversary volume, 299-336.

MRINI Z. (1985). – Age et origine des granitoïdes hercyniens du Maroc ; Apport de la géochronologie et de la géochimie isotopique (Sr, Nd, Pb). – Doctorat Univ. Clermont-Ferrand, 156 p.

NERCI K. (2006). – Les minéralisations aurifères du district polymétallique de Tighza (Maroc central) : un exemple de mise en place périgranitique tardihercynienne. – Thèse Université d'Orléans et Université du Québec à Montréal, 302 p.

NELTNER L. (1938). – Granites du Haut-Atlas. – *C. R. sommaire Soc. Géol. Fr.*, 70-71.

PERMINGEAT F. (1957). – Le gisement de molybdène, tungstène et cuivre d'Azegour (Haut Atlas). – *Notes et mémoires du Service géologique du Maroc*, nº **141**.

TANNER S.B., KERRICK D.M. & LASAGA A.C. (1985). – Experimental kinetic study of the reaction calcite + quartz = wollastonite + carbon dioxide, from 1 to 3 kbar and 500º to 850ºC. – *Amer. Jour. Sci*., **285**, 577-620.

TAYLOR B.E. & LIOU J.G. (1978). – The low-temperature stability of andradite in C-O-H fluids. – *Am. Miner.*, **63**, 378-393.

WATANABE S. & ARIMA M. (1989). – Vesuvia nite and associated minerals in the Shiraishizawa area, Tanzawa mountainland, Central Japan. – *Sci. Repts. Yokohama Natl. Univ.*, Sect. II, **36**, 71-86.

ZERHOUNI Y. (1988). – Contribution à l'étude géologique de la région d'Azegour et de minéralisations en Mo, W, Cu et Fe : Haut-Atlas de Marrakech, Maroc. – Doctorat Univ. Cadi-Ayyad – Marrakech, 185 p.

ZHU H., NEWTON R.C. & KLEPPA O.J. (1994). – Enthalpy of formation of wollastonite ($CaSiO_3$) and anorthite ($CaAl_2Si_2O_8$) by phase experimental equilibrium measurements and high-temperature solution calorimetry. – *Am. Miner.*, **79,** 134-144.