

**SUR QUELQUES MINÉRAUX DE LA ZONE PIÉMONTAISE
(ZONE DU COMBIN)
DANS LES ALPES FRANÇAISES**

par **Jacqueline DESMONS ***

RESUME - Les principaux minéraux de quelques roches méta-ophiolitiques et méta-sédimentaires de la zone piémontaise du Combin ont été analysés : (1) amphibole brune, bleue et verte et chlorite d'un métagabbro ; (2) glaucophane, pyroxènes sodiques, phengite et lawsonite de metabasites ; (3) amphibole sodique peu ferrifère phengite et chlorite d'un marbre ; (4) grenat andradite, amphibole et pyroxène calciques d'un skarn ; et (5) diopside, chromite, magnésio-riebeckite et mariposite d'un marbre. Ces minéraux caractérisent différents phases de l'évolution de la zone du Combin, depuis la cristallisation magmatique jusqu'aux métamorphismes alpins.

ABSTRACT - Minerals from some meta-ophiolitic and meta-sedimentary rocks of the Combin (Piemonte) zone have been analyzed : (1) brown, blue and green amphiboles and chlorite from a metagabbro ; (2) glaucophane, Na-pyroxenes, phengite and lawsonite from metabasites ; (3) Fe-poor Na-amphibole, phengite and chlorite from a marble ; (4) andradite garnet, Ca-amphibole and -pyroxene and chlorite from a skarn ; (5) Mg-riebeckite, diopside, chromite and mariposite from a silicate marble. These minerals characterize various phases of the evolution of the Combin zone, from the magmatic crystallization to the Alpine metamorphic phases.

INTRODUCTION

La grande variété de ses associations minérales a fait de la zone piémontaise (s.l.) la source de beaucoup des données sur lesquelles se fondent les reconstitutions alpines. Les roches ophiolitiques, par leur incompetence et leur degré d'hydratation primitivement faible, ont gardé des témoins des nombreux stades de leur évolution et ces témoins sont souvent riches de signification. Par contre, les associations minérales de leur encaissant sédimentaire - les Schistes lustrés au sens large - sont souvent plus pauvres que ne le demande la règle des phases, montrant qu'elles se sont formées en système ouvert.

Le but de cette note est de présenter des résultats analytiques concernant les minéraux de quelques roches particulières de la zone piémont-

taise. Ces roches appartiennent toutes à la zone du Combin, partie de la zone piémontaise actuellement en position supérieure et externe par rapport à la zone Zermatt. Radelli et Desmons (1987 et 1988), Desmons (1989) et Desmons et Radelli (1989) ont déduit de leur position structurale relative, de leur contenu lithologique et de leurs différentes évolutions métamorphiques que les zones du Combin et de Zermatt devaient provenir de deux bassins distincts, séparés à l'origine par un arc sialique, la zone briançonnaise, même si leurs eaux pouvaient communiquer latéralement. Il serait donc plus exact de parler non de la zone piémontaise, mais *des* zones piémontaises et la juxtaposition actuelle des zones du Combin et de Zermatt sur une grande part de leur étendue ne doit pas faire conclure à une origine dans un seul et même bassin.

* C.N.R.S. ; C.R.P.G., B.P. 20, F-54501 Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex.

n°	roche	localisation	association minérale et minéraux analysés (en caractères gras)
86JD77	métagabbro	Cervières, E lac des Cordes	amphibole brune, bleue, vert bleu, actinote, trémolite-actinote, chlorite, albite, ilménite, sphène, calcite
866	métabasite	St-Véran/Ceillac, col des Prés Bergers	amphibole bleue, lawsonite, albite, sphène
1168	métabasite	idem	amphibole bleue, pyroxène Na, phengite, muscovite, chlorite, albite, quartz, sphène, apatite, zircon, calcite
1280	brèche de coussin	idem	amphibole bleue, pyroxène Na, phengite, lawsonite, chlorite, albite, sphène, oxyde opaque
86JD92	marbre à amp. bleue	Molines-en-Queyras, vallon du Longet	calcite, amphibole bleue, phengite, chlorite, albite, sphène
1059	skarn	Bessans, Le Villaron, le Molard	grenat andradite, amphibole Ca, pyroxène Ca, calcite, quartz, sulfures
104	marbre à silicates	Mt Jovet, Prajourdan	calcite, diopside, chromite, amphibole bleue, mica Cr, chlorite, oxyde opaque

Tableau I. Liste des échantillons étudiés.

LES ECHANTILLONS

Les principaux minéraux de sept échantillons ont été analysés : quatre roches ophiolitiques, deux roches sédimentaires et un skarn, qui se distribuent dans la zone du Combin entre le Mont Jovet et la haute Maurienne, d'une part, et le Queyras de l'autre. Le tableau I en fournit la liste et la fig. 1 la localisation.

METHODES D'ANALYSE

Les analyses ont été effectuées à la microsonde automatisée CAMEBAX de l'Université de Nancy, sous une tension de 15 kV et une intensité à l'échantillon de 10 nA. Les concentrations des éléments y sont calculées avec le programme de correction MBXCOR de Henoe et Tong (1978).

Les formules structurales des minéraux ont été calculées sur base anhydre de 2 (calcite), 6 (grenat et clinopyroxène), 8 (lawsonite), 12 (mica), 23 (amphibole), 28 (chlorite) et 32 (chromite) oxygènes. Le fer a été considéré comme entièrement bivalent dans les micas, l'amphibole calcique, la chlorite et le clinopyroxène non aegyrinique, entièrement trivalent dans le grenat du skarn, la lawsonite et l'aegyrine et distribué par moitié entre bi et trivalent ($\text{FeO \%} = \text{Fe}_2\text{O}_3 \%$) pour l'amphibole sodique et le spinelle. Cette

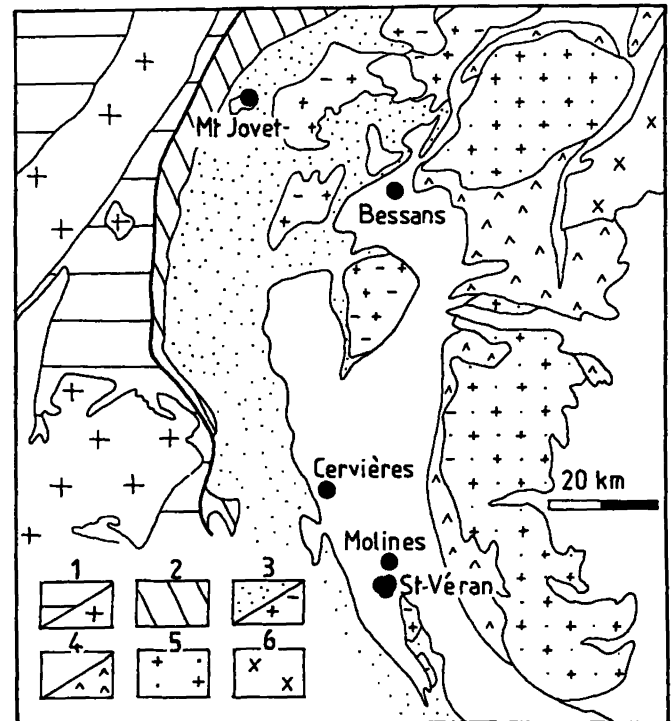


Fig. 1. Localisation des échantillons. Figurés : 1, couverture et socle des zones externes ; 2, zone subbriançonnaise ; 3, couverture (y compris la zone houillère) et socles de la zone briançonnaise ; 4, zones piémontaises : zone du Combin et zone de Zermatt (limite schématique) ; 5, socles penniques internes ; 6, zone Sesia.

méthode est dite surestimer, notamment, le Fe^{3+} de l'amphibole sodique et le Fe^{2+} de l'amphibole calcique, mais elle a l'avantage de ne prétendre qu'à une simple approximation, sans donner la fausse assurance des calculs compliqués dont on oublie qu'on ne connaît bien ni le sens ni l'importance de l'erreur et qui aboutissent à des résultats non comparables entre eux.

Les tableaux II à VI donnent des analyses représentatives, choisies parmi les 111 effectuées sur ces échantillons, qui figurent toutes sur les diagrammes.

METABASITE DE CERVIERES : UN CORTEGE D'AMPHIBOLES

Au-dessus du hameau des Chalps à Cervières dans le Queyras, à l'Est du lac des Cordes, une lentille ophiolitique comporte des prasinites-ovardites souvent à amphibole bleue, d'anciens coussins et brèches riches en amphibole bleue et lawsonite et quelques métagabbros.

