

LES AMPHIBOLES DES SKARNS A MAGNETITE DE  
SAN LEONE (SARDAIGNE S.W.) CONSTITUENT  
DES LIMITES NATURELLES FERRIFÈRES DANS  
LES HORNBLENDES ET LES TRÉMOLITES (\*)

par J. VERKAEREN (\*\*)

(2 photos, 1 figure et 2 tableaux dans le texte)

RÉSUMÉ

Les associations hydrothermales des skarns de San Leone renferment plusieurs types d'amphiboles. Il s'agit essentiellement d'une ferrotremolite et d'une hornblende dans les skarns proprement dits et accessoirement d'une ferrotremolite magnésienne cristallisant dans des filons recoupant les skarns.

Les analyses chimiques à la microsonde de la ferrotremolite montrent qu'elle se rapproche remarquablement de la composition du terme extrême  $\text{Ca}_2\text{Fe}^{++}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ ; elle constitue à notre connaissance la ferrotremolite la plus ferreuse connue dans la nature à ce jour.

Les analyses chimiques à la microsonde de la hornblende ferreuse montrent que l'on se trouve en présence d'une hornblende de composition intermédiaire entre les ferrotremolites et les ferropargasites; sa teneur exceptionnelle en fer la désigne également comme une limite naturelle dans les hornblendes.

L'analyse pétrographique suggère la cristallisation primaire de la hornblende ferreuse; au fur et à mesure de l'évolution des conditions génétiques, celle-ci devient instable et se transforme en ferrotremolite lorsque la T décroît. Il n'est pas exclu qu'il existe toute une série de compositions intermédiaires.

Les données que l'on possède sur San Leone permettent de considérer comme vraisemblable l'absence ou en tous cas la faible extension d'une lacune de solubilité entre les familles des ferrotremolites et des hornblendes riches en fer du type ferropargasite.

ABSTRACT

The hydrothermal associations of the San Leone skarn deposit include several types of amphiboles. These are essentially ferrotremolite and hornblende in the skarns *sensu stricto* and magnesian ferrotremolite in the veins cutting the skarn body. The microprobe analysis of ferrotremolite indicates a composition that lies very closely to that of the end-member  $\text{Ca}_2\text{Fe}^{++}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ ; to our knowledge it represents the purest ferrotremolite occurring in nature.

The microprobe analysis of hornblende indicates a composition that lies between ferrotremolite and ferropargasite; to our knowledge its represents the most ferriferous hornblende occurring in nature.

Petrographic analysis suggests initial crystallization of hornblende; during the evolution of genetic conditions involving decreasing temperatures, it becomes unstable and is replaced by ferrotremolite. Intermediate compositions are not excluded by optical examination. The data suggest the absence or limited extension of a miscibility gap between ferrotremolites and hornblendes of the ferropargasitic type.

(\*) Communication présentée et manuscrit déposé le 5 mars 1974.

(\*\*) Laboratoire de Minéralogie et de Géologie Appliquée, Université de Louvain, 1348 Louvain-la-Neuve.

## 1. LOCALISATION

Les amphiboles apparaissent dans certains horizons des skarns à magnétite de San Leone, Sardaigne Sud-Occidentale. Le gisement est localisé à environ 30 km au S.W. de la ville de Cagliari. Les skarns s'y présentent sous forme de lentilles interstratifiées dans un ensemble de cornéennes pélitiques d'âge silurien au contact d'un batholite granodioritique hercynien (VERKAEREN, 1973). Le faciès métamorphique est celui des cornéennes à hornblende dans le sens de TURNER (1968).

## 2. LES AMPHIBOLES

Elles se rencontrent (VERKAEREN, 1973) :

— soit dans des skarns massifs où elles sont le plus communément associées à la magnétite, le quartz, la fluorine, la calcite, et parfois l'ilvaïte.

Il s'agit de la ferrotremolite (2 dans les tableaux 1 et 2). Elle est parfois associée, nous verrons de quelle manière, à la hornblende ferreuse (1 dans le tableau 1 et 2).

Il n'est pas exclu que l'on puisse assister à la cristallisation d'amphiboles intermédiaires.

