Le gisement de tungstène de Xihuashan (Sud-Jiangxi, Chine): Relations granites, altérations deutériques-hydrothermales, minéralisations

G. Giuliani

1, Rue Jean-Jaurès, 54300 Lunéville, France

Résumé. Le gisement de tungstène de Xihuashan (Sud-Jiangxi, Chine) est situé sur la bordure d'un stock granitique formé de 4 unités intrusives: chronologiquement, γ_5^{a} , γ_5^{2b} , γ_5^{2c} , γ_5^{2e} . Le gîte est encaissé dans γ_5^{2a} et γ_5^{2b} dont le contact est jalonné par un stockscheider et par la présence sporadique d'un faciès granitique à grain fin: $\gamma_5^{2b'}$. Les zones d'épisyénites feldspathiques localisées principalement dans γ_5^{2b} correspondent à des zones d'altérations du granite; elles caractérisent l'activité des fluides en relai d'actions mécaniques préalables: un drainage de liquides résiduels sous contrôle structural. Le gisement filonien de Xihuashan (district minier de Dayu) est du type quartz à wolframite dominante et il est principalement développé dans γ_5^{2b} . La densité du système filonien et l'importance de la minéralisation dans γ_5^{2b} s'explique par l'effet de carapace joué par γ_5^{2a} , $\gamma_5^{2b'}$ et le stockscheider. Le gîte comprend 615 filons à teneur économique (teneur moyenne: 1,08% en WO₃) caractérisés par quatre stades de minéralisations; un zoning vertical inverse est généralement observé.

Ainsi, le gisement de Xihuashan possède une valeur métallogénique qui permet d'apporter une contribution à la compréhension des phénomènes structuraux et métallogéniques liés à l'évolution des masses granitoïdiques.

Abstract. The Xihuashan tungsten deposit (South Jiangxi, China) is located on the border of a granitic stock composed of four intrusive units: γ_{2}^{3a} , γ_{2}^{3b} , γ_{2}^{3c} and γ_{2}^{3e} chronologically. The deposit is situated in γ_{2}^{3a} and γ_{2}^{3b} whose contact zone is marked by a stockscheider and by a sporadic fine-grained granite designated $\gamma_{5}^{2b'}$. The feldspathic episyenitic veins or masses located mainly in γ_{5}^{3b} resulted from granite alteration. This alteration characterizes the fluid activity which followed previous mechanical action, remnant liquids draining under structural control.

The quartz-bearing Xihuashan veins (Dayu mining district) are a typical wolframite-quartz vein deposit and have developed mainly in γ_5^{2b} . The density of the veins and the huge mineralizations in γ_5^{2b} can be explained by the carapace role played by γ_5^{2a} , $\gamma_5^{2b'}$ and the stock-scheider. The deposit is formed by 615 economically valuable veins (medium grade: 1,08% in WO₃) characterized by four stages of mineralization; a reverse vertical zoning is generally observed.

Thus, the Xihuashan tungsten deposit possesