

La jouravskite, une nouvelle espèce minérale ⁽¹⁾

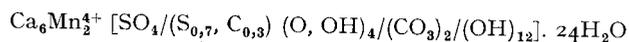
PAR C. GAUDEFROY,

Division de la Géologie du Maroc, Rabat

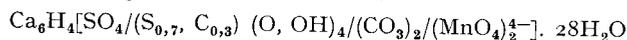
ET F. PERMINGEAT,

Bureau de Recherches géologiques et minières, Paris.

Résumé. — Hexagonale $P6_3$ ou $P6_3/m$; $a = 11,06 \pm 0,03$; $c = 10,50 \pm 0,03$ Å; $z = 1$. Apparentée à la thaumasite. Principales raies du diagramme de poudre (très voisin de celui de la thaumasite) : 9,6 FFF, 5,53 F, 3,81 F, 3,42 mF, 2,73 mF, 2,52 mF, 2,17 mF. Se présente en mouches jaunes à orangé verdâtre de 1 à 5 mm, constituées de grains de quelques dixièmes de mm, présentant 3 bons clivages m (10.0) mais très rarement des formes propres avec m et b^2 (10.2). Fragile. Dureté 2 1/2; $d_{mes} = 1,95 \pm 0,01$; $d_x = 1,93 \pm 0,02$. Transparente et colorée en jaune vif, non pléochroïque. Teintes de polarisation très anormales : il n'apparaît que du vert, du vert-jaunâtre et du roux jusque dans les ordres supérieurs. Uniaxe négative. $n_o = 1,556$; $n_e = 1,540 (\pm 0,002)$. L'analyse chimique sur un échantillon de 1 g environ, soigneusement trié et contrôlé, conduit à la formule :



ou peut-être, par analogie avec la thaumasite :



La composition chimique peut probablement varier quelque peu d'un échantillon à l'autre. Les courbes d'analyse thermique différentielle et thermopondérale montrent une déshydratation brutale dès 100° puis diverses transformations. La jouravskite a été trouvée dans le filon 2 du gîte de manganèse de Tachgagalt (Anti-Atlas, Maroc), associée à : calcite, manganite, marokite, gaudefroyite et barytine. Les échantillons-types sont conservés à Paris. Le nom est proposé en mémoire de G. Jouravsky (1896-1964).

I. — HISTORIQUE ET ÉTYMOLOGIE.

Le minéral a été observé pour la première fois en 1962, dans des échantillons du minerai de manganèse de Tachgagalt (Anti-Atlas, Maroc), au cours de l'étude de la marokite (Gaudefroy et *al.*, 1963) et de la gaudefroyite (Jouravsky et Permingeat, 1964).

Nous proposons de le désigner par le nouveau nom de *jouravskite* en mémoire de Georges Jouravsky (1896-1964), géologue en chef à la Division de la Géologie du Maroc, qui consacra sa

carrière à la géologie des gîtes minéraux du Maroc. (Il étudia plus spécialement les gîtes de manganèse et ceux de cobalt et nickel.)

2. — CARACTÈRES MACROSCOPIQUES.

La jouravskite se rencontre en mouches de couleur jaune verdâtre à orangé verdâtre, isolées dans un fond noir de minéraux de manganèse. Ces mouches, dont les dimensions sont généralement de l'ordre de 1 à 5 millimètres, ont une texture grenue ; elles sont formées de grains de jouravskite ayant le plus souvent quelques dixièmes de millimètre de diamètre, étroitement associés à de la calcite. Parfois la jouravskite est

(1) La jouravskite a été approuvée par le Comité français de nomenclature (séance du 11 mars 1965), puis par la Commission internationale des nouveaux Noms et des Noms de Minéraux par 17 voix contre 0 (vote du 11 mai 1965).

relativement abondante ; exceptionnellement elle constitue, très localement, jusqu'à 10 % environ du minerai, mais elle reste toujours en grains fins, n'atteignant que très rarement 2 à 3 mm pour la plus grande dimension.

gonal. Les lamelles de clivage sont striées perpendiculairement à l'axe sénéaire par des lignes

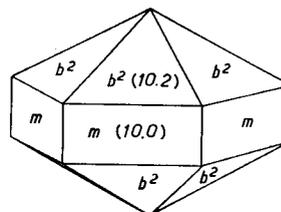


FIG. 1. — Cristal de jouravskite de Tachgagalt.

3. — CARACTÈRES CRISTALLOGRAPHIQUES.

a) Formes cristallines.

Les grains de jouravskite présentent trois bons clivages *m* (10.0) disposés en prisme hexa-

TABLEAU I.

