

ROYAUME DU MAROC  
MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES MINES  
DIRECTION DE LA GÉOLOGIE

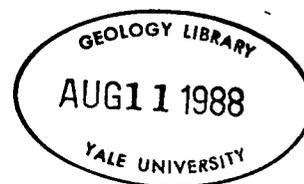
---

NOTES ET MÉMOIRES DU SERVICE GÉOLOGIQUE DU MAROC

N° 321

NOTES  
DU SERVICE GÉOLOGIQUE  
DU MAROC

Tome 43



EDITIONS DU SERVICE GÉOLOGIQUE DU MAROC  
RABAT  
1987

# Les phosphates secondaires de la pegmatite d'Angarf-Sud, plaine des Zenaga, Anti-Atlas, Maroc

par

André-Mathieu FRANSOLET \*

**Résumé :** L'étude des phosphates de la pegmatite d'Angarf-Sud (plaine des Zenaga, Anti-Atlas, Maroc) a déjà fait l'objet de plusieurs travaux antérieurs débouchant notamment, sur la publication d'analyses minéralogiques de quelques espèces remarquables (barbosalite, triphylite, mélonjosephite, scorzalite). Les phosphates d'origine secondaire, identifiés à ce jour et dont certains constituent des espèces rares, sont décrits : lipscombite, mitridatite, tavorite, huréaulite, rockbridgeite, jahnsite, whitlockite, messelite, montgomeryite et phosphosidérite. En outre, une analyse chimique par voie humide complète la description de la lipscombite et de la mitridatite, dont les paramètres cristallographiques de la maille sont également calculés à partir des diffractogrammes de poudre. Ces phosphates proviennent de l'altération des termes de la séquence d'évolution, triphylite — alluaudite riche en calcium — mélonjosephite — apatite, qui caractérise la pegmatite d'Angarf-Sud.

## HISTORIQUE ET BUT DU TRAVAIL

Parmi les pegmatites de la boutonnière précambrienne de la plaine de Tazenakht (Anti-Atlas, Maroc) décrites par Bouladon & al. (1950), Morin (1952) et Permingeat (1955), celle d'Angarf-Sud qui a fourni une grande quantité de béryl constitue également un gisement remarquable par son contenu en phosphates, plus riches en Fe et Mg qu'en Mn. Ces phosphates complexes, en dehors de l'apatite, n'ont pas été déterminés par les premiers observateurs. A l'occasion de la préparation du XIX<sup>ème</sup> Congrès géologique international d'Alger et lors de l'excursion sur les gisements miniers du Sud-Marocain, de nombreux échantillons de ces phosphates ont été largement diffusés dans le monde. En particulier M.E. Mrose (U.S. Geological Survey, Washington), ayant disposé de plusieurs lots, a pu déterminer plusieurs espèces notamment : barbosalite, lipscombite, mitridatite, ferrisicklérîte, alluaudite, rockbridgeite, triphylite et aussi griphite d'Angarf-Nord et sarcopside d'une pegmatite non précisée (Béhier, 1960 ; Permingeat, communication personnelle) ; malheureusement ses recherches ont été abandonnées et leurs résultats n'ont pas été publiés.

La première analyse minéralogique détaillée sur la barbosalite de la pegmatite d'Angarf-Sud a seulement été publiée en 1972 par Cech, Johan et Povondra. En outre, ces auteurs décrivent brièvement la mitridatite et mentionnent l'apatite gris blanchâtre à rougeâtre et la lipscombite.

Après une description préliminaire des associations de phosphates de ce gisement, dans lesquelles les espèces suivantes sont signalées : alluaudite, apatite cryptogrenue, scorzalite, lipscombite, mitridatite, rockbridgeite, huréaulite et barbosalite, Fransolet (1974) met l'accent sur les propriétés minéralogiques de la triphylite magnésienne ( $\text{Li}_{0,99}\text{Na}_{0,01}(\text{Fe}_{0,77}\text{Mg}_{0,13}\text{Mn}_{0,10})\text{PO}_4$ ) et sur l'occurrence de tavorite. La présence de lithium dans la pegmatite d'Angarf-Sud est ainsi mise en évidence.

Remarquée par sa teinte vert sombre et son faciès finement fibreux, dans les masses d'alluaudite au voisinage de l'apatite gris rougeâtre à blanchâtre, une nouvelle espèce minérale est décrite sous le nom de mélonjosephite  $\text{CaFe}^{2+}\text{Fe}^{3+}(\text{PO}_4)_2(\text{OH})$  (Fransolet, 1973). Ensuite, la scorzalite, riche en magnésium ( $\text{Fe}^{2+} : \text{Mg} = 1.17$ ) qui remplace la muscovite enrobée dans l'alluaudite, fait l'objet d'une étude minéralogique et génétique (Fransolet, 1975a). Enfin, l'analyse des relations

\* Université de Liège, Institut de Minéralogie, Place du Vingt-Août, 9, B-4000 LIEGE (Belgique).

structurales des phases majeures des associations de phosphates des pegmatites de la plaine de Tazenakht et, surtout, d'Angarf-Sud, permet d'examiner, dans le détail, la séquence majeure d'évolution triphylite—aljuaudite—apatite et de mettre en lumière le rôle joué par les phosphates dans l'évolution géochimique de ce type de pegmatite (Fransolet, 1975b).