— soit dans des fissures recoupant les skarns. Il s'agit de la ferrotremolite magnésienne (3 dans les tableaux 1 et 2).

2.1. *Analyse Pétrographique*

2.1.1. Dans les skarns massifs, les amphiboles, habituellement la ferrotremolite, se présentent en aiguilles vert-foncé dont la taille dépasse rarement le centimètre.

Quoique homogène dans la plupart des cas, la ferrotremolite peut se présenter à l'examen microscopique sous un aspect quelque peu particulier. La photographie 1 montre une association de plages de ferrotremolite accompagnées de quelques cristaux de magnétite. Comme on peut le constater, l'amphibole est loin d'être homogène. La photographie 2 montre le détail d'une plage sensiblement perpendiculaire à la bissectrice aiguë; l'on y remarque des taches, de dimensions variables, beaucoup plus absorbantes que l'ensemble de la plage.

Ces taches ont par ailleurs la même orientation optique que le fond. L'analyse chimique et minéralogique nous apprend qu'elles sont constituées de hornblende ferreuse incluse dans une plage de ferrotremolite.

Nous sommes en présence d'une texture très suggestive d'un déséquilibre chimique au sein de la roche.

L'analyse texturale nous conduit à émettre l'hypothèse de la cristallisation primaire de la hornblende ferreuse dont il ne subsisterait précisément plus que ces noyaux non transformés dans la ferrotremolite.

Le passage d'une amphibole à l'autre paraît se faire de manière progressive. En effet, on constate souvent une variation progressive des propriétés optiques en passant d'une amphibole à l'autre, en particulier dans la valeur de l'angle des axes optiques. Ces variations laissent par conséquent supposer qu'il existe une série de compositions possibles depuis la ferrotremolite en passant par les hornblendes ferreuses et pouvant éventuellement se diriger vers les compositions ferropargasitiques telles qu'on les connaît en Ginevro (DIMANCHE, 1969, 1970, 1971).

Par conséquent, les données que l'on possède sur San Leone permettent de considérer comme vraisemblable l'absence ou en tous cas la faible extension d'une

lacune de solubilité entre les familles de ferrotremolites et des hornblendes riches en fer du type ferropargasite.

<i>TABLEAU 1. AN. CHIM. ET PROP. OPTIQUES DES AMPHIBOLES.</i>					
	1	2	3	4	5
Si O <sub>2</sub>	44.30	49.60	47.10	45.69	50.05
Ti O <sub>2</sub>	0.10		0.10	0.89	1.20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.70	0.50	2.80	7.82	1.78
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	} 32.80*	} 35.30*	} 25.00**	4.28	2.68
Fe O				22.38	26.35
Mn O	1.70	1.20	1.00	0.35	1.72
Mg O	0.60	0.80	6.30	3.03	3.30
Ca O	11.20	10.50	12.30	11.37	11.03
Na <sub>2</sub> O	0.30		0.40	1.61	0.55
K <sub>2</sub> O	0.80	0.10	0.30	0.66	
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	2.50	1.90	1.90	1.91	1.68
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>				0.10	
TOTAL	100.00	100.00	97.20	100.09	100.49
$\alpha$		1.677	1.659	1.670	1.668
$\gamma$	**	1.702	1.678	1.687	1.686
2 $\nu$	13	52	56	50	52
$\chi/\zeta$	15	14	15	14	11
$\alpha$	vert jaunâtre	incolore	jaunâtre	jaunâtre	jaunâtre fâle
$\beta$	vert	incolore a vert pâle	olive	olive	olive
$\gamma$	bleu verdâtre	bleuâtre	vert bleuâtre	vert bleuâtre	bleu verdâtre
* La totalité du fer dosé est calculé sous forme bivalente.					
** $\alpha$ et $\gamma$ n'ont pu être mesurés.					