Diagrammes de poudre de la jouravskite et de la thaumasite.

Méthode Debye-Scherrer ; radiation FeK α filtrée ; chambre de 240 mm. Intensités I : FFF = très très forte, FF = très forte, F = forte, mF = moyenne forte, m = moyenne, mf = moyenne faible, f = faible, ff = très faible, fff = très très faible.
d en Å, *d* calculé (1) avec *a* = 11,06, *c* = 10,50 Å pour la jouravskite.

JOURAVSKITE DE TACHGAGALT				THAUMASITE (Paterson, New Jersey)	
I	<i>d</i> _{mes.}	<i>d</i> _{calc.}	hkl.l	I	<i>d</i>
FFF	9,6	9,58	10.0	FFF	9,6
ff	7,1	7,07	10.1	f	7,0
F	5,53	5,53	11.0	FF	5,52
fff	5,26	5,25	00.2		
f	4,89	4,89	11.1	mf	4,87
f	4,61	4,60	10.2	mF	4,58
fff	4,35	4,36	20.1	fff	4,35
F	3,81	3,81	11.2	FF	3,78
m	3,54	3,54	20.2	mF	3,52
mF	3,42	3,42	21.1	F	3,41
mf	3,19	3,19	30.0	mF	3,19
fff	3,03	3,05	30.1		
fff	2,96	2,96	11.3	fff	2,93
mF	2,73	2,73	30.2	F	2,71
f	2,64	2,63	00.4	f	2,60
f	2,57	2,58	31.1	f	2,57
mF	2,52	2,53	10.4	F	2,50
f	2,37	2,37	11.4	f	2,36
		2,30	20.4	fff	2,28
		2,20	32.0	ff	2,19
mF	2,17	2,17	40.2	F	2,16
ff	2,15	2,15	32.1	fff	2,14
f	2,12	2,12	21.4	mF	2,11
ff	2,02	2,03	30.4	f	2,02
fff	1,97	1,97	40.3	f	1,94
mf	1,91	1,91	50.0	mF	1,91
fff	1,87	1,87	13.4		
ff	1,82	1,82	12.5	mf	1,81
		1,78	42.1	fff	1,78
		1,74	33.2	f	1,73
f	1,64	1,64	14.4	mf	1,63
ff	1,59	1,59	60.0	ff	1,59
fff	1,55	1,55	50.4	mf	1,54
				f	1,47

profondes qui ne sont pas des clivages. Quelques très rares et très petits cristaux ont été rencontrés ; ils présentent (*fig. 1*) un prisme hexagonal m (10.0) court et sont terminés par deux pyramides hexagonales b^2 (10.2). Les faces pyramidales b^2 sont peu réfléchissantes et ne permettent pas d'obtenir de bonnes mesures goniométriques ; l'angle mesuré entre les faces m et b^2 est $61^\circ \pm 30'$ (à comparer avec un angle calculé de $61^\circ 16'$ pour $c/a = 0,9490$).

b) Radiocristallographie.

Des diagrammes de Weissenberg ⁽¹⁾ ont confirmé la symétrie hexagonale et indiqué comme groupes spatiaux possibles $P6_3$ ou $P6_3/m$ et les valeurs de paramètres suivantes : $a = 11,06 \pm 0,03$, $c = 10,50 \pm 0,03$ Å d'où :

$$c/a = 0,949 \pm 0,005 \text{ et } V = 1112 \pm 10 \text{ \AA}^3.$$

Le diagramme de poudre de la jouravskite, dont les 29 raies observées ont été indicées, est donné dans le tableau 1, en parallèle avec un diagramme de thaumasite de Paterson (New Jersey) obtenu dans les mêmes conditions opératoires. On constate que ces deux diagrammes sont extrêmement voisins (*voir plus loin, parag. 9*). Ce diagramme de poudre de la jouravskite a été contrôlé par un diagramme obtenu avec un double monochromateur en rayonnement $\text{CuK}\alpha_1$ (chambre de 180 mm, méthode Seeman-Bohlin).

4. — CARACTÈRES PHYSIQUES.

Des mesures de densité ont été effectuées, d'une part par pesées avec immersion dans CCl_4 à 20° , et d'autre part par immersion dans des mélanges de bromoforme et d'alcool éthylique, de densité connue. Cinq mesures sur des échantillons différents (dont l'échantillon analysé), tous très purs, ont donné : $d_{mes.} = 1,95 \pm 0,01$. Les multiples séparations effectuées par liqueurs denses ont encore confirmé cette valeur. En outre, étant donnée la fréquence des inclusions d'oxydes de manganèse, il a été spécialement observé qu'aucun grain, si pur soit-il, ne flottait dans une liqueur de densité 1,93 ; on peut donc, semble-t-il, affirmer que la densité est en tout

cas supérieure à 1,93. Cette observation est importante pour l'interprétation de l'analyse chimique (*voir plus loin parag. 6 c*).