L'aspect génétique du problème posé par ces minéraux a quelque peu masqué l'intérêt de la minéralogie systématique des phases d'altération. Le but de la présente note est d'étoffer les déterminations antérieurement établies (Fransolet, 1974) en fournissant les caractères essentiels des phosphates accessoires de la pegmatite d'Angarf-Sud. Ainsi une description détaillée de la lipscombite et de la mitridatite est complétée par une analyse chimique. De nouvelles précisions concernent la tavorite, l'huréaulite et la rockbridgeite. Les minéraux plus récemment identifiés sont également décrits ici : jahnsite, whitlockite, messelite, montgomeryite et phosphosidérite.

L'ensemble de ces minéraux fait partie, soit des amas importants de phosphates accolés à la bordure ouest du noyau de quartz, près de la poche à béryl, et signalés par Bouladon & al. (1950) et Morin (1952), soit des associations au contact est du même noyau de quartz, observées par l'auteur au cours des travaux de terrain effectués en 1971.

#### DESCRIPTIONS MINERALOGIQUES

##### LIPSCOMBITE : $Fe^{2+}Fe^{3+}_2(PO_4)_2(OH)_2$

Abondante dans les amas de phosphates affleurant à l'est et à l'ouest du noyau de quartz, la lipscombite s'observe parfois en masses centimétriques d'aspect terreux et de couleur vert foncé à vert brunâtre, où elle est intimement associée à la mitridatite, également d'allure terreuse mais nettement plus brune.

L'échantillon analysé ici est un bel échantillon de lipscombite vert sombre, fragile et assez pulvérulent (réf. E.N.S.M.P. S.29281) confié par M. Sainfeld (Ecole Nationale Supérieure des Mines, Paris). Dans certaines cavités, on retrouve la mitridatite en minuscules cristaux lamellaires groupés en rosettes ou en globules de teinte bronze, rarement accompagnée de phosphosidérite bleue.

Le dépouillement du diffractogramme de poudre, corrigé à l'aide d'un étalon interne de  $Pb(NO_3)_2$  ( $a = 7.8568 \text{ \AA}$ ) et reproduit au tableau I, atteste l'identification de la lipscombite et conduit au calcul des paramètres de la maille en utilisant le pro-

gramme d'affinement par moindres carrés d'Evans & al. (1963). Ces valeurs (tabl. I) ont été établies suivant deux orientations. La première adoptée par Katz & Lipscomb (1951) et reprise par Cech & al. (1961), est celle d'une maille centrée avec un groupe spatial  $I4_2$ . En appliquant la matrice de transformation  $(110/110/001)$ , on aboutit à l'orientation définie par Lindberg (1962), avec un groupe spatial  $P4_2$ . L'examen du diffractogramme de poudre révèle également trois réflexions harmoniques 8,70 Å (200), 2,90 Å (600) et 2,178 Å (800), caractéristiques de la mitridatite. Cette observation tend à prouver que le calcium, qui aurait été détecté dans la lipscombite d'Angarf-Sud par Mrose (in Béhier, 1960) doit plutôt être attribué à la présence de mitridatite. De plus, l'analyse chimique par voie humide (tabl. II) fournit notamment une teneur en CaO qui correspondait à environ 5 % de mitridatite, si on accepte, pour cette impureté, une composition proche de la formule idéale proposée par Moore & Araki (1977). Le calcul du nombre de cations sur la base de 10 (O, OH) dans l'unité formulaire, fait apparaître un excès de  $Fe^{3+}$ , un déficit en cations bivalents et en ions  $H^+$  (tabl. II). Le résultat ainsi obtenu se rapproche de l'analyse effectuée sur la lipscombite d'Otov II, également associée à la mitridatite (Cech & al., 1961) et le déficit en cations bivalents observé ici est encore plus accusé que dans la barbosalite (variété polymorphe monoclinique) d'Angarf-Sud (Cech & al., 1972). Il est intéressant de remarquer que, si on envisage un phénomène d'auto-oxydation fréquent dans le groupe des phosphates de fer ferreux et ferrique (Moore, 1970), la composition établie pour la lipscombite d'Angarf-Sud est voisine de la composition théorique qui correspond à  $Fe^{2+}_{0,55}Fe^{3+}_{2,45}(PO_4)_2(O_{0,45}OH_{1,55})$  (tabl. II) et dans laquelle  $0,45 [Fe^{2+}(OH)^-] \rightarrow 0,45 [Fe^{2+}O^{2-}] + 0,225 H_2$ .