L'échantillon étudié est hétérogranulaire et la structure est foliée autour de grandes reliques. L'association, en déséquilibre, comprend les minéraux suivants : amphibole brune, bleue, vert bleu et vert très pâle, chlorite, albite, ilménite, sphène, hématite et calcite (fig. 2). On peut décrire l'échantillon et l'interpréter en considérant d'une part les grandes amphiboles (environ 10 %, jusqu'à 5 mm) et d'autre part le fond folié à grain fin (jusqu'à environ 0,25 mm).

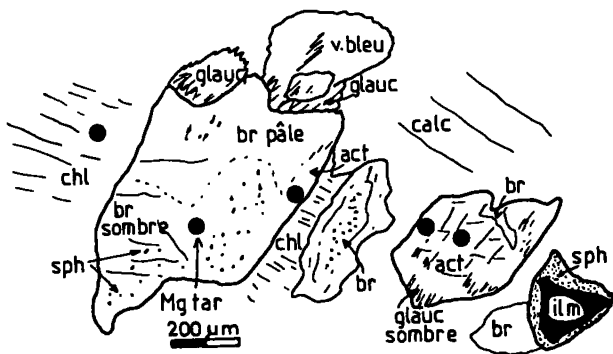


Fig. 2. Exemple des relations entre amphiboles dans le métagabbro de Cervières, lac des Cordes. Les ronds noirs situent les endroits analysés. Abréviations : act, actinote ; br, brune ; calc, calcite ; chl, chlorite ; glauc, glaucophane ; ilm, ilménite ; Mg tar, Mg-taramite ; sph, sphène ; v.bleu, vert bleu.

1) L'amphibole brune est d'un brun vif, plus pâle vers la bordure des grains et en taches irrégulièrement réparties. L'angle d'extinction ZAC est fort : $\geq 25^\circ$. Elle est localement riche en très fines inclusions de sphène, ce qui laisse supposer qu'elle dérive d'un minéral, tel un clinopyroxène, riche en titane. Si cette roche a bien été un gabbro, malgré l'absence de reste de structure magmatique, la paragenèse primaire a comporté clinopyroxène et plagioclase, tous deux maintenant disparus, en plus de l'ilménite qui subsiste à l'état de reliques entourées de sphène.

Ailleurs en Queyras les métagabbros ont souvent conservé des restes de clinopyroxène magmatique et, en dehors du Montgenèvre où il s'agit de magnésio-hornblende et de pargasite ferreuse (Mével et al., 1978), c'est à ma connaissance le seul gisement d'amphibole brune des méta-ophiolites des zones piémontaises.

Plutôt qu'à un processus tardi-magmatique cependant possible, il faut penser à un métamorphisme hydrothermal océanique : une hydratation sous température élevée, donnant une association du faciès amphibolite de haute température. On sait que les métamorphismes et déformations en milieu océanique, mentionnés pour la première fois au Montgenèvre par Vuagnat (in Steen et al., 1977-80), ont été depuis lors reconnus dans toute la zone piémontaise.

Cette amphibole brune est corrodée par d'autres amphiboles : elle est gainée par du glaucophane et par une amphibole vert bleu qui en général semble postérieure au glaucophane, mais qui se trouve souvent aussi en contact avec l'amphibole brune. L'amphibole bleue est bien développée à l'extrémité des prismes d'amphibole brune. Comme c'est le cas général, l'amphibole bleue est zonée, plus colorée au voisinage du minéral ferro-magnésien aux dépens duquel elle a commencé à croître, ici l'amphibole brune. L'amphibole bleue est à son tour partiellement remplacée par l'amphibole vert bleu ou par une amphibole presque incolore (trémolite-actinote).

2) Le fond folié, à grain fin (environ 0,025 mm) est fait d'amphibole peu colorée (trémolite-actinote ; à peu près 35 %) en aiguilles très minces formant un feutrage avec la chlorite, et d'albite aux contours peu nets. Des granules auto-blastiques de sphène soulignent la foliation.

Les anciens sites plagioclasiques, dans le cas d'une paragenèse magmatique de gabbro, devraient se marquer par l'association d'albite et

n° analyse	amphibole Ca						amphibole Na			chlorite	
	2-b-90	1-a-79	1-a-80	1-b-85	2-b-91	2-a-92	1-81	1-82	1-83	1-86	1-87
SiO ₂	55,16	46,93	49,23	57,13	56,42	57,33	57,10	58,59	58,34	29,45	29,04
Al ₂ O ₃	0,34	7,90	6,56	2,62	0,81	0,26	7,54	11,31	10,89	19,09	18,51
TiO ₂	0,04	2,48	2,18	0,16	0,03	0,05	0	0,02	0,40	0	0
Cr ₂ O ₃	0	0,24	0	0	0	0	0,09	0	0	0	0
FeO*	9,36	10,29	9,49	8,61	9,60	4,89	12,97	8,54	8,68	14,21	14,66
MgO	17,61	16,24	17,42	16,96	17,70	22,07	11,48	11,14	10,86	24,96	24,79
MnO	0,35	0,22	0,31	0,24	0,16	0,29	0,11	0,20	0,22	0,42	0,21
NiO	0,04	0	0,02	0	0,13	0	0,03	0	0	0,01	0
CaO	12,51	9,20	9,02	10,07	12,70	12,56	1,99	0,74	0,54	0	0,03
Na ₂ O	0,23	3,51	3,49	1,81	0,32	0,21	5,66	7,18	7,21	0	0
K ₂ O	0	0,05	0,09	0	0	0,01	0,01	0	0	0,04	0
total	95,64	97,07	97,81	97,60	97,97	97,67	96,98	97,72	97,14	88,18	87,24
Si	7,980	6,827	7,051	7,996	7,968	7,940	7,948	7,922	7,941	5,804	5,801
Al _{IV}	0,020	1,173	0,949	0,004	0,032	0,042	0,052	0,078	0,059	2,196	2,199
Al _{VI}	0,038	0,181	0,158	0,428	0,103	0	1,185	1,724	1,687	2,237	2,157
Ti	0,004	0,271	0,235	0,017	0,003	0,005	0	0,002	0,041	0	0
Cr	0	0,028	0	0	0	0	0,010	0	0	0	0
Fe ^{III}							0,679	0,434	0,444		
Fe ^{II}	1,132	1,251	1,136	1,007	1,133	0,566	0,755	0,483	0,494	2,341	2,448
Mg	3,795	3,519	3,716	3,536	3,724	4,553	2,380	2,244	2,202	7,327	7,376
Mn	0,043	0,027	0,038	0,028	0,019	0,034	0,013	0,023	0,025	0,067	0,034
Ni	0,005	0	0,002	0	0,015	0	0,004	0	0	0,002	0
Ca	1,938	1,433	1,384	1,509	1,921	1,863	0,297	0,107	0,079	0	0,006
Na	0,064	0,989	0,968	0,491	0,088	0,056	1,527	1,881	1,901	0	0
K	0	0,009	0,016	0	0	0,002	0,002	0	0	0,010	0
total	15,039	16,883	16,603	15,021	15,005	15,062	14,848	14,900	14,915	19,983	20,021
Mg/Mg+Fe ^{II}	0,76	0,73	0,76	0,77	0,76	0,88	0,75	0,82	0,81		
Al _{VI} /Al _{VI} +Fe ^{III}							0,63	0,80	0,78		
Fe ^{II} /Fe ^{II} +Mg										0,24	0,25

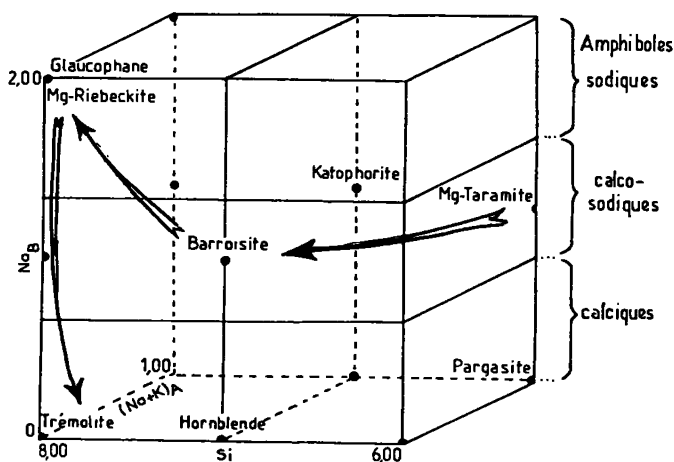


Tableau II. Analyses représentatives des minéraux d'une metabasite (métagabbro) du lac des Cordes à Cervières (échantillon n° 86JD77).