La jouravskite est fragile ; la cassure fait apparaître les 3 bons clivages prismatiques. Sa dureté Mohs est $2 \frac{1}{2}$.

5. — CARACTÈRES OPTIQUES.

Les agrégats et les amas de grains de jouravskite ont une couleur orangé verdâtre (orangé n° 216 du Code Séguy). Si l'on examine les grains isolément on s'aperçoit que leur couleur normale est plus nettement jaune verdâtre (jaune n° 263 du code Séguy) mais que certains d'entre eux ont une extrémité passant progressivement au rouge sang bien que la transparence soit conservée et que les clivages se prolongent sans discontinuité.

En plaques minces la jouravskite est transparente, colorée en jaune vif. Le pléochroïsme est à peine perceptible. Entre nicols croisés, les teintes de polarisation sont très anormales et caractéristiques : au lieu des teintes de l'échelle de Newton, le 1^{er} ordre ne laisse voir que des gris jaunâtre et du roux ; le 2^e ordre du vert, du vert jaunâtre et du roux ; dans les ordres supérieurs on observe alternativement du vert et du roux, que nous avons pu suivre jusqu'au 17^e ordre (des sections favorables permettraient certainement d'aller bien au-delà).

Les extinctions sont nettes ; l'une d'elles se produit parallèlement au clivage.

La jouravskite est uniaxe négative avec $n_o = 1,556 \pm 0,02$, $n_e = 1,540 \pm 0,002$.

A partir de la composition chimique, de la densité et des énergies spécifiques de réfraction données par E. S. Larsen et H. Berman (1934), on calcule, en comptant le manganèse comme trivalent, un indice de réfraction moyen $n = 1,542$ comparable à la moyenne $(2n_o + n_e)/3 = 1,551$ des indices mesurés.

On doit remarquer que l'on rencontre parfois, dans des gerbes de cristaux de gaudefroyite, des mouches isolées d'un minéral jaune soufre pâle (jaune n° 289 du code Séguy) ayant le même diagramme de poudre et les mêmes propriétés optiques que la jouravskite, mais des indices de réfraction nettement plus faibles : $n_o = 1,544$, $n_e = 1,528$ (à $\pm 0,002$). Ceci laisse à penser qu'il existe, dans le minerai de Tachgagalt, plusieurs termes d'une même série isomorphe et que la composition chimique de la jouravskite est sujette à des variations.

(1) Laboratoire de cristallographie du CNRS à Bellevue, où l'étude des structures de la jouravskite et de l'ettringite est en cours, sous la direction de J. Protas.

6. — CARACTÈRES CHIMIQUES.

a) Essais qualitatifs.

La jouravskite chauffée dans le tube fermé dégage beaucoup d'eau et noircit. Elle est soluble à froid : dans HCl avec dégagement très net de chlore et de gaz carbonique, dans l'acide acétique avec dégagement de gaz carbonique. L'acide nitrique donne un dégagement de gaz carbonique qui, vif au début, ralentit progressivement tandis que le minéral brunit, par suite d'un dépôt de bioxyde de manganèse. Un essai à la laque alizarine-zirconium n'a révélé que des traces de fluor et un essai pour le bore a été négatif. Enfin une analyse qualitative complète à la microsonde électronique n'a décelé que Ca, Mn et S comme éléments constituants de nombre atomique supérieur à 11.

En résumé les essais qualitatifs ont mis en évidence les constituants suivants : Ca, Mn, S, CO₂, H₂O, et indiqué que le manganèse se trouve à une valence supérieure à 2.

b) Essais quantitatifs.

1° Choix de l'échantillon pour l'analyse.

Un morceau de minerai très riche en jouravskite a été sélectionné. Une plaque mince et une section polie ont permis de déterminer les minéraux qui accompagnent la jouravskite : calcite étroitement associée, abondante; manganite, abondante; hausmannite et marokite, fréquentes; gaudefroyite et barytine, assez rares; polianite secondaire, rare. Un broyage ménagé a permis d'obtenir une fraction passant au tamis de 0,1 mm, dans laquelle les grains de jouravskite sont entièrement libérés des autres minéraux et en particulier de la calcite. Grâce à sa très faible densité (1,95) la jouravskite a pu être isolée, d'abord des minéraux denses, puis de la calcite, par des séparations dans des mélanges de bromoforme et d'alcool de densité progressivement décroissante : 2,7-2,2 et 1,98.