##### MITRIDATITE : $Ca_6(H_2O)_6[Fe^{3+}_6O_6PO_4] \cdot 3H_2O$

La mitridatite a déjà été identifiée et rapidement décrite par Cech & al. (1972). Fréquent dans les deux assemblages de phosphates, ce minéral se présente sous quatre faciès caractéristiques :

- agrégats fibreux ou rosettes fibroradiaires dans les fractures de l'apatite ;
- petits globules brun foncé (ne dépassant pas 1mm de diamètre), associés à la whitlockite, la jahnsite, la montgomeryite ; ces globules peuvent se regrouper en filonnets qui traversent le quartz et l'apatite ;
- globules finement hérissés à éclat bronze, de 0,5 à 1 mm de diamètre, dans les cavités de la lipscombite ;

I/I <sub>o</sub>	d <sub>obs.</sub> (Å)	Orientation		d <sub>calc.</sub> (Å)
		Katz et Lipscomb (1951)	Lindberg (1962)	
		hkl	hkl	
10	8,70 (+)			
20	4,833	101	111	4,842
100	3,311	103	113	3,314
40	3,204	112	202	3,204
5	2,901 (+)			
15	2,612	200	220	2,613
5	2,567 (+)			
10	2,420	202	222	2,420
15	2,300	211	311	2,300
5	2,178 (+)			
20	2,052	213	313	2,052
5	2,027	204	224	2,028
5	1,852	116	206	1,854
		220	400	1,848(++)
5	1,777	222	402	1,776
5	1,733	107	117	1,733
		215	315	1,730(++)
15	1,657	206	226	1,657
10	1,614	303	333	1,614
15	1,608	008	008	1,607
20	1,603	224	404	1,602
		312	422	1,601(++)
10	1,446	217	317	1,444(++)
$a(\text{Å})^{+++}$		=	5,227(1)	7,392(2)
$c(\text{Å})$		=	12,857(4)	12,857(4)

(+) mitridatite

(++) valeurs n'ayant pas servi au calcul de la maille.

(+++) paramètres de la maille tétragonale suivant les deux orientations.

TABLEAU I

— masses compactes vert brun, mêlées au quartz, à la lipscombite et à la goethite, avec cependant des zones relativement bien cristallisées, où l'aspect redevient fibroradiaire et la couleur, plus franchement brun foncé à rouge sombre. C'est ce dernier faciès qui, après triage à la pince, a été retenu pour un diffractogramme de rayons X et pour l'analyse chimique.

— Au microscope électronique à balayage, un examen des globules de mitridatite prélevés dans les cavités de la lipscombite, fait apparaître une

structure typique très finement feuilletée (fig. 1a et 1b). Les résultats de l'examen roentgenographique sont comparés aux propriétés de la mitridatite de la pegmatite de White Elephant, South Dakota (Moore, 1974) (tabl. III). Dans ce tableau, sont également consignés les paramètres de la maille monoclinique, calculés sur la base des données de cet auteur.

En frottis ou en lame mince, la mitridatite montre un pléochroïsme intense sur les sections perpendiculaires au clivage facile (100) et parallè-

	1	2	3	4
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	36,49	37,03	2,028	36,30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	48,38	49,46	2,405	50,03
FeO	7,56	8,05	0,435	10,10
MnO	1,08	1,15	0,062	0,582
MgO	0,82	0,87	0,085	
CaO	0,89	-		
Na <sub>2</sub> O	0,01	-		
H <sub>2</sub> O	3,66	3,44	1,484	3,57
insol.	1,01	-		
	99,90	100,00		100,00

- 1.- Analyste: J.-M. Speetjens
- 2.- Recalculée en déduisant l'insoluble et 4,9% de mitridatite (soit 1,69% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 1,90% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,89% CaO et 0,43% H<sub>2</sub>O)
- 3.- Nombres de cations calculés sur la base de 10 (O,OH) dans la formule chimique
- 4.- Composition théorique pour Fe<sub>0,55</sub><sup>2+</sup>Fe<sub>2,45</sub><sup>3+</sup>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(O,45OH<sub>1,55</sub>).

TABLEAU II

les au plan des axes optiques : Z rouge à brun rouge et X incolore à faiblement brun rougeâtre ou verdâtre. Z fait avec la trace de ce clivage un angle d'extinction de 0 à 3°. Les sections parallèles au clivage, pratiquement perpendiculaires à la bissectrice aiguë, sont colorées en brun-jaune ou brun-rouge suivant l'épaisseur. Le minéral est biaxe négatif avec un 2V proche de 0° (≈ 5°). La mesure des indices de réfraction par immersion et pour la longueur d'onde du sodium fournit n<sub>p</sub> = 1,785 ± 0,005 et n<sub>m</sub> = n<sub>g</sub> = 1,85 ± 0,01, valeurs identiques à celles obtenues par Moore (1974).

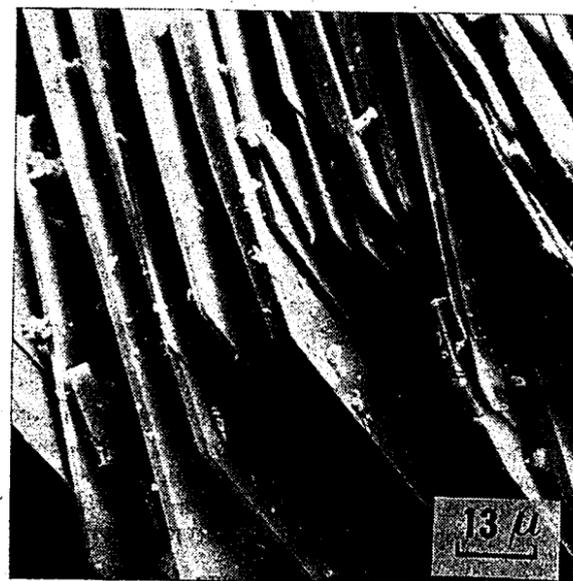


FIG. 1 a) Globule de mitridatite observé au microscope électronique à balayage.  
b) Détail de la structure en feuillets de la mitridatite, même échantillon.