Fig. 3. Evolution de la composition des amphiboles du métagabbro de Cervières, montrée dans le cube de Leake (1978). Cette représentation, où n'intervient pas le fer, concerne les amphiboles pour lesquelles $[Ca+Na]_B \geq 1,34$ et ne s'applique pas aux amphiboles ferromagnésiennes.

d'un alumino-silicate de calcium : clinozoïsite ou, plutôt, lawsonite, laquelle est abondante dans les autres échantillons de métagabbro et dans les metabasites de la même lentille ophiolitique. Or on trouve ici de l'albite et de la chlorite mêlée de trémolite-actinote. On peut penser qu'on se trouve dans le cas d'une transformation de plagioclase en chlorite avec lessivage du calcium, comme il en a été décrit en milieu océanique notamment. Une foliation a pu être produite déjà alors.

L'amphibole brune (tableau II) a une teneur élevée en TiO_2 (jusqu'à 4,27 %) et contient du K_2O (jusqu'à 0,36 %). Dans la classification de Leake (1978) la composition de sa portion la plus colorée correspond à celle d'une amphibole calcosodique titanifère qui, à cause de sa richesse en Al et en alcalins, porte le nom de magnésio-taramite. Elle est proche de la kaersutite, dont la sépare sa richesse en alcalins. D'autres analyses de l'amphibole brune, cependant, donnent des compositions de barroisite. La fig. 3 montre que le passage entre la magnésio-taramite et la barroisite n'a demandé le transport ni de Na ni de Fe^{2+} , mais bien d'un peu de Ca, Mg et Al, et surtout le départ de K et de la moitié du Ti et un apport en Si.

Il faut noter que la magnésio-taramite, comme les autres amphiboles du groupe de la katophorite, ne sont en général connues que dans les roches magmatiques alcalines et qu'une telle composition, si une analyse chimique doit la confirmer, est loin de celles des cumulats tholéitiques que l'on connaît dans les zones piémontaises.

Les diagrammes des fig. 3, 4 et 5 (voir aussi fig. 7) illustrent les différentes compositions des amphiboles coexistant dans cet échantillon. L'amphibole vert bleu est une actinote, plus riche en Na_B et en Al^{VI} que les actinotes peu colorées.

Notons qu'un autre échantillon du même affleurement, de structure semblable, contient non de l'amphibole brune, mais de grands grains de pyroxène sodique aegyrinique, corrodés par le glaucophane, et une lawsonite abondante. Cette différence dans la paragenèse provient peut-être d'une différence dans la transformation métamorphique océanique.

La chlorite associée à l'actinote est (tableau II ; fig. 6) relativement magnésienne, comme c'est très souvent le cas des metabasites : sa composition se trouve à la limite entre clinocllore et pycnochlorite.

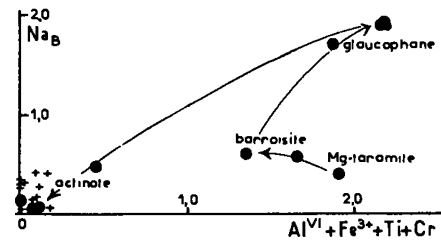


Fig. 4. Composition des amphiboles calciques et sodiques du métagabbro de Cervières (ronds noirs) et du skarn de Bessans (croix) : variation de Na_B en fonction de R''' .

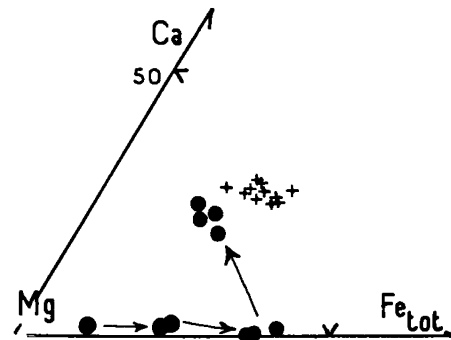


Fig. 5. Composition des amphiboles calciques et sodiques du métagabbro de Cervières (ronds noirs) et du skarn de Bessans (croix) : teneurs en Ca, Mg et Fe_{tot} .

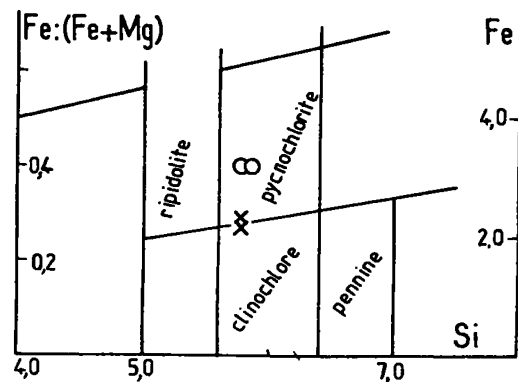


Fig. 6. Diagramme des chlorites du métagabbro de Cervières (X) et du marbre de Molines (O).

n° analyse	866 : amphibole Na			lawsonite		1168 : amphibole Na			pyroxène Na		phengite / muscovite		
	44-1	47-1	50-2	46	49	53-1	63-1-c	65-3-a	54-a	62	61	68	60
SiO ₂	57,79	57,38	58,15	38,25	38,98	60,01	59,27	59,30	58,43	58,72	53,76	54,16	48,18
Al ₂ O ₃	11,20	9,05	11,07	32,57	32,07	12,14	7,21	10,73	16,73	17,65	26,76	24,55	35,20
TiO ₂	0,34	0,13	0,40	0	0	0	0	0,14	0,01	0	0	0,08	0
Cr ₂ O ₃	0,02	0	0	0	0	0	0	0,02	0	0,01	0	0	0
FeO*	8,62	10,02	8,20	0,05	0,10	5,79	9,31	7,34	7,38	4,47	1,76	1,55	1,16
MgO	9,06	9,52	9,50	0	0,03	11,74	13,06	11,82	2,43	2,96	4,37	5,52	0,99
MnO	0,08	0,15	0,10	0,04	0	0,06	0,12	0,16	0,13	0,08	0	0	0
NiO	0,01	0	0,01	0	0,01	0,04	0,05	0	0	0	0,06	0,09	0
CaO	0,25	0,51	0,37	16,94	17,07	0,01	1,50	0,25	3,75	4,34	0	0	0
Na ₂ O	7,90	7,51	7,57	0,01	0	7,94	6,68	7,72	12,64	12,85	0,07	0,04	0,21
K ₂ O	1,98	0,06	0	0,01	0	0	0	0,01	0,01	0	11,07	11,37	10,88
total	97,25	94,33	95,37	87,87	88,26	97,73	97,20	97,49	101,51	101,08	97,85	97,36	96,62
Si	7,952	8,098	8,033	2,009	2,037	8,003	8,107	7,999	1,997	2,005	6,958	7,062	6,303
Al _{IV}	0,048	0	0	0	0	0	0	0,001	0,003	0	1,042	0,938	1,697
Al _{VI}	1,768	1,505	1,802	2,016	1,975	1,908	1,162	1,705	0,671	0,710	3,040	2,835	3,730
Ti	0,035	0,014	0,042	0	0	0	0	0,014	0	0	0	0,008	0
Cr	0,002	0	0	0	0	0	0	0,002	0	0	0	0	0
Fe ^{III}	0,446	0,532	0,426	0,002	0,004	0,290	0,479	0,372	0,970	0,587			
Fe ^{II}	0,496	0,591	0,473			0,323	0,532	0,414			0,190	0,169	0,127
Mg	1,857	2,001	1,955	0	0,002	2,332	2,661	2,375	0,124	0,151	0,843	1,072	0,193
Mn	0,009	0,018	0,012	0,002	0	0,007	0,014	0,018	0,004	0,002	0	0	0
Ni	0,001	0,000	0,001	0	0	0,005	0,006	0	0	0	0,006	0,009	0
Ca	0,037	0,077	0,055	0,953	0,955	0,001	0,220	0,036	0,137	0,159	0	0	0
Na	2,106	2,054	2,026	0,001	0	2,052	1,770	2,018	0,837	0,850	0,018	0,010	0,053
K	0,347	0,011	0	0,001	0	0	0	0,014	0	0	1,827	1,891	1,815
total	15,106	14,901	14,824	4,983	4,973	14,920	14,952	14,969	4,743	4,464	13,923	13,994	13,918
Mg/Mg+Fe ^{II}	0,79	0,77	0,80			0,87	0,83	0,85					
Al _{VI} /Al _{VI} +Fe ^{III}	0,78	0,73	0,79			0,87	0,71	0,81					
jd %									35	46			
aeg %									50	38			
di %									14	16			
Na/Na+K											0,01	0,01	0,02

Tableau III. Analyses représentatives des minéraux de deux metabasites de St-Véran/Ceillac (échantillons n° 866 et 1168).