Il a été ainsi obtenu 1 g environ de jouravskite qui a été utilisé pour l'analyse chimique.

Un contrôle sur frottis a montré que ce concentré ne contenait effectivement que des grains de jouravskite. Mais par contre ceux-ci sont parsemés de très fines inclusions, noires ou brunes, généralement inférieures au 1/1 000 mm, tantôt rares, tantôt abondantes. En outre certains grains montrent des taches irrégulières, ou des

baguettes de couleur brune ou rougeâtre, non pléochroïques, qui sont probablement des pellicules incluses dans des clivages. Ce sont peut-être ces pellicules qui donnent la coloration rouge locale de certains grains, signalée précédemment (parag. 5). La jouravskite elle-même est parfaitement limpide et l'on ne décèle aucune trace d'altération.

Les dimensions infimes des inclusions interdisent toute mesure directe de teneur en impuretés. Mais si on leur attribue la densité de la manganite (4,33) l'écart entre la densité de la jouravskite pure (1,95) et celle des grains les plus denses passant dans le concentré sur liqueur à 1,98 indique une teneur maximale en impuretés de l'ordre de 2,7 %. En admettant une distribution linéaire de zéro à ce maximum des inclusions dans les grains, on arrive à une teneur globale de 1,3 % environ en impuretés, principalement composées de manganite (comme l'a montré l'examen sur section polie).

2° Méthodes de dosage et résultats.

Le tableau 2 donne les résultats de l'analyse effectuée sur la jouravskite triée comme il est indiqué ci-dessus.

Le manganèse a été précipité par l'ammoniac à pH 8 à partir d'une solution chlorhydrique, obtenue avec 100 mg environ du minéral, après oxydation par le brome.

Le précipité repris par HCl a été précipité une deuxième fois dans les mêmes conditions, puis calciné au four pendant 2 heures à 1 000° et pesé sous forme de Mn₃O₄. Outre l'analyse du tableau 2, deux autres essais, sur produit préalablement calciné, ont donné des résultats très voisins. On remarquera encore que la méthode d'analyse, appliquée à un mélange artificiel de composition semblable, a donné un résultat concordant mais plutôt légèrement trop élevé (12,9 au lieu de 12,7 %).

Le calcium a été dosé par l'EDTA en présence de calcéine sur la liqueur, après séparation du manganèse. Trois dosages différents ont donné des résultats à moins de 0,5 % les uns des autres. En outre l'essai sur mélange témoin a retrouvé la teneur à 0,1 % près.

L'ion sulfate a été dosé par néphélométrie de SO₄Ba sur la liqueur, après séparation du manganèse. Un autre dosage a été fait par gravimétrie de SO₄Ba après absorption de Ca et Mn sur résine échangeuse. Quatre dosages par ces deux méthodes ont donné les mêmes résultats à moins de 0,3 % les uns des autres. L'essai sur mélange témoin a retrouvé la teneur à 0,02 % près.

TABLEAU 2.

Analyse de la jouravskite de Tachgagalt.

	1	2	3		4
CaO.....	25,67	6	6	Ca.....	6,01
MnO.....	12,33	2,28	2,08	Mn ⁴⁺	2,09
O.....	2,45	2,00	1,91	O.....	50
SO ₃	10,20	1,68	1,68	S ⁶⁺	1,68
CO ₂	7,45	2,21	2,21	C.....	2,22
H ₂ O.....	41,90	30,50	30,30	H ₂	30,38
					3,90
Total.....	100,00				

1. Analyse par M. Barbelet, labor. B. R. G. M. C'est par pur hasard que le total donne exactement 100 !
2. Rapports moléculaires déduits de l'analyse en prenant 6CaO pour base.
3. Rapports moléculaires après élimination de 1,3 % de manganite MnOOH, considérée comme impureté, avec 6CaO pour base.
4. Nombres d'atomes par maille, calculés sur la base de 50 atomes d'oxygène, après élimination de 1,3 % de manganite.

Le gaz carbonique a été dosé deux fois, sur 20 mg environ de minéral chaque fois, par absorption dans l'eau de baryte après attaque nitrique ; les deux résultats sont concordants.

L'eau a été dosée deux fois par la méthode Penfield, sur 20 mg environ de minéral. On n'a pas essayé de distinguer l'eau adsorbée car le minéral commence à se déshydrater au-dessous de 100°.