L'analyse chimique par voie humide est donnée dans le tableau IV. Le calcul du nombre de cations sur la base de 9(PO<sub>4</sub>) fait apparaître un excès de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (colonne 2). Si on admet la présence d'environ 4 % d'impuretés sous forme de goethite, identifiée par diffraction des rayons X et intimement associé à la mitridatite, le même calcul débouche sur un rapport Ca : Fe<sup>3+</sup> : PO<sub>4</sub> plus proche de 6 : 9 : 9, finalement adopté par Moore & Araki (1977) et qui rejoint en fait l'hypothèse de Chukhrov & al. (1958). Le résultat ainsi corrigé de l'analyse conduit à un nombre de molécules d'eau voisin de 9, qui satisfait en plus la formule proposée par Moore & Araki, indiquée en tête de paragraphe.

TAVORITE : LiFe<sup>3+</sup>PO<sub>4</sub> (OH)

La tavorite, en fines veinules vert citron sur le fond gris de la triphylite, a été identifiée par Fransolet (1974). Des investigations ultérieures ont permis de compléter la description des propriétés de ce minéral, relativement fréquent, et associé à la barbosalite et à la jahnsite brunâtre. En lame mince notamment, l'absorption faible dans le jaune, l'indice de réfraction élevé (1,81) et la texture cryptocristalline permettent de reconnaître aisément la tavorite. Des plages mieux individualisées ont fourni les propriétés optiques suivantes, confirmant les observations réalisées par Fontan (1978) sur la tavorite des pegmatites de Sidi-bou-Othmane :

- biaxe positif avec 2V estimé à 60-70° ;
- biréfringence dans les teintes jaune verdâtre du 2e ordre ;

Pegmatite d'Angarf-Sud (ce travail)*				White Elephant pegmatite (Moore, 1974)**	
I/I <sub>0</sub>	d <sub>obs.</sub> (Å)	hkl	d <sub>calc.</sub> (Å)	I/I <sub>0</sub>	d <sub>obs.</sub> (Å)
100	8,71	200	8,72	10	8,64
5	5,578	002	5,578	6	5,55
		031	5,586		
15	4,357	400	4,358	3	4,30
				1	3,49
5	3,344	(quartz)		4	3,20
2	3,221	133	3,222	1	3,01
30	2,909	600	2,906	4	2,881
2	2,781	162	2,782	1	2,765
5	2,736	162	2,735	7	2,721
1	2,700	262	2,702		
1	2,625	304	2,627	1	2,617
5	2,570	362	2,572	4	2,562
1	2,516	631	2,523		
1	2,472	404	2,473	2	2,460
		602	2,470		
1	2,214	182	2,214	3	2,207
15	2,179	800	2,179	4	2,169
1	2,102	191	2,102	2	2,106
1	2,063	633	2,064	1	2,068
		291	2,063		
1	1,908			3	1,901
1	1,743			2	1,741
1	1,634				
1	1,615			4	1,612
				1	1,588
1	1,553			3	1,548
Paramètres de la maille monoclinique					
a (Å)	17,53(1)			17,52	
b (Å)	19,36(1)			19,35	
c (Å)	11,22(1)			11,25	
β	96°10'(1')			95°55'	
V (Å <sup>3</sup> )	3786(2)			3794	
dens. mes.	3,29(3)			3,24	
dens. calc.	3,24				

\* Enregistrement diffractométrique; rad. Cu filtrée au Ni  
\*\* Camera 114,6mm diamètre; rad. FeKα

TABLEAU III

- dispersion nette r > v ;
- angle d'extinction de 25 à 30° par rapport à une trace de clivage assez régulier avec allongement positif sur les sections parallèles au plan des axes optiques.

Des essais qualitatifs à la microsonde électronique ont révélé, en plus de P et Fe, éléments majeurs, de faibles teneurs en Mg et Mn et des traces de Ca.

HUREAULITE : Mn<sub>5</sub> (PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> [PO<sub>3</sub> (OH)]<sub>2</sub> 4H<sub>2</sub>O

Dans les fractures des noyaux de quartz emballés dans les masses d'alluaudite, l'huréaulite se présente en cristaux rose saumon légèrement radiaires. Un diagramme de poudre, en caméra Debye-Scherrer de 114,6mm, analogue à celui de la fiche JCPDS 11-379, permet d'identifier ce mi-

	1	2	3
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	32,52	33,16	34,54
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,11	0,11	0,11
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	38,96	39,74	37,64
FeO	0,43	0,44	0,46
MnO	0,36	0,37	0,39
MgO	0,02	0,02	0,02
CaO	16,81	17,14	17,86
Na <sub>2</sub> O	0,12	0,12	0,13
H <sub>2</sub> O	8,73	8,90	8,85
insol.	2,57	-	-
	100,63	100,00	100,00
Nombres de cations calculés sur la base de 9(PO <sub>4</sub> ).			
(PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup>		9,000	9,000
Al <sup>3+</sup>	0,039		0,037
Fe <sup>3+</sup>	9,597	9,858	8,704
Fe <sup>2+</sup>	0,116		0,111
Mn <sup>2+</sup>	0,096		0,092
Mg <sup>2+</sup>	0,010		0,009
Ca <sup>2+</sup>	5,897	5,974	5,877
Na <sup>+</sup>	0,077		0,074
H <sup>+</sup>	19,041		18,148

- 1.- Analyste: J.-M. Speetjens
- 2.- Recalculée en déduisant l'insoluble;
- 3.- Recalculée en déduisant en plus 4% de goethite, soit 3,59% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et 0,41% H<sub>2</sub>O.