METABASITES DE ST-VERAN/ CEILLAC : VARIETE DU CLINO- PYROXENE SODIQUE ET DE L'AMPHIBOLE SODIQUE

La lentille ophiolitique affleurant entre le haut vallon des Prés Bergers, le Pic Marcel et le haut rif de l'Ubert comporte (Bocquet [Desmons], 1974b ; Caby et al., 1971 ; Saby et al., 1988) : serpentinite à antigorite et lizardite, rodingite transformée en pumpellyite à clinopyroxène magmatique conservé, métagabbro, diverses metabasites dérivant de pillows, d'hyaloclastites et de brèches, et "brèche" (ou mieux : un conglomérat) à éléments acides et basiques dont la composition chimique est voisine de roches ophiolitiques (Desmons et Ploquin, 1989 ; Caby, 1990). Certaines metabasites sont particulièrement riches en amphibole bleue (de 65 à 85 % environ), finement associée à du mica blanc et à de l'actinote, dont la séparation en vue d'une analyse par voie humide n'avait pas pu être menée à bien.

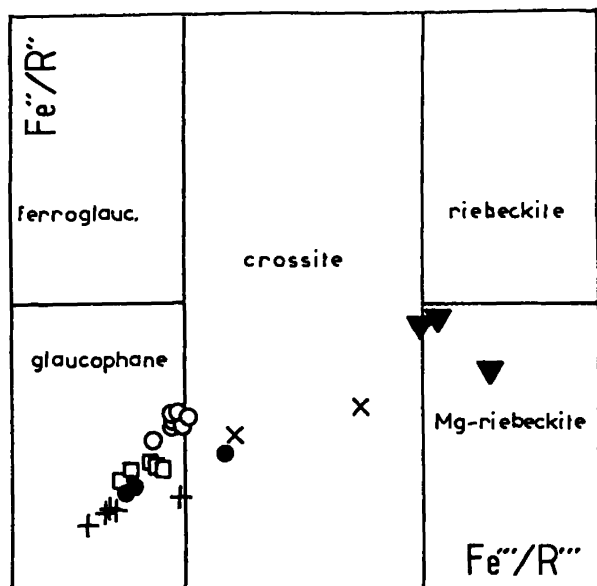


Fig. 7. Diagramme des amphiboles sodiques du métagabbro de Cervières (ronds noirs), des metabasites de St-Véran/Ceillac (carrés, croix et X), du marbre de Molines (cercle) et du marbre du Mont Jovet (triangle noir). Le non-alignement des points laisse penser que, dans les crossites et magnésio-riebeckites, le Fe^{3+} a été, non surestimé, mais sous-estimé.

Trois échantillons ont été soumis à la microsonde (tableaux III et IV) : une metabasite riche en glaucophane et à lawsonite ; un élément basique de la brèche, contenant un pyroxène sodique relique auquel ont succédé glaucophane, mica blanc et sphène, eux-mêmes suivis de chlorite, albite, quartz et calcite ; et une brèche de coussin à glaucophane, lawsonite, mica blanc, aegyrine, sphène, albite, chlorite et oxydes. L'amphibole bleue, en aiguilles très minces, y est (fig. 7) un glaucophane s. str. (grains pour lesquels ZAC) passant à la crossite (YAC). Ces compositions rejoignent celles obtenues précédemment dans les ophiolites alpines (Bocquet [Desmons], 1974a et b, 1977).

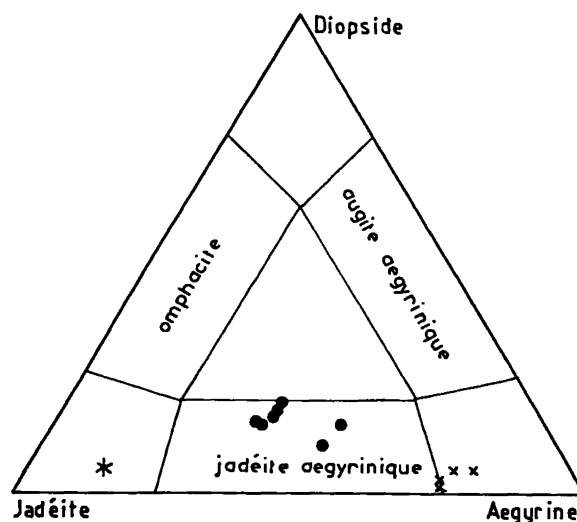


Fig. 8. Diagramme des pyroxènes sodiques : jadéite aegyrinique d'une metabasite (ronds noirs) et d'une brèche de coussin (X) de St-Véran. L'astérisque représente la jadéite de la brèche (analyse de Saliot, 1979).

Le clinopyroxène sodique de la brèche de coussin est une aegyrine (fig. 8) tandis que celui de la metabasite dont l'association minérale montre un déséquilibre (élément basique du conglomérat) a une composition intermédiaire entre la jadéite et l'aegyrine. Le conglomérat à éléments acides contient d'abondants cristaux centimétriques de jadéite, souvent remplaçant des feldspaths.

La composition de la lawsonite, minéral dont la composition n'admet guère de variation, ne montre rien de particulier.

1280 : amphibole Na		pyroxène Na		phengite		86JD92 : amphibole Na				phengite	chlorite		carbonate
n° analyse	78-2	69	71	73	74	79-1	81-1	82-1-c	85-1-b	88	84	86	90
SiO ₂	57,55	56,94	56,90	53,83	54,00	58,61	57,84	58,11	58,47	54,86	27,62	28,01	0
Al ₂ O ₃	3,61	11,02	13,82	25,32	25,15	10,55	10,67	10,86	10,76	24,44	18,77	19,28	0,01
TiO ₂	0,21	0,34	0,31	0,07	0	0,08	0,06	0,06	0,06	0	0,05	0	0,02
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0,04	0,10	0	0,06	0	0	0,10	0	0,04	0
FeO*	17,17	15,43	12,76	2,66	2,53	12,94	13,38	12,87	12,87	2,51	20,92	21,62	0,17
MgO	9,90	0,89	0,49	4,68	4,77	8,93	8,31	8,48	7,72	4,62	17,70	17,90	0
MnO	0,13	0,12	0	0	0	0	0,07	0	0,15	0,02	0,20	0,24	0,02
NiO	0	0,05	0	0	0	0,13	0	0	0,02	0	0,07	0	0,04
CaO	1,07	1,34	1,04	0	0,01	0,21	0,17	0,09	0,12	0	0,03	0,05	58,96
Na ₂ O	7,44	14,52	14,90	0,13	0,07	7,71	7,69	7,82	7,55	0,07	0,03	0	0
K ₂ O	0,06	0	0,01	11,11	10,79	0	0	0,05	0,02	10,72	0,01	0	0,03
total	97,14	100,65	100,23	97,84	97,42	99,16	98,26	98,34	97,74	97,34	85,40	87,14	59,25
Si	8,175	2,010	1,999	7,009	7,040	7,939	7,923	7,933	8,014	7,144	5,828	5,804	0
Al _{IV}	0	0	0,001	0,991	0,960	0,061	0,077	0,067	0	0,856	2,172	2,196	
Al _{VI}	0,604	0,458	0,572	2,893	2,904	1,623	1,645	1,680	1,738	2,895	2,495	2,511	0
Ti	0,022	0,009	0,008	0,007	0	0	0,006	0,006	0,006	0	0,008	0	0
Cr	0	0	0	0,004	0,010	0	0,006	0	0	0,010	0	0,007	0
Fe ^{III}	0,917	2,096	1,725			0,659	0,689	0,661	0,663				
Fe ^{II}	1,020			0,290	0,276	0,733	0,766	0,734	0,737	0,273	3,691	3,745	0,004
Mg	2,095	0,047	0,026	0,908	0,926	1,802	1,696	1,724	1,576	0,896	5,563	5,525	0
Mn	0,016	0,004	0	0	0	0	0,008	0	0,017	0,002	0,034	0,040	0,001
Ni	0	0,001	0	0	0	0,015	0	0	0,002	0	0,013	0	0,001
Ca	0,163	0,051	0,039	0	0,001	0,030	0,025	0,013	0,018	0	0,007	0,011	1,991
Na	2,048	0,993	1,014	0,033	0,018	2,024	2,041	2,068	2,005	0,018	0,012	0	0
K	0,011	0	0	1,845	1,794	0	0	0,007	0,003	1,780	0,003	0	0,001
total	15,071	5,669	5,384	13,979	13,929	14,886	14,883	14,896	14,781	13,874	19,825	19,839	1,999
Mg/Mg+Fe ^{II}	0,67					0,71	0,71	0,69	0,70				
Al _{VI} /Al _{VI} +Fe ^{III}	0,39					0,71	0,73	0,70	0,72				
jd %		14,1	24,0										
aeg %		78,1	72,3										
di %		4,9	3,7										
Na/Na+K				0,12	0,01					0,01			
Fe ^{II} /Fe ^{II} +Mg											0,40	0,40	
Ca %													100
Mg %													0
Fe %													0
Mn %													0