L'oxygène libérable a été dosé par l'acide oxalique sur environ 200 mg de minéral.

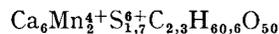
c) Interprétation de la composition chimique.

Le tableau 2 donne les résultats intermédiaires du calcul de l'analyse chimique. En prenant 6 CaO pour base (colonne 2) les rapports moléculaires peuvent être comparés à des rapports entiers simples à condition de considérer la somme SO₃ et CO₂ (1,89 pour 2) et de faire intervenir un excès de manganèse (2,28 pour 2) apporté par des impuretés. L'eau étant très abondante on peut toujours arrondir le chiffre 30,5 sans commettre d'erreur appréciable.

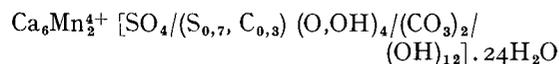
La présence d'impuretés, sous forme principalement de manganite, a été constatée et leur proportion évaluée à 1,3 % (parag. 6 b 1^o, ci-dessus). Après déduction de ces impuretés, on obtient les rapports de la colonne 3 où le chiffre concernant Mn est presque entier (2,08).

On constate que le rapport pour l'oxygène libérable (1,91) est aussi très voisin de 2. En reportant cet oxygène sur le manganèse on obtient donc le bioxyde MnO₂, c'est-à-dire que l'on doit attribuer la valence 4 au manganèse. Cette conclusion, quelque peu inattendue, ne peut guère être mise en doute car le dosage de l'oxygène libérable a été effectué sur une prise relativement très forte ; de plus les attaques par HCl donnent un très net dégagement de chlore (parag. 6 a ci-dessus).

La colonne 4 du tableau 2 donne les nombres d'atomes calculés sur la base de 50 atomes d'oxygène par maille élémentaire. Ceci conduit, en arrondissant à la première décimale, à la formule brute :



que l'on peut écrire :



Cette formule correspond à une masse moléculaire $M = 1293$ qui, avec $Z = 1$ et un volume de maille $V = 1112 \text{ \AA}^3$ (cf. parag. 3 b), donne une densité calculée :

$$d_x = 1,93 \pm 0,02$$

en bon accord, compte tenu des marges d'erreurs, avec la densité mesurée ($1,95 \pm 0,01$) (cf. parag. 4).

On peut considérer que la formule est du type :

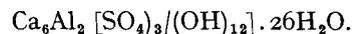


dans lequel environ $1/3 \text{SO}_4^-$ est remplacé par $1/3 \text{CO}_3^-$, avec $1/3 \text{H}_2\text{O}$, sous une forme ou une autre, pour maintenir à 50 le nombre total d'atomes d'oxygène par maille. D. McConnell et al. (1962, 1963) ont discuté la question des remplacements mutuels de SO_4 , SiO_4 , H_4O_4 , CO_3 , BO_3 , en particulier dans la structure de l'ettringite en la comparant à celle de la thaumasite.

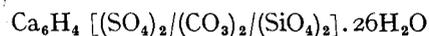
Il est certain que des phénomènes analogues se produisent dans la jouravskite et les variations d'indice de réfraction notées précédemment (*parag. 5 ci-dessus*) confirment ce point de vue. Mais nous ne disposons pas encore de données suffisantes, pour résoudre le problème des remplacements dans la jouravskite.

Cependant il est sans doute nécessaire de faire dès maintenant une remarque sur le nombre d'atomes d'oxygène, cinquante par maille élémentaire, impliqué par les formules ci-dessus. En effet il est hors de doute que la jouravskite a une structure très voisine de celle de la thaumasite (*cf. parag. 9 ci-après*) dont la maille élémentaire ne contient que 48 atomes d'oxygène (Welin, 1956). Un raisonnement calqué sur celui de D. McConnell et al. (1962, 1963) aboutissant à la conclusion que la maille élémentaire de l'ettringite contient, par analogie avec la thaumasite, 4×48 atomes d'oxygène par maille élémentaire, amènerait à admettre que la maille élémentaire de la jouravskite ne doit contenir que 48 atomes d'oxygène. Mais alors la densité calculée ($1,88 \pm 0,02$) serait, quelle que soit la valence attribuée arbitrairement au manganèse, nettement trop faible par rapport à la densité mesurée ($1,95 \pm 0,02$) (*cf. parag. 4 ci-dessus*). Quant aux coefficients à attribuer aux divers éléments dans la formule, ils seraient nettement différents de nombres entiers pour Ca (5,6 et 5,8) et pour (S + C) (3,7 et 3,8) si l'on admettait le manganèse tétravalent ou trivalent, et ne deviendraient assimilables à des entiers que si l'on supposait le manganèse divalent, ce qui est incompatible avec les résultats des essais qualitatifs (*cf. parag. 6 a ci-dessus*) et du dosage de l'oxygène libérable.