TABLEAU IV

néral sans ambiguïté. En frottis, l'huréaulite est biaxe, négative avec un 2V de l'ordre de 70° ; son pléochroïsme est net : X = orange pâle, Y = rose jaunâtre et Z = rouge orangé. Nm = 1,654 ± 0,002 (pour λNa). Qualitativement, un spectrogramme de fluorescence X montre, en plus de l'abondance de Mn, la présence de Fe. Parfois accompagnée de mitridatite ou de messe-lite, l'huréaulite s'associe très intimement à la jahnsite jaune mais les échantillons examinés ne permettent pas de décider si la jahnsite se transforme en huréaulite ou inversement.

ROCKBRIDGEITE : (Fe<sup>2+</sup>, Mn)Fe<sup>3+</sup>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>(OH)<sub>5</sub>

Dans des fissures recoupant l'apatite rougeâtre ou l'alluaudite, la rockbridgeite forme quelques rares rosettes fibroradiaires vert foncé, d'un diamètre de 3 à 5 mm. Le signe optique est positif et l'indice moyen, proche de 1,875 (+/-0,005). Le radiogramme de poudre est comparable à celui de la rockbridgeite de Rockbridge County (fiche

JCPDS 8-159). Plus particulièrement les valeurs  $d(270) = 2.268 \text{ \AA}$  et  $d(252) = 1.962 \text{ \AA}$  montrent qu'il s'agirait d'un terme plus riche en fer ferreux qu'en manganèse (Fransolet, 1975b). Une analyse semi-quantitative à la microsonde électronique sur une esquille polie confirme cette déduction; les résultats donnent approximativement 45 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 3 %  $\text{MnO}$  et 1 %  $\text{MgO}$  (1).

**JAHNSITE** :  $\text{CaMnMg}_2\text{Fe}_2^{3+}(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

La jahnsite se présente sous deux aspects relativement différents. Dans les fissures du quartz baignant dans l'alluaudite et l'apatite rougeâtre, on remarque d'abord des encroûtements délicats, un peu pulvérulents et de teinte jaune-brun à jaune clair. Ils semblent provenir d'une altération de placages mieux cristallisés, bruns ou miel, montrant, sous la loupe binoculaire, un enchevêtrement d'individus aux faces brillantes et parfois finement striées. Les minéraux associés sont l'huréalite rose et la messelite blanche. Ensuite, mêlés à la tavorite et la barbosalite qui remplacent progressivement la triphylite magnésienne, des grains brun tabac à miel peuvent apparaître, à la faveur de fissures ou de petites géodes sous forme de cristaux ne dépassant pas 0.5 mm. Un examen au microscope électronique à balayage illustre la morphologie assez complexe de ces cristaux sur les-

(1) Les résultats semi-quantitatifs sont obtenus à l'aide des standards suivant: wollastonite,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  et graffonite (pour Mn). Les essais ont été effectués par M.M. Autefage (Univ. de Toulouse).

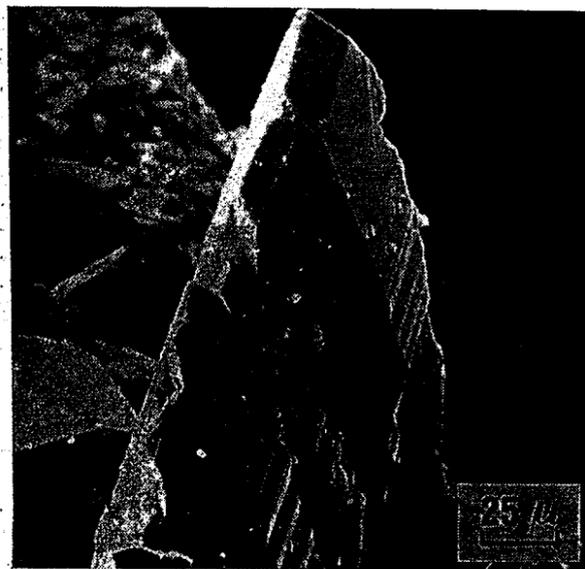


FIG. 2 a) Cristal de Jahnsite observé au microscope électronique à balayage.  
b) assemblage de cristaux de Jahnsite montrant les cannelures parallèles à [010].

quels on distingue nettement les cannelures caractéristiques, parallèles à [010] (Moore, 1974) (fig. 2a et 2b).