Tableau IV. Analyses représentatives des minéraux d'une brèche de coussin de St-Véran/Ceillac (échantillon n° 1280) et d'un marbre à amphibole bleue de Moline, vallon du Longet (échantillon n° 86JD92).

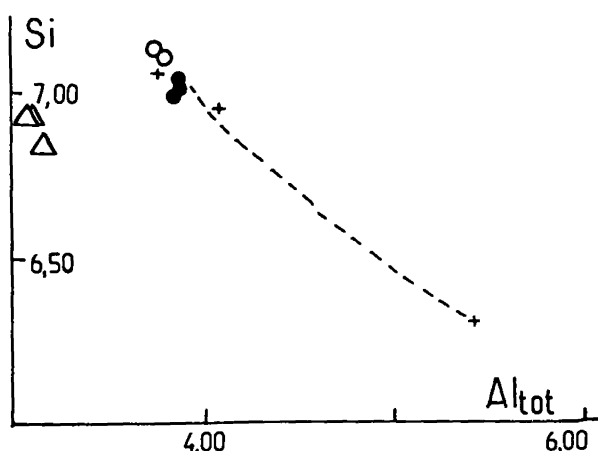


Fig. 9. Composition chimique des micas blancs d'une metabasite (croix) et d'une brèche de coussin de St-Véran (ronds noirs), du marbre de Molines (cercles) et du marbre du Mont Jovet (triangle); variation de Si en fonction d' Al_{tot} . En raison du remplacement d'une partie de l'Al par du Cr, les mariposites du Mont Jovet se reportent à distance de la ligne de corrélation entre les teneurs en Si et Al_{tot} (dessinée à partir de données personnelles inédites sur le mica blanc des zones penniques).

Le mica blanc associé est (fig. 9 et 10) une phengite $Si_{3,5}$ dont la teneur en paragonite est faible ($Na/Na+K = 0,5$ à $2,8$). Seule une analyse correspond à une muscovite. La présence de ce minéral doit être rapprochée de celle d'apatite et de zircon dans cette roche qui constitue un fragment clastique.

MARBRE A AMPHIBOLE SODIQUE DE MOLINES-EN-QUEYRAS : PERSISTANCE DU GLAUCOPHANE

Si l'amphibole sodique des metabasites ophiolitiques alpines est en général un glaucophane vrai, parfois une crossite, elle est en général plus ferrifère dans les roches métasédimentaires associées, atteignant la magnésio-riebeckite ou même, dans les gisements métallifères, la riebeckite (Bocquet [Desmons], 1974a). Un marbre voisin de la lentille de métagabbro et metabasite à lawsonite du vallon du Longet à Molines contient des cristaux, pouvant dépasser le centimètre, d'une amphibole bleue

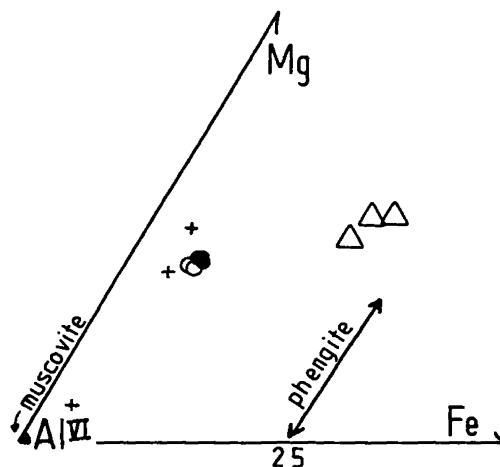


Fig. 10. Composition chimique des micas blancs d'une metabasite (croix) et d'une brèche de coussin (ronds noirs) de St-Véran, du marbre de Molines (cercles) et du marbre du Mont Jovet (triangle) : proportions de Mg, Al^{VI} et Fe.

bien colorée (environ 15 %), à peine gainée de chlorite. Chimiquement (tableau IV ; fig. 7) cette amphibole se situe à la limite entre glaucophane et crossite et à la légère zonation visible au microscope (fig. 11) correspond une légère variation de sa composition. Dans un autre échantillon du même affleurement (n° 840 de Bocquet [Desmons], 1974b), l'amphibole montre aux extrémités des grains un deuxième stade de croissance à zonation récurrente. Une analyse par voie humide effectuée sur cet autre échantillon avait donné une teneur plus élevée en fer qui, dosé en majeure partie comme Fe^{2+} , avait conduit à une composition de ferroglaucophane, mais qui considéré comme à moitié ferrique mènerait à une composition de crossite.

On peut s'étonner qu'un glaucophane ait persisté en milieu carbonaté au travers des transformations oligo-miocènes qui ont eu lieu en présence de fluides riches en CO_2 (comme on peut le déduire de la disparition tardive des silicates calciques tels que la lawsonite au profit de la calcite). Cette conservation de minéraux (lawsonite, glaucophane) à proximité immédiate des lentilles ophiolitiques, et seulement là, a déjà été notée précédemment (Bocquet [Desmons], 1974b) et peut s'interpréter comme due à une dépression locale de l'activité du CO_2 dans ces métaophiolites. C'est sans doute là que se trouve l'explication de la différence de faciès

n° analyse	grenat					amphibole Ca			clinopyroxène			carbonate	
	113-(1)a	115-(1)a	119-(1)	125-(1)	127-(2)	120-(1)a	121-(1)a	126-(2)	118-(1)	122-(1)	24-a	39	
SiO ₂	35,81	36,96	36,57	36,39	36,14	54,20	54,81	54,46	53,97	54,03	53,96	0	
Al ₂ O ₃	0,06	0,49	1,74	1,13	0,56	1,05	0,39	0,76	0,10	0,03	0,10	0	
TiO ₂	0	0,01	0	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0,06	
Cr ₂ O ₃	0	0,04	0	0,01	0	0,01	0	0	0	0	0	0	
FeO*	28,38	26,77	25,68	25,60	28,44	15,13	12,78	15,22	10,65	10,66	9,04	0,81	
MgO	0	0	0	0,09	0	13,09	14,86	13,44	11,54	11,31	11,69	0,47	
MnO	1,23	0,53	8,65	4,04	2,57	1,43	1,13	1,36	0,87	0,62	0,35	2,20	
NiO	0,06	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06	
CaO	30,65	32,84	25,12	29,92	28,59	10,22	11,70	10,54	22,47	22,32	22,77	51,90	
Na ₂ O	0	0	0	0	0	1,02	0,34	1,36	0,70	0,79	0,82	0,01	
K ₂ O	0	0,04	0	0	0	0	0	0,02	0	0,01	0,01	0	
total	96,19	97,72	97,76	97,22	96,30	96,15	96,01	97,16	100,30	99,77	98,74	55,51	
Si	6,643	6,673	6,654	6,624	6,680	7,963	8,015	7,923	2,019	2,028	2,042	0	
Al _{IV}	0	0	0	0	0	0,037	0	0,077	0	0	0	0	
Al _{VI}	0,013	0,104	0,373	0,242	0,122	0,145	0,067	0,053	0,004	0,001	0,004	0	
Ti	0	0,001	0	0,005	0	0	0	0	0	0	0	0,002	
Cr	0	0,006	0	0,001	0	0,001	0	0	0	0	0	0	
Fe ^{III}	4,355	3,998	3,865	3,855	4,348								
Fe ^{II}						1,858	1,562	1,849	0,333	0,335	0,286	0,023	
Mg	0	0	0	0,024	0	2,865	3,237	2,913	0,643	0,632	0,659	0,024	
Mn	0,193	0,081	1,333	0,623	0,402	0,178	0,140	0,168	0,028	0,020	0,011	0,063	
Ni	0,009	0,006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,002	
Ca	6,090	6,350	4,895	5,833	5,660	1,608	1,832	1,642	0,900	0,897	0,923	1,884	
Na	0	0	0	0	0	0,290	0,096	0,383	0,051	0,057	0,060	0,001	
K	0	0,009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
total	17,303	17,228	17,119	17,208	17,212	14,945	14,951	15,008	3,979	3,971	3,986	1,997	
spessartine %	3	1	21	10	7								
pyrope %	0	0	0	0	0								
gross.+ouv.%	0	3	7	5	3								
andradite %	97	96	72	85	91								
Mg/Mg+Fe ^{II}						0,59	0,65	0,59					
Ca %									48	48	49	95	
Mg %									34	34	35	3	
Fe+Mn %									18	18	16		
Fe %												1	
Mn %												1	

Tableau V. Analyses représentatives des minéraux d'un skarn de Bessans-Villaron (échantillon n° 1059).