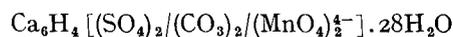
En l'état actuel de nos connaissances sur la jouravskite nous devons donc admettre qu'il y a 50 et non 48 atomes d'oxygène dans la maille élémentaire. Ce nombre de 50 atomes d'oxygène avait d'ailleurs été adopté pour l'ettringite par C. S. Hurlbut et J. L. Baum (1960) proposant la formule :



Si, d'un autre côté, on essaie de paralléliser la formule de la jouravskite à la formule structurale de la thaumasite (*Cf. Strunz, 1957*) :



on est amené à écrire une formule du type :



qui suggère un remplacement possible de $(\text{SiO}_4)^{4-}$ par $(\text{MnO}_4)^{4-}$. Un tel remplacement rendrait parfaitement compte de la présence de manganèse tétravalent ; en outre, en supposant qu'il puisse s'étendre à une partie des positions SO_4^- , il permettrait d'envisager sous un nouvel angle l'excès en Mn que paraissent donner systématiquement les analyses et relèverait légèrement les valeurs calculées de la densité et des indices de réfraction en les rapprochant des valeurs mesurées (*cf. parag. 6 c et 5 ci-dessus*). Il y aurait peut-être même là un moyen d'obtenir une densité calculée acceptable et des coefficients entiers pour la formule avec 48 atomes d'oxygène par maille élémentaire ; mais rien ne nous permet pour le moment d'étayer cette hypothèse.

Les études de structure en cours (1) apporteront de nouvelles données, précieuses pour résoudre les problèmes laissés en suspens. Cependant il faut sans doute s'attendre à voir surgir de nouvelles complications dans la composition chimique ; en particulier l'introduction du bore dans la structure serait d'autant moins surprenante que la jouravskite se trouve associée à un borocarbonate, la gaudefroyite. L'existence d'une série isomorphe est probable, mais ce n'est que lorsqu'on aura trouvé des échantillons en grande quantité que l'on pourra se faire une idée exacte sur les variations de composition chimique.

7. — CARACTÈRES PHYSICO-CHIMIQUES.

La courbe d'analyse thermique différentielle de la fig. 2, obtenue sur 6 mg environ de jouravskite montre :

- un très fort crochet endothermique débutant au-dessous de 100° et culminant vers 180° ; il correspond à une déshydratation du minéral ;
- un crochet exothermique culminant vers 360° ;
- une large mais peu profonde « dépression » endothermique entre 520 et 570° environ ;
- un crochet exothermique culminant vers 690° ;

— une large « dépression » endothermique comportant deux minimums assez nets l'un vers 710° , l'autre vers 770° .

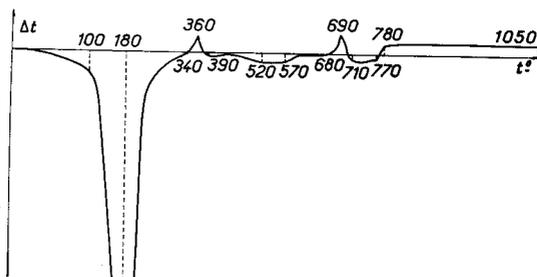


FIG. 2. — Courbe d'analyse thermique différentielle de la jouravskite de Tachgagalt.

La courbe a été obtenue sur 6 mg environ de l'échantillon analysé, avec une vitesse de chauffe de $15^{\circ}/\text{minute}$ et des couples chromel-alumel ; elle a été corrigée d'une légère dérive.

Une deuxième, puis une troisième chauffe du même échantillon n'ont plus donné de phénomène thermique.

La jouravskite paraît donc subir de nombreuses transformations lorsqu'on la chauffe jusqu'à 1050° .