Le radiogramme de la jahnsite en cristaux bruns, identique à celui obtenu sur les encroûtements jaunes, correspond pratiquement aux données publiées par Moore (1974) sur l'espèce-type provenant de la « Tip Top Pegmatite », South Dakota. Une comparaison entre les propriétés optiques de ces deux minéraux est consignée dans le tableau V. L'examen en lames minces montre encore un 2V variant entre 30 et 70°, ainsi que des macles polysynthétiques fréquentes qui seraient parallèles à (001) d'après l'analyse structurale de Moore & Araki (1974). Qualitativement, la microsonde électronique fait apparaître la présence de Ca, Mg, Mn, Fe et P, mais les premiers essais d'analyses chimiques quantitatives ont révélé, dans le cas des cristaux bruns associés à la tavorite et à la barbosalite, une forte hétérogénéité d'un échantillon à l'autre. Les résultats préliminaires ne permettent pas d'établir actuellement une formule cristallographique satisfaisante. Fontan (1978) a également remarqué de fortes variations dans la composition chimique de la jahnsite des pegmatites de Sidi-bou-Othmane.

**WHITLOCKITE** :  $\text{Ca}_{18}\text{Mg}_9\text{H}_2(\text{PO}_4)_{14}$

La whitlockite forme des encroûtements blancs, tapissant les fissures du quartz et constitués de minuscules rhomboédres très nets et transparents. L'examen au microscope électronique à balayage révèle une morphologie simple (fig. 3a et 3b),

contrairement aux cristaux de la pegmatite de Palermo, New Hampshire, décrits par Frondel (1949). Même en l'absence de mesures goniométriques, on est tenté d'y reconnaître la forme (0112), fréquente d'après les observations de cet auteur. La mesure des indices de réfraction a donné, pour la longueur d'onde du sodium,  $n_g = 1.624$  et  $n_p = 1.618$  à  $\pm 0.001$ . Ces propriétés optiques sont pratiquement celles mesurées par Fontan (1978) sur la whitlockite des pegmatites de Sidi-bou-Othmane, qui ne contient pas de Mg. Dans le cas présent, les dosages semi-quantitatifs à la microsonde, réalisés sur une face bien plane d'un cristal isolé, fournissent approximativement 50 %  $\text{CaO}$ , 5 %  $\text{MgO}$  et 1 %  $\text{MnO}$ . Fe n'a pas été détecté. En chambre Debye-Scherrer de 114.6 mm de diamètre, on obtient un radiogramme de poudre identique à celui de la whitlockite de Palermo (fiche JCPDS 13-404).

**MESSELITE** :  $\text{Ca}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn})(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Egalement développée à la faveur des fissures des noyaux de quartz, mais moins fréquente que la whitlockite, la messelite s'observe difficilement et constitue une espèce nouvelle pour les pegmatites marocaines (Fransolet, 1974; Fontan, 1978). Ce minéral se caractérise par un éclat plus perlé que celui du quartz et par une structure foliée à faiblement fibreuse. L'examen par diffraction des rayons X fournit un diagramme de poudre identique à ceux de la fairfieldite de Mangualde, Portugal (Fransolet, 1975b) et de Buckfield, Maine, U.S.A. (fiche JCPDS 10-390). Il présente de sen-

	Angarf-Sud	Tip Top pegmatite (Moore, 1974)
$n_g$	1,666(2)	1,670(3)
$n_m$	1,654(2)	1,658(3)
$n_p$	1,635(2)	1,640(3)
2V calc.	(-) 76°	
dispersion	forte r > v	
pléochroïsme		
Z	incolors à faiblement jaunâtre	jaune verdâtre
Y	brun à rose saumon	brun pourpre foncé
X	jaune	pourpre pâle

sibles différences avec le diagramme de poudre de la messelite de Palermo, New Hampshire, U.S.A. (fiche JCPDS 10-389) et ne permet pas de confusion avec la collinsite, riche en Mg, récemment analysée par Bridge & Pryce (1974). Pour assurer davantage la détermination de la messelite, minéral du groupe de la fairfieldite, une analyse qualitative à la microsonde, sur des esquilles non polies, révèle Ca et Fe comme éléments majeurs et Mn comme élément mineur. Mg n'est pas détecté.

**MONTGOMERYITE** :  $\text{Ca}_4\text{MgAl}_4(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

Plus rare encore que la whitlockite ou la messelite, la montgomeryite est également une espèce nouvelle pour le Maroc. Elle forme quelques gerbes ou rosettes minuscules de 1 à 2 mm de diamètre et se distingue par sa couleur jaune très pâle

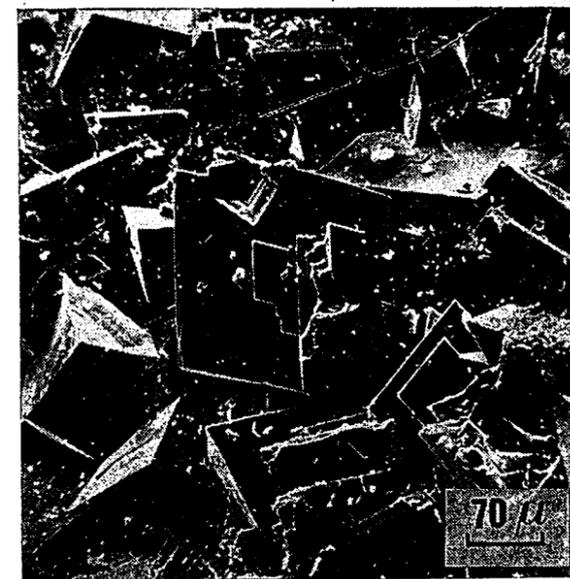


FIG. 3 a) Encroûtement de whitlockite observé au microscope électronique à balayage.  
b) Détail d'un rhomboédre de whitlockite — même échantillon.