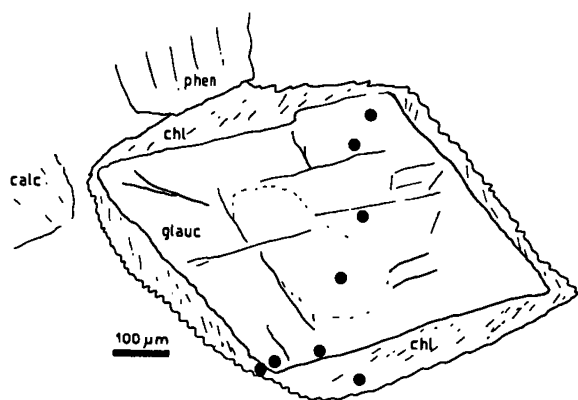


Fig. 11. Amphibole bleue du marbre de Molines-en-Queyras. Le tireté délimite un noyau légèrement plus pâle que les bordures. Les ronds noirs situent les endroits analysés. Abréviations : calc, calcite ; chl, chlorite ; glauc, glaucophane ; phen, phengite.

métamorphique dominant entre les méta-ophiolites, qui ont gardé beaucoup de leur paragenèse à glaucophane-lawsonite \pm pyroxène sodique et les schistes encaissants où l'association métamorphique méso-alpine à chlorite-albite \pm lawsonite est prépondérante.

Le mica blanc de cette roche, concentré en lits, est (tableau IV ; fig. 9 et 10) très riche en molécule de céladonite ($\text{Si}_{3,6}$). La chlorite qui succède au glaucophane est une pycnochlorite (tableau IV ; fig. 6). Le carbonate est une calcite pure (tableau IV).

ROCHE A GRENAT, PYROXENE CALCIQUE ET AMPHIBOLE CALCIQUE, BESSANS : UN SKARN

A Bessans, en haute Maurienne, au-dessus du hameau du Villaron, au contact entre la lentille ophiolitique à prasinite du Molard et les calcschistes (à la limite SW de l'unité des Roches, l'une des unités océaniques médianes [Deville, 1987]), s'est développée une minéralisation à magnétite et sulfures qui fut l'objet de grattages. Une coupe en a été publiée par Bocquet [Desmons] (1974b). Il s'y trouve notamment, à côté d'amphibolite et de marbre à amphibole, un skarn de grain moyen à grossier (jusqu'à environ

2,5 mm), consistant en grenat andradite (environ 60 %), pyroxène (≤ 10 %) et amphibole calciques (environ 25 %), calcite, quartz et sulfures, dont l'aspect bicolore rouge et vert a fait croire à plusieurs à une nature éclogitique.

Le grenat est optiquement zoné (fig. 12) : sa couleur jaune rosé est plus sombre vers la bordure des grains et dans des taches irrégulières peut-être liées à des microfractures. La molécule d'andradite (tableau V ; fig. 12 et 13) est largement prépondérante. Cette composition correspond bien à la réfringence ($n = 1,900 \pm 0,100$) et à la maille ($a_0 = 12,033 \text{ \AA}$) déterminées par Bocquet [Desmons] (1974b). La tendance générale est d'une augmentation parallèle des teneurs en spessartine et en grossulaire (fig. 13). Par ailleurs, des enrichissements locaux en Mn, contrebalancés par des appauvrissements en Ca, ne correspondent pas de manière évidente à la zonation visible en lame mince. Cette dernière variation peut avoir été produite par un processus de résorption et de diffusion, processus décrit dans des grenats des socles Briançonnais par de Béthune et al. (1975).

L'amphibole, d'une couleur vert bleu au microscope, plus colorée en bordure, est une actinote (tableau V ; fig. 4 et 5). La bordure des grains est un peu plus riche en Fe et en Na et plus pauvre en Mg et Mn que la bordure.

Le pyroxène, vert pâle, à fin clivage diallage, a une composition très constante de salite (tableau V ; fig. 14).

Le carbonate est une calcite légèrement manganésifère, à très faible teneur en Mg et Fe (tableau V).

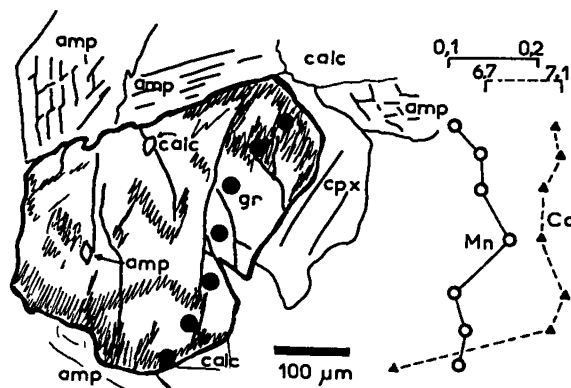


Fig. 12. Aspect du skarn de Bessans. Les ronds noirs situent les endroits analysés. Abréviations : amp, amphibole ; calc, calcite ; cpx, clinopyroxène ; gr, grenat.

n° analyse	amphibole Na		pyroxène Ca		mariposite			chromite		carbonate
	10-3	11-3	18	19	16-a	17-a	20	13	14	15
SiO ₂	54,13	54,27	52,93	54,52	49,56	49,81	49,53	0	0,03	0,77
Al ₂ O ₃	1,69	2,25	5,28	3,53	18,74	19,64	17,18	37,15	39,28	0,22
TiO ₂	0	0	0,24	0,13	0,03	0,11	0,06	0,15	0,11	0
Cr ₂ O ₃	0,46	0,11	0,80	1,31	3,27	5,56	5,67	30,28	30,07	0,22
FeO*	22,94	22,76	2,21	2,31	7,50	6,79	7,66	16,14	15,19	6,81
MgO	6,81	7,01	15,44	16,29	5,29	4,57	4,92	14,72	14,56	0,31
MnO	0,01	0,17	0,03	0,12	0	0,10	0	0,07	0,18	0
NiO	0,08	0,01	0,17	0	0,09	0,19	0,21	0,16	0,11	0,10
CaO	1,61	0,56	22,63	21,70	0,29	0,06	0,06	0	0	51,49
Na ₂ O	6,78	7,07	0,94	1,08	0	0	0	0,03	0	0
K ₂ O	0,10	0,07	0	0	10,44	9,74	10,26	0	0,04	0,22
total	94,61	94,28	100,67	100,99	95,21	96,57	95,55	98,70	99,57	60,14
Si	8,139	8,153	1,904	1,952	6,929	6,845	6,952	0	0,007	0,024
Al _v	0	0	0,096	0,048	1,071	1,155	1,048			
Al _{vi}	0,299	0,398	0,128	0,101	2,016	2,026	1,793	9,727	10,136	0,008
Ti	0	0	0,006	0,003	0,003	0,011	0,006	0,025	0,018	0
Cr	0,055	0,013	0,023	0,037	0,361	0,604	0,629	5,317	5,203	0,005
Fe ⁱⁱⁱ	1,297	1,286						2,957	2,743	
Fe ⁱⁱ	1,442	1,429	0,066	0,069	0,877	0,780	0,899			0,179
Mg	1,525	1,569	0,827	0,869	1,102	0,936	1,029	4,872	4,750	0,014
Mn	0,001	0,022	0,001	0,004	0	0,012	0	0,013	0,002	0
Ni	0,010	0,001	0,005	0	0,010	0,021	0,024	0,029	0,019	0,003
Ca	0,259	0,090	0,872	0,832	0,043	0,009	0,009	0	0	1,729
Na	1,975	2,058	0,066	0,075	0	0	0	0,013	0	0
K	0,019	0,013	0	0	1,861	1,707	1,836	0	0,011	0,009
total	15,022	15,033	3,994	3,989	14,274	14,105	14,225	22,953	22,889	1,971
Mg+Mg+Fe ⁱⁱ	0,51	0,52								
Al _{vi} /Al _{vi} +Fe ⁱⁱⁱ	0,18	0,23								
Ca %			49	47						90
Mg %			47	49						1
Fe+Mn %			4	4						
Fe %										9
Mn %										0
Mgchr %								55	55	
Mgferr %								30	29	
Spinelle %								15	16	

Tableau VI. Analyses représentatives des minéraux d'un marbre à silicates du Mont Jovet (échantillon n° 104).