TABLEAU 2. AMPHIBOLES. NOMBRE D'IONS PAR UNITE FORMULAIRE.							
ion	1	2	3	4	5		
Si	7.21	7.96	7.52	7.21	7.88		
Al <sup>IV</sup>	0.79	0.04	0.48	0.79	0.12	8.00	8.00
Al <sup>VI</sup>	0.30	0.06	0.04	0.67	0.21		
Ti	0.01		0.01	0.11	0.14		
Fe <sup>**</sup>				0.51	0.32		
Fe <sup>*</sup>	4.46 *	4.74 *	3.33 *	2.96	0.47	5.15	5.16
Mn	0.23	0.16	0.14	0.05	0.23		
Mg	0.15	0.20	1.51	0.71	0.77		
Ca	1.95	1.81	2.09	1.92	1.86		
Na	0.09	0.03	0.11	0.49	0.15	2.21	1.84
K	0.17		0.06	0.13			
OH	2.71	2.01	2.02	2.01	1.97		
O	21.64	21.99	21.99	24.54	24.43		
$\frac{100 \text{ Mg}}{\text{Mg} + \text{Fe}^{*} + \text{Fe}^{**} + \text{Mn}}$	3.09	3.92	30.41	16.90	16.20		

\* La totalité du fer dosé est calculé sous forme bivalente.

2.1.2. Dans les fissures recoupant les skarns, on observe parfois la cristallisation en fines baguettes pouvant atteindre plusieurs centimètres d'une amphibole verte moins foncée que les autres. L'analyse chimique et minéralogique nous apprend qu'il s'agit d'une ferrotremolite magnésienne. Elle cristallise en association avec l'épidote, la calcite et le quartz.

## 2.2. Analyse chimique et minéralogique

### 2.2.1. Analyses chimiques

De grandes difficultés de séparation ainsi que l'hétérogénéité des grains rendent leur étude par la microsonde indispensable.

Le tableau 1 renferme le dépouillement des analyses des amphiboles 1, 2, 3. Les analyses 4 et 5 proviennent de deux amphiboles du gisement de skarns à magnétite du Ginevro (DIMANCHE, 1969-1970) qui présentent de fortes analogies tant optiques que chimiques avec celles de San Leone.

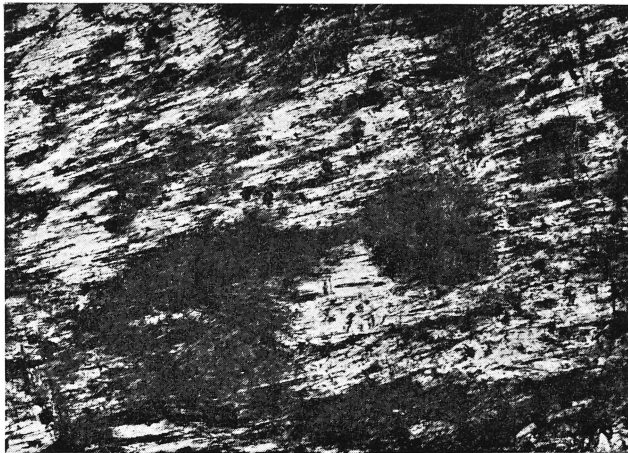
La photographie 2 montre la localisation des analyses 1 et 2; l'analyse 1 a trait aux zones les plus absorbantes tandis que l'analyse 2 se rapporte aux zones claires.

Le tableau 2 renferme pour les mêmes amphiboles le nombre d'ions par unité formulaire ainsi que le paramètre :

$$mg = \frac{Mg}{Mg + Fe^{++} + Fe^{+++} + Mn} \cdot$$



*Photographie 1.* — Plage d'amphiboles.  
Lum. nat. 0.95-1.43 mm.



*Photographie 2.* — Grain d'amphibole :  
détail hornblende ferreuse (tâches) + ferrotremolite.  
Lum. nat. 0,95-1.43 mm.

Dans les analyses 1, 2 et 3 la totalité du fer dosé a été comptée sous forme bivalente; le calcul du nombre d'ions a été effectué sur la base anhydre de 230.

Pour les analyses 1 et 2, il n'a pas été tenu compte de l' $H_2O^+$  dans le calcul des facteurs de corrections à la microsonde; les teneurs en  $H_2O$  ont été calculées par différence sur un total de 100 %.