avec une légère nuance verte, proche de celle de la tavorite. On l'observe plutôt dans les fissures de l'apatite rougeâtre, en relation avec des plages de muscovite envahies par la scorzalite. La montgomeryite est principalement associée à la whitlockite, la mitridatite en globules bruns et la messelite en lamelles blanches. Le radiogramme de poudre est en accord avec celui de la fiche JCPDS 13-463. Sur une écharde non polie, l'analyse à la microsonde donne les résultats semi-quantitatifs suivant : 25 % CaO, 5 % MgO, 8 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et 20 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Cette teneur en Fe, particulièrement élevée, vis-à-vis du faible contenu en Al, fait penser à une substitution de Al par Fe assez importante dans la montgomeryite d'Angarf-Sud. Toutefois, le matériel actuellement disponible, très rare, interdit toute investigation plus détaillée de ce problème certainement intéressant.

#### PHOSPHOSIDERITE : FePO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O

Malgré la richesse en fer des phosphates identifiés dans la pegmatite, la phosphosidérinite, déterminée par diffraction des rayons X, est très rare. Elle a été uniquement observée en minuscules cristaux bleu pâle à bleu vert dans les cavités de la lipscombite où elle accompagne les rosettes de mitridatite à éclat bronzé.

#### CONCLUSIONS

A ce jour, seize espèces minérales ont été identifiées parmi les phosphates de la pegmatite d'Angarf-Sud. Dans un ordre paragénetique schématique, on note d'abord la *triphylite magnésienne*, qui constitue un minéral typomorphe, et la *scorzalite*. Une *alluaudite*, riche en calcium, très abondante, remplace la triphylite et se transforme localement

en *mélonojosephite*. Cette association est progressivement remplacée à son tour par une *fluorapatite* cryptogrenue de couleur gris rougeâtre à blanchâtre. La triphylite est également envahie par un réseau de plus en plus serré de veinules de *barbosolite*, *jahnsite* et *tavorite*. La présence d'*huréaulite* n'y a pas été mise en évidence. La *lipscombite*, la *mitridatite*, ainsi que la *barbosolite*, forment des veinules ou des mouchetures dans l'alluaudite et, parfois, des concentrations largement développées, en particulier dans l'association à l'est du noyau de quartz. A la faveur de ce phénomène, deux analyses chimiques par voie humide ont pu être réalisées sur la lipscombite et la mitridatite. Finalement, dans les fissures ou les petites cavités, on observe les minéraux tardifs : la *rockbridgeite*, l'*huréaulite* rose, la *jahnsite* en encroûtements jaunes, la *whitlockite*, la *messelite*, la *montgomeryite* et la *phosphosidérinite*.

Ces phases, très accessoires et peu abondantes vis-à-vis de la barbosolite, de la lipscombite et de la mitridatite, représentent probablement des réajustements mineurs et très tardifs dans l'évolution des phosphates de la pegmatite d'Angarf-Sud.

Comme le souligne Fontan (1978), l'établissement de déterminations aussi précises et aussi complètes que possible des espèces minérales est un travail long et délicat. Mais il permet certainement des comparaisons valables et fécondes entre différents gisements pegmatitiques. C'est par là que passe nécessairement une distinction entre les conditions hydrothermales et celles d'ordre climatique, par exemple, qui président à l'élaboration purement supergène de certains phosphates, et la recherche de critères permettant de dégager les phases secondaires mais encore significatives dans l'évolution génétique ou géochimique des associations de phosphates des pegmatites.

#### REMERCIEMENTS

L'auteur adresse ses vifs remerciements à M. Pierrot, sous-directeur du Service géologique national (France) ainsi qu'à MM. Mantienne (B.R.G.M.) et Sainfeld (Ecole Nationale Supérieure des Mines, Paris) qui lui ont soumis une collection importante de phosphates provenant de la pegmatite d'Angarf-Sud. La campagne de prospection dans la plaine des Zenaga fut possible grâce à la collaboration du Ministère de l'Education Nationale de Belgique et grâce à la collaboration du Service d'Etudes des Gîtes Minéraux de la Direction de la Géologie du Maroc, Rabat. Il exprime sa reconnaissance à M. Autefage (Université de Toulouse) qui a réalisé les mesures à la microsonde électronique, à M. Lhôte (Université de Liège) pour son aide précieuse au microscope électronique à balayage et à MM. Permingeat et Fontan (Université de Toulouse) qui ont bien voulu relire le manuscrit.