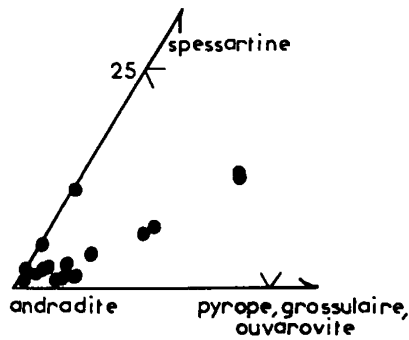


Fig. 13. Composition chimique du grenat du skarn de Bessans.

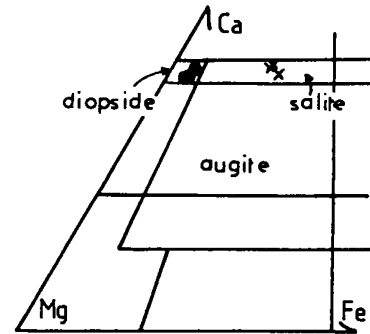


Fig. 14. Diagramme des pyroxènes Ca : skarn de Bessans (X) et marbre du Mont Jovet (ronds noirs).

MARBRE A SILICATES, MONT JOVET : OPICALCITES, DETRITISME OPHIOLITIQUE ET MINERAUX CHROMIFERES

Sur le versant N du Mont Jovet, des opicalcites et marbres affleurent au contact immédiat de serpentinites à antigorite, dont elles incluent localement des fragments. Un marbre versicolore, de grain moyen ($\approx 1,2$ mm) renferme : amphibole sodique (environ 10 %), clinopyroxène calcique (≤ 2 %), mica verdâtre, très fine aegyrine et chromite (et non pas de la picotite, comme écrit erronément par Bocquet [Desmons], 1984b, p. 316).

Le clinopyroxène calcique est un diopside (tableau VI; fig. 14). Le spinelle est une chromite relativement riche en Al ($Cr/Cr+Al = 0,35$; tableau VI), comme il convient pour une chromite provenant de lherzolite (Roberts, 1988). Diopside et chromite ne dépassent pas une taille de 0,05 mm. Ils sont antérieurs aux minéraux des métamorphismes alpins : l'amphibole sodique, zonée (magnésio-riebeckite à la limite de la riebeckite : tableau VI; fig. 7) a cristallisé aux dépens du diopside et le mica (phengite chromifère, c'est-à-dire mariposite : tableau VI; fig. 9 et 10) aux dépens de la chromite (fig. 15).

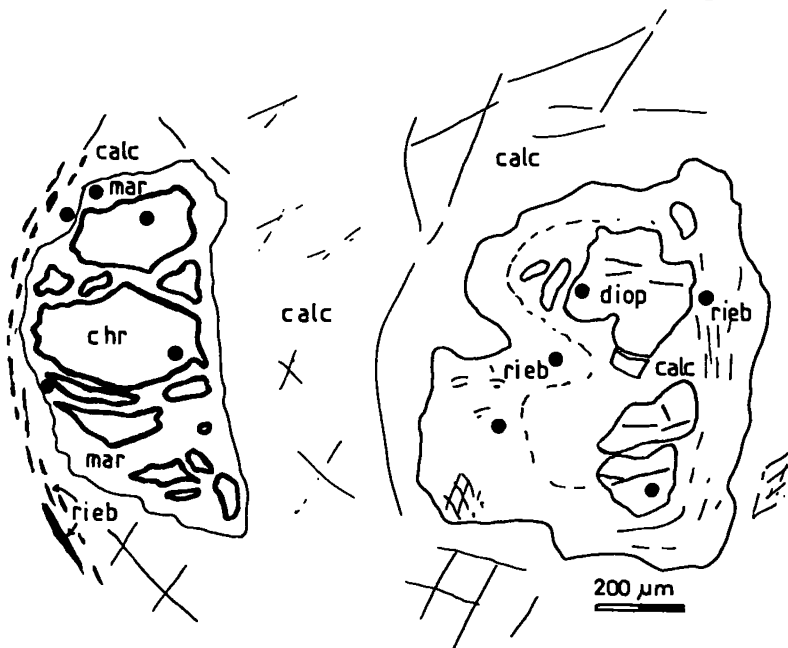


Fig. 15. Remplacement de la chromite par la mariposite et du diopside par la Mg-riebeckite dans le marbre à silicates du Mont Jovet. Les ronds noirs situent les endroits analysés. Abréviations : calc, calcite ; chr, chromite ; diop, diopside ; mar, mariposite ; rieb, riebeckite.

Le Cr de la mariposite se trouve en position surtout octaédrique, à la place de l'Al hexacoordonné (fig. 9 et 10). Les minéraux chromifères (le Cr étant dû à la décomposition de chromite), plusieurs fois notés dans la zone piémontaise, ont été étudiés dans le Queyras, dans le massif de Roche Noire, par Mével et Kienast (1980).

Le carbonate est une calcite à 9 % de sidérose, non magnésienne (tableau VI).

La faiblesse des métamorphismes alpins dans cette région relativement externe des Alpes penniques a permis la conservation partielle du diopside et de la chromite issus des roches ultramafiques. Cette roche résulte, si l'on en croit l'interprétation faite par Cortesogno et al. (1980, 1981) pour des roches similaires de l'Apennin et du groupe de Voltri en Ligurie septentrionale, non d'un simple détritisme ophiolitique, mais de la précipitation chimique de carbonate, effectuée en milieu océanique, dans des brèches d'ultramafites déjà serpentinisées par action hydrothermale.

CONCLUSION : PLACE DE CES MINÉRAUX DANS L'ÉVOLUTION MÉTAMORPHIQUE

De la cristallisation en chambre magmatique ou dans le manteau témoigne l'ilménite du métagabbro du lac des Cordes, ainsi que le diopside et la chromite du marbre du Mont Jovet dont les silicates dérivent de la bréchification de roches ultramafiques.

L'amphibole brune du Lac des Cordes à Cervières est-elle d'origine tardi-magmatique ? Une transformation hydrothermale sous température élevée, en milieu océanique, semble plus vraisemblable, en raison des nombreux indices de métamorphisme et déformations océaniques dans les ophiolites des différentes sous-unités du Combin, de la présence d'une amphibole brune au Montgenèvre (quoiqu'elle soit de composition différente) où un métamorphisme océanique de faciès amphibolite a été décrit. D'une composition de magnésio-taramite, cette amphibole a évolué vers celle de barroisite avant de se transformer en glaucophane et en actinote.

L'amphibole sodique - glaucophane à magnésio-riebeckite -, le pyroxène sodique-jadéitique ou aegyrienne comme à Ceillac/St-Véran - et la lawsonite appartiennent aux premières paragenèses alpines connues dans la

zone du Combin : la phase éo-alpine tardive, du Sénonien (définie par Desmons, 1989, par opposition à l'Eo-Alpin précoce, du Crétacé inférieur à moyen, auquel le faciès éclogitique de la zone Zermatt est attribué - quoique sans datation radiométrique, il faut le souligner).