Par contre pour l'analyse 3, la teneur en  $H_2O^+$  est celle qui résulte de la formule

stoechiométrique; il en a été tenu compte dans le calcul des facteurs de corrections à la microsonde. Les amphiboles 4 et 5 ont été calculées en se basant sur la somme des cations en position  $X + Y + Z$  égalée à 15 (\*) (DIMANCHE, 1970).

### 2.2.2. Classification et nomenclature

Le nombre d'ions Ca range d'emblée les amphiboles de San Leone dans la famille des amphiboles calciques.

A l'intérieur de celle-ci, DEER, HOWIE et ZUSSMAN (1963) conviennent de placer la césure entre les trémolites et les hornblendes pour un nombre d'ions Al en position Z égal à 0.5 par unité formulaire : en-dessous de cette valeur on a les trémolites, au dessus les hornblendes. Il en résulte que l'amphibole 2, et dans une moindre mesure l'amphibole 3, se rangent dans la famille des trémolites tandis que l'amphibole 1 trouve sa place dans la famille des hornblendes.

Dans la classification de COLVILLE et al. (1968), les hornblendes comprennent les compositions comprises entre les familles :

— (ferro) édénites	$\text{NaCa}_2(\text{Mg} \cdot \text{Fe})_5\text{AlSi}_7\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
— (ferro) pargasites	$\text{NCa}_2(\text{Mg} \cdot \text{Fe})_4\text{AlSi}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
— (ferro) hastingsites	$\text{NaCa}_2(\text{Mg} \cdot \text{Fe})_4\text{Fe}^{+++}\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
— (ferro) tschermakites	$\text{OCa}_3(\text{Mg} \cdot \text{Fe})_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

L'amphibole 1 montre une substitution Si-Al dans le site Z relativement importante, compensée par une introduction complémentaire d'Al dans le site Y, et dans une moindre mesure de Na + K, dans le site X; le site W peut être considéré comme partiellement occupé.

En se basant sur la classification de COLVILLE, il s'agit d'une amphibole intermédiaire entre les trémolites et les (ferro)pargasites — (ferro)hastingsites. L'on sait que la distinction entre ces deux dernières familles est essentiellement une occupation du site Y par le  $\text{Fe}^{+++}$  plutôt que par l'Al. Le nombre d'ions  $\text{Fe}^{+++}$  ne nous est malheureusement pas connu. Or étant donné la relative sous-saturation en Si du site Z, la présence d'une faible quantité de  $\text{Fe}^{+++}$  en site Y n'est pas exclue, mais elle ne pourrait en aucun cas nous orienter vers les (ferro)hastingsites. Nous nous trouvons donc en présence d'une hornblende ferrifère de composition intermédiaire entre les (ferro)trémolites et les (ferro)pargasites. Le paramètre  $mg = 3.09$  nous met en présence d'une amphibole à teneur en fer exceptionnelle qui constitue une limite naturelle dans les hornblendes.

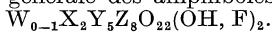
L'amphibole 2 a un paramètre  $mg = 3.92$ ; elle constitue à notre connaissance la ferrottrémolite la plus ferreuse connue dans la nature à ce jour; elle se rapproche remarquablement de la composition du terme extrême  $\text{Ca}_2\text{Fe}^{+++}_5\text{Si}_2\text{O}_{22}(\text{OH})_2$  (ERNST, 1968). On parlera dès lors de la ferrottrémolite de San Leone (\*\*).

L'amphibole 3 a un paramètre  $mg = 30.41$ ; ceci justifie l'appellation de ferrottrémolite magnésienne que nous avons utilisée.

### 2.2.3. Représentation graphique

Afin de comparer avantageusement les amphiboles de San Leone avec celles

(\*) La formule structurale générale des amphiboles peut s'écrire :



(\*\*) DEER, HOWIE et ZUSSMAN (1963) préfèrent utiliser le terme « ferro-actinolite ».

du Ginevro et d'autres collationnées dans la littérature, on se servira d'un mode de représentation graphique préconisé par COLVILLE et al. (1966). La figure 1 montre un de leurs quadrilatères dont les sommets sont précisément les termes extrêmes de la famille des trémolites et celles des pargasites. En raison de l'ignorance dans laquelle nous nous trouvons du rôle exact joué par le  $Fe^{+++}$  il est possible que les points 2 et 3 soient en réalité légèrement décalés vers l'ordonnée gauche.