La courbe d'analyse thermopondérale de la fig. 3, obtenue sur 50 mg environ de l'échantillon de jouravskite analysé montre :

— dès 110° une très forte et très brutale perte de poids se ralentissant rapidement à partir de 270° , mais se poursuivant régulièrement jusqu'à 570° , où la perte totale atteint 40,8 %, valeur comparable, compte tenu du fait qu'il n'y a pas un véritable palier, mais un simple point d'in-

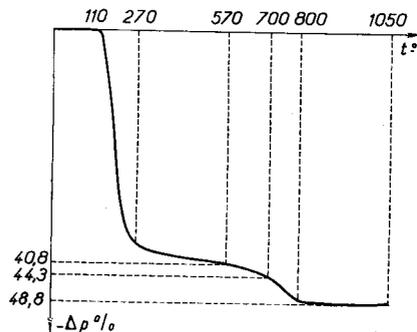


FIG. 3. — Courbe d'analyse thermopondérale de la jouravskite de Tachgagalt obtenue sur 50 mg environ de l'échantillon analysé, avec une vitesse de chauffe d'environ $15^{\circ}/\text{minute}$.

flexion, à la teneur en eau (41,9 %) obtenue à l'analyse chimique.

— à partir de 570° la perte s'accélère à nouveau, d'abord lentement jusqu'à 700° environ, puis très rapidement jusque vers 800° où s'amorce un palier qui se poursuit jusqu'à 1050° . L'accélération de la perte de poids entre 570° et 800° correspond sans doute au départ de CO_2 , mais la courbe ne permet pas de le distinguer nettement de la déshydratation et de contrôler ainsi la teneur en CO_2 donnée par l'analyse.

La perte totale enregistrée 48,8 % est un peu plus faible que la perte au feu (49,84 %) déterminée par calcination au four pendant 2 heures à 1000° d'environ 100 mg du même échantillon trié pour l'analyse. Si l'on compare ces pertes aux valeurs trouvées lors des dosages (cf. tab. 2) on constate une correspondance acceptable avec la somme (49,35 %) des teneurs en H_2O et CO_2 . Mais alors on doit admettre que le manganèse est resté tétravalent, puisqu'une réduction à l'état trivalent impliquerait une perte supplémentaire d'environ 1,3 % d'oxygène, portant ainsi à 50,6 % la perte totale. Malheureusement cette perte d'oxygène, si elle se produit réellement, est trop faible pour apparaître nettement sur la courbe d'analyse thermopondérale parmi les autres pertes beaucoup plus fortes (fig. 3).

Dans l'espoir d'identifier au moins quelques-uns des produits de transformation de la jouravskite, un échantillon de celle-ci a été chauffé jusqu'à 515° puis maintenu 1 heure à cette température ; la perte de poids était alors stabilisée et il n'y a pas eu de reprise de poids ultérieure au cours du refroidissement ou après. Mais le diagramme de poudre du produit n'a pas pu être identifié. De même le diagramme de poudre du produit obtenu par chauffage de la jouravskite à 1050° lors de l'analyse thermopondérale n'a pas pu être identifié ; il ne donne, contrairement à ce qu'on aurait pu attendre, ni les raies du sulfate de calcium, ni celles de la marokite, ni celles de la chaux et de la hausmannite.

Il est donc impossible d'écrire des équations de décomposition de la jouravskite donnant les états successifs d'oxydation du manganèse ; la courbe d'analyse thermique différentielle laisse d'ailleurs à penser que cette décomposition n'est pas simple. Il faut alors abandonner, pour le moment, l'espoir d'expliquer les divergences entre les valeurs des pertes au feu obtenues dans diverses conditions et celles des teneurs en CO_2 , H_2O et oxygène libérable, et de tirer de cette explication des arguments susceptibles d'étayer la formule proposée pour la jouravskite.

8. — CONDITIONS DE GISEMENT.

La jouravskite a été trouvée dans les haldes du filon 2 de Tachgagalt (Anti-Atlas, Maroc), qui a déjà fourni deux nouvelles espèces minérales : la marokite (Gaufrey et *al.*, 1963) et la gaufreyite (Jouravsky et *al.*, 1964). Pour la description du gisement on se reportera aux deux notes citées ici en référence.

La jouravskite forme souvent des associations pseudo-myrmeckitiques avec la calcite ; elle est aussi associée très étroitement à de la manganite et s'accompagne de hausmannite, de marokite, de gaufreyite, de barytine et de très petites quantités d'autres minéraux dont l'étude se poursuit. Cet ensemble constitue la paragenèse à marokite dont l'origine volcanique se précise au fur et à mesure que progresse l'étude des minéraux. Il est à noter que la thaumasite et l'ettringite, auxquelles la jouravskite est apparentée, se rencontrent aussi principalement dans des roches volcaniques : ces trois minéraux proviennent probablement de dépôts de fumerolles ou de l'action de vapeurs volcaniques imprégnant les roches.

9. — RAPPORT
AVEC LES AUTRES ESPÈCES MINÉRALES
ET LES PRODUITS SYNTHÉTIQUES.