Plusieurs estimations des conditions P-T ont été effectuées précédemment, qui ne seront pas rappelées ici (voir, entre autres, Desmons, 1986). Comme à toutes les estimations fondées sur des données expérimentales, il convient de ne pas accorder plus qu'une valeur relative à celles faites dans les zones penniques, en raison des différences entre les brèves expériences de laboratoire et les conditions qui ont réellement présidé à ces transformations de basse température dans la nature. Les valeurs obtenues au moyen de l'amphibole bleue grâce au géobaromètre de Maruyama et al. (1986) seraient de 6,7 à 6,9 kbar pour le marbre et deux des metabasites du Queyras, de 5,5 kbar pour la brèche de coussin à phengite et de 3,9 kbar pour le marbre à silicates du Mont Jovet. Toutefois ce géobaromètre ne doit pas être utilisé car il a été étalonné pour l'amphibole sodique associée à l'épidote et l'actinote. Or l'alumino-silicate de Ca des échantillons de Saint-Véran/Ceillac est de la lawsonite et l'actinote, quand elle est présente, se montre non pas stable avec le glaucophane, mais postérieure à lui. Toujours est-il que les conditions P-T du faciès à glaucophane-lawsonite ont été de la lignée de haute pression, correspondant à un très faible gradient géothermique, plus faible que celui des éclogites.

Cette phase éo-alpine tardive à amphibole bleue est générale dans la partie interne des Alpes occidentales penniques, mais on sait que dans le Queyras la présence de lawsonite dénote une température plus faible que plus au N, la limite au NE de laquelle l'amphibole bleue est associée à l'épidote passant approximativement par le val de Suse et la Maurienne, puis remontant vers le NW.

Dans le Queyras les phénomènes tertiaires se sont eux aussi déroulés sous un gradient de haute pression, mais cette fois dans les conditions moins sévères du faciès lawsonite-albite-chlorite. Ils ont laissé intacts beaucoup des associations antérieures des roches ophiolitiques et donné aux roches sédimentaires leurs associations actuelles. Par contre en haute Maurienne, le métamorphisme méso-alpin (éocène supérieur) commence à prendre des caractéristiques de phase thermique (il ne s'agit pas d'un simple retour du géotherme à la

normale) ; l'actinote en association avec l'albite y prédomine sur la chlorite et, avec notamment le chloritoïde présent dans les schistes à quartz-actinote-calcite au voisinage de notre échantillon de skarn, définit un faciès de schiste vert de température moyenne, dans lequel les minéraux de la phase éo-alpine tardive se font plus rares. L'association à andradite, amphibole et pyroxène

du skarn était stable dans les conditions de ce faciès. Le partage du Mg et du Fe entre le grenat et le pyroxène, d'une part, entre le grenat et l'amphibole, de l'autre, ne peut être utilisé comme géothermomètre, parce que les grenats sont trop pauvres en MgO et parce que les formules de référence (Pattison et Newton, 1989 ; Graham et Powell, 1984) concernent des minéraux à fer bivalent (almandin et non andradite).

REFERENCES

- de BETHUNE P., LADURON D. & BOCQUET [DESMONS] J. (1975). - Diffusion processes in resorbed garnets. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, Heidelberg, 50, pp. 197-204.
- BOCQUET [DESMONS] J. (1974a). - Blue amphiboles of the Western Alps. Chemistry and physical characters. - *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.*, Zürich, 54, pp. 425-448.
- BOCQUET [DESMONS] J. (1974b). - Etudes minéralogiques et pétrologiques sur les métamorphismes d'âge alpin dans les Alpes françaises. - *Thèse Sci.*, Univ. Grenoble, 489 p.
- CABY R. (1990). - Granitoïdes et ophiolites piémontaises: nouvelles données sur l'association plutono-volcanique du "Rocher Blanc" (Queyras, Hautes-Alpes, France). - *C.R. Acad. Sci., Paris*, 310 (II), pp. 619-625.
- CABY R., MICHARD A. & TRICART P. (1971). - Découverte d'une brèche polygénique à éléments granitoïdes dans les ophiolites métamorphiques piémontaises (Schistes lustrés du Queyras, Alpes françaises). - *C.R. Acad. Sci., Paris*, 273, pp. 999-1002.
- CORTESOGNO L., GALBIATI B. & PRINCIPI G. (1980). - Le breccie serpentinitiche giurassiche della Liguria orientale. - *Arch. Sc., Genève*, 33, pp. 185-200.
- CORTESOGNO L., LUCCHETTI G. & MASSA B. (1981). - Rocce oficarbonatate e marmi a silicati nel Massiccio di Voltri : origine e significato, chimismo dei minerali ed equilibri paragenetici. - *Rendic. Soc. Ital. Mineral. Petrol.*, Milano, 37, pp. 481-507.
- DESMONS J. (1977). - Mineralogical and petrological investigations of Alpine metamorphism in the internal French Western Alps. - *Amer. J. Sc.*, New Haven, 277, 1045-1066.
- DESMONS J. (1986). - The Alpine metamorphisms and their environments in the Western Alps : unsolved problems. - *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.*, Zürich, 66, pp. 29-40.
- DESMONS J. (1989). - Different metamorphic evolutions in the Alpine-Apenninic ophiolites (France - Italy - Switzerland - Austria). - *Chem. Geol.*, Amsterdam, 77, pp. 229-250.
- DESMONS J. & PLOQUIN A. (1989). - Chimisme du Briançonnais - Grand Saint-Bernard anté-mésozoïque (Alpes occidentales) : une vue synoptique. - *Géol. Alpine*, Grenoble, 65, pp. 1-31.
- DESMONS J. & RADELLI L. (1989). - Arcs and H-P metamorphism of ophiolites, on the example of the Western Alps. - *Ophioliti*, Bologna, 14, pp. 101-118.
- DEVILLE E. (1987). - Etude géologique en Vanoise orientale (Alpes occidentales françaises, Savoie). - *Thèse*, Univ. Savoie, 296 p.
- GRAHAM C.M. & POWELL R. (1984). - A garnet-hornblende geothermometer : calibration, testing, and application to the Pelona Schist, Southern California. - *J. metam. Geol.*, 2, pp. 13-31.
- HENOE J. & TONG M. (1978). - Automatisation de la microsonde. - *J. Microscopie et Spectroscopie électronique*, 3, pp. 247-254.
- LEAKE B.E. (1978). - Nomenclature of amphiboles. - *Amer. Miner.*, 63, 1023-1052.
- MARUYAMA S., CHO M. & LIOU J.G. (1986). - Experimental investigations of blueschist-greenschist transition equilibria : pressure dependence of Al₂O₃ contents of sodic amphiboles. A new geobarometer. - *Bull. Soc. Amer. Mem.*, Boulder, 164, pp. 1-16.

- MEVEL C., CABY R. & KIENAST J.R. (1978). Amphibolite facies conditions in the oceanic crust : example of amphibolitized flaser-gabbro and amphibolites from the Chenaillet ophiolite massif (Hautes Alpes, France). - *Earth Planet. Sc. Lett.*, Amsterdam, 39, pp. 98-108.
- MEVEL C. & KIENAST J.R. (1980). - Chromian jadeite, phengite, pumpellyite and lawsonite in a high-pressure metamorphosed gabbro from the French Alps. - *Mineral. Mag.*, London, 43, pp. 979-984.
- PATTISON D.R.M. & NEWTON R.C. (1989). - Reversed experimental calibration of the garnet-clinopyroxene Fe-Mg exchange thermometer. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, Heidelberg, 101, pp. 87-103.
- RADELLI L. & DESMONS J. (1987). - Pennique, Téthys et orogénèse crétacé moyen dans les Alpes. - *C.R. Acad. Sci., Paris*, 305 (II), pp. 1375-1378.
- RADELLI L. & DESMONS J. (1988). - Cinématique des Alpes. - Manuscrit dép. Soc. Auteurs, 6 p.
- ROBERTS S. (1988). - Ophiolitic chromitite formation : a marginal basin phenomenon ? - *Econ. Geol.*, 83, pp. 1034-1036.
- SABY P., CHAPPELLE B., PIBOULE M. & TRICART P. (1988). - Preuves d'une origine continentale pour les granitoïdes remaniés au sein des ophiolites du Pic Marcel (zone piémontaise des Alpes occidentales). - *C.R. Acad. Sci., Paris*, 307 (II), pp. 973-978.
- SALOT P. (1979). - La jadéite dans les Alpes françaises. - *Bull. Minéral.*, Paris, 102, pp. 391-401.
- STEEN D., VUAGNAT M. & WAGNER J.J. (1977-1980). - Early deformations in Montgenèvre gabbros. - In : Associations mafiques-ultramafiques dans les orogènes. C.N.R.S., Paris, Coll. Int. Grenoble, 272, pp. 97-103.