Le caractère exceptionnel de la composition des amphiboles de San Leone y ressort de manière particulièrement claire.

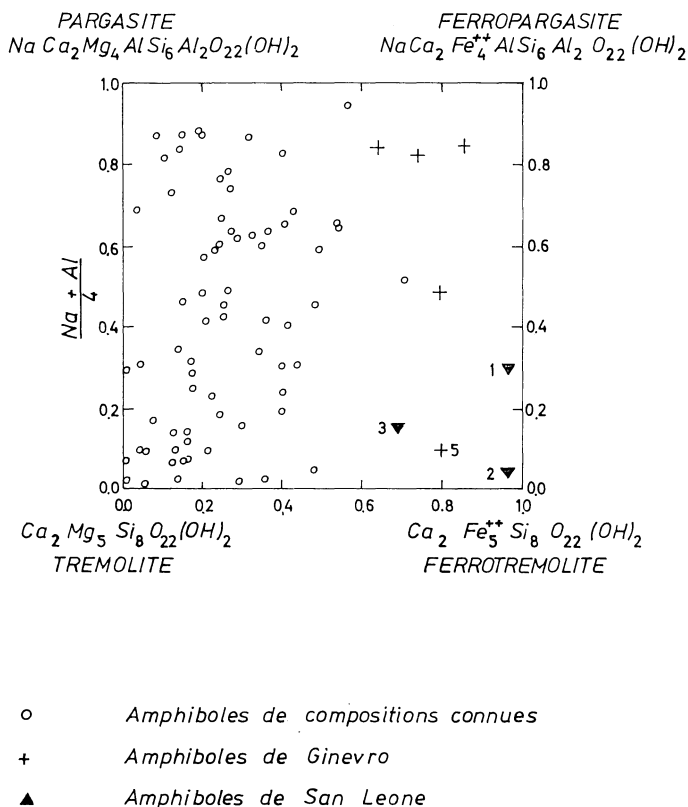


Fig. 1

## REMERCIEMENTS

Nos remerciements s'adressent en premier lieu au Prof. P. ZUFFARDI de l'Université de Cagliari qui nous initia à la géologie de la zone de San Leone.

Nous remercions également le Prof. P. de BÉTHUNE qui donna aimablement accès à la microsonde de son laboratoire ainsi que Monsieur J. WAUTIER qui exécuta les analyses.

Le Prof. J. MOREAU a bien voulu lire et critiquer le manuscrit.

## BIBLIOGRAPHIE

- COLVILLE, P. A., ERNST, W. G., GILBERT, M. C., 1966. — Relationships between cell parameters and chemical compositions of monoclinic amphiboles. *Amer. Miner.*, **51**, pp. 1727-1754.
- DEER, W. A., HOWIE, R. A., ZUSSMAN, M. A., 1962. — *Rock-Forming Minerals*. Longmans.
- DIMANCHE, F., 1970. — Les amphiboles et leurs associations dans les skarns à magnétite du Ginevro (l'île d'Elbe, Italie). *Bull. Soc. fr. Mineral. Crist.*, **93**, pp. 89-100.
- DIMANCHE, F., 1969. — Les skarns amphiboliques à magnétite du Ginevro (île d'Elbe). Thèse de doctorat, Fac. des Sciences, Université de Liège.
- DIMANCHE, F., 1971. — Les minerais de magnétite et les skarns du Ginevro (île d'Elbe, Italie). *Mineral. Deposita*, **6**, pp. 356-379.
- ERNST, W. G., 1966. — Synthesis and stability relations of ferrotremolite. *Amer. Jour. Sci.*, **264**, pp. 37-65.
- TURNER, F. J., 1968. — *Metamorphic Petrology*. Mc Graw-Hill.
- VERKAEREN, J., 1973. — Les skarns à magnétite de San Leone. Thèse de doctorat, Fac. des Sciences Appliquées, Univ. de Louvain.