Les diagrammes de poudre de la jouravskite et de la thaumasite donnés dans le tableau 1

sont beaucoup trop proches pour qu'il n'y ait pas une étroite parenté structurale entre les deux espèces minérales. Le *tableau 3* met en évidence les similitudes : groupe spatial, paramètres cristallographiques, densités, indices de réfraction.

Les courbes d'analyses thermiques différentielles et thermopondérales sont aussi analogues. Les compositions chimiques ont déjà été comparées en discutant la formule de la jouravskite (*cf. parag. 6 c*) ; elles diffèrent essentiellement par la présence de manganèse et l'absence de silice dans la jouravskite, alors qu'inversement la thaumasite contient de la silice et pas de manganèse.

D. McConnell et J. Murdoch (1962) ont insisté sur les relations entre l'ettringite et la thaumasite. Le diagramme de poudre de la jouravskite diffère beaucoup plus de celui de l'ettringite que de celui de la thaumasite, et les autres propriétés confirment une parenté plus étroite entre jouravskite et thaumasite, qu'entre l'un ou l'autre de ces minéraux et l'ettringite.

La jouravskite paraît se distinguer nettement, tant par son diagramme de poudre que par sa composition chimique, de toutes les autres espèces minérales.

Il n'a été trouvé dans la littérature aucun produit synthétique correspondant à la jouravskite. Quelques essais de synthèse, en solution aqueuse, à froid et à l'ébullition, ont été effectués sans succès.

TABLEAU 3.

Comparaison entre la jouravskite et la thaumasite.

Les données sur la thaumasite sont empruntées à D. Mc Connell et J. Murdoch (1962) et à H. Strunz (1957).

	JOURAVSKITE	THAUMASITE
Groupe spatial.....	P6 ₃ -P6 ₃ /m	P6 ₃
<i>a</i>	11,06	10,92
<i>c</i>	10,50	10,31
Densité.....	1,95	1,84 -1,91
<i>n</i> ₀	1,556	1,500-1,507
<i>n</i> _e	1,540	1,464-1,468
Composition chimique :		
Ca, SO ₄ , CO ₃ , H ₂ O.....	présents	présents
Mn.....	présent	absent
SiO ₂	absent	présent

10. — CONSERVATION DES ÉCHANTILLONS TYPE.

Les échantillons type, fragments d'un même bloc très riche en jouravskite qui a fourni le matériel utilisé dans la présente description, sont conservés à la collection de minéralogie de l'École nationale supérieure des Mines de Paris. Ils contiennent en tout quelques grammes de jouravskite. Le gisement-type de Tachgagalt a en outre déjà fourni de nombreux échantillons contenant des traces très dispersées de jouravskite.

*
*
*

REMERCIEMENTS.

Nous tenons à remercier tout spécialement M. J. Protas du C. N. R. S., qui a déterminé les paramètres et continue l'étude de la structure; M^{mes} Y. Laurent et L. Nagy, MM. M. Barbelet, P. Picot, R. Pierrot et H. J. Schubnel du B. R. G. M., qui nous ont aidé à préciser certaines propriétés du minéral; les D^{rs} M. Fleischer de l'U. S. Geological Survey et D. McConnell de l'Ohio State University, qui nous ont fourni de précieux renseignements; MM. J. Agard et J. Diétrich, du Service d'Études des gites minéraux du Maroc, à qui nous devons d'avoir pu disposer d'une quantité suffisante du nouveau minéral.

BIBLIOGRAPHIE

- GAUDEFROY, C., JOURAVSKY, G. et PERMINGEAT, F. (1963). — *Bull. Soc. franç. Minér. Crist.*, 86, 359.
- HEY, M. H. (1955 et 1963). — *Chemical index of minerals*, 2^e éd. et *Appendix*.
- HURLBUT, C. S. Jr. et BAUM, J. L. (1960). — *Amer. Mineral.*, 45, 1137.
- JOURAVSKY, G. et PERMINGEAT, F. (1964). — *Bull. Soc. franç. Minér. Crist.*, 87, 216.
- LARSEN, E. S. et BERMAN, H. (1934). — *U. S. Geol. Survey Bull.*, n° 848.
- MCCONNELL, D. et MURDOCH, J. (1962). — *Mineral. Mag., G. B.*, 33, 59.
- MCCONNELL, D. et VERHOEK, F. H. (1963). — *J. chem. Educ.*, U. S. A., 40, 512.
- STRUNZ, H. (1957). — *Mineralogische Tabellen*, 3^e éd.
- WELIN, E. (1956). — *Arkiv. Mineral. Geol.*, Sverige, 2, 137.