#### REFERENCES

- BEHIER J. (1960) : Contribution à la minéralogie de Madagascar. *Ann. géol. Madagascar*, fasc. XXIX, 78 p.
- BOULADON J., JOURAVSKY G. & MORIN PH. (1950) : Etude préliminaire des pegmatites à muscovite et béryl du sud de la plaine de Tazenakht. *Notes & M. Serv. géol. Maroc*, 3, no 76, 207-235.
- BRIDGE P.J. & PRYCE M.W. (1974) : Magnesian collinsite from Milgun Station, Western Australia. *Mineral. Mag.*, 30, 577-579.
- CECH F., PADERA K. & POVONDRA P. (1961) : Lipscombite from pegmatites at Otov near Domazlice (Bohemia, Czechoslovakia). *Acta Univ. Carol. (Prague), Geol.* no 3, 171-190.
- CECH F., JOHAN Z. & POVONDRA P. (1972) : La barbosolite de la pegmatite d'Angarf-Sud, Plaine de Tazenakht, Anti-Atlas, Maroc. *Notes Serv. géol. Maroc*, 32, no 241, 121-128.
- CHUKHROV F.V., MOLEVA Y.A. & ERMILOVA L.P. (1958) : New data concerning mitridatite. *Akad. Nauk. S.S.S.R. Sér. Géol.* no 8, 16-26 (en russe).
- EVANS H.T., APPLEMAN D.E. & HANDWERKER D.S. (1963) : The least squares refinement of crystal unit cells with powder diffraction data by an automatic computer indexing method. *Amer. Crystallogr. Assoc. Meeting*, (Abstr.) 3, 42-43.
- FONTAN F. (1978) : Quelques phosphates mineurs des pegmatites de Sidi-bou-Othmane (Jebilet, Maroc). *Notes Serv. géol. Maroc*, 40, no 275, 249-255.
- FRANSOLET A.-M. (1973) : La mélonojosephite CaFe<sup>2+</sup>Fe<sup>3+</sup>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>(OH), une nouvelle espèce minérale. *Bull. Soc. fr. Minéral. Cristallogr.* 96, 135-142.
- FRANSOLET A.-M. (1974) : Les phosphates lithiques des pegmatites de la plaine des Zenaga (Anti-Atlas, Maroc). *Notes Serv. géol. Maroc*, 35, no 255, 135-143.
- FRANSOLET A.-M. (1975a) : On scorzalite from the Angarf-Sud pegmatite, Zenaga Plain, Anti-Atlas, Morocco. *Fortschr. Miner.*, 52 (Spec. Issue, IMA-papers 9th Meeting Berlin 1974), 285-291.
- FRANSOLET A.-M. (1975b) : Etude minéralogique et pétrologique des phosphates des pegmatites granitiques. Thèse de doctorat, Institut de Minéralogie, Univ. Liège (inédit).
- FRONDEL C. (1949) : Wolfeite, xanthoxenite and whitlockite from the Palermo mine, New Hampshire. *Amer. Mineral.*, 34, 692-705.
- KATZ L. & LIPSCOMB W.N. (1951) : The crystal structure of iron lazulite, a synthetic mineral related to lazulite. *Acta Cryst.*, Danemark, 4, 345-348.
- LINDBERG M.L. (1962) : Manganoan lipscombite from the Sapucaia pegmatite mine, Minas Gerais, Brazil. First occurrence of lipscombite in nature. *Amer. Mineral.*, 47, 353-359.
- MOORE P.B. (1970) : Crystal chemistry of the basic iron phosphates. *Amer. Mineral.*, 55, 135-169.
- MOORE P.B. (1974) : I. Jahnsite, segelerite, and robertsite, three new transition metal phosphates species. II. Redefinition of overite, an isotype of segelerite. III. Isotypy of robertsite, mitridatite, and arseniosidérinite. *Amer. Mineral.*, 59, 48-59.
- MOORE P.B. & ARAKI T. (1974) : Jahnsite CaMn<sup>2+</sup>Mg<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>3</sub>Fe<sup>3+</sup>(OH)<sub>2</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>4</sub> : a novel stereoisomerism of ligands about octahedral corner-chains. *Amer. Mineral.*, 59, 964-973.
- MOORE P.B. & ARAKI T. (1977) : Mitridatite, Ca<sub>6</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>8</sub>[Fe<sup>3+</sup> O<sub>6</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>11</sub>]. 3H<sub>2</sub>O. A noteworthy octahedral sheet structure. *Inorganic Chem.*, 16, no 5, 1096-1106.
- MORIN PH. (1952) : Mica et béryl. Chap. XVII, pp. 337-346. In : Géologie des gîtes minéraux marocains. *Notes & M. Serv. géol. Maroc*, no 87.
- PERMINGEAT F. (1955) : Sur les niobo-tantalates de l'Anti-Atlas, Maroc : tapiolite et columbite. *Bull. Soc. fr. Minéral. Cristallogr.* 78, 123-156.

Manuscrit reçu le 24 Septembre 1981

#### LISTE DES FIGURES

- Fig. 1a. — Globule de mitridatite observé au microscope électronique à balayage ..... 342
- Fig. 1b. — Détail de la structure en feuillets de la mitridatite. Même échantillon ..... 342
- Fig. 2a. — Cristal de jahnsite observé au microscope électronique à balayage ..... 344
- Fig. 2b. — Assemblage de cristaux de jahnsite montrant les cannelures parallèles à (010) ..... 344
- Fig. 3a. — Encroûtement de whitlockite observé au microscope électronique à balayage ..... 345
- Fig. 3b. — Détail d'un rhomboèdre de whitlockite. Même échantillon ..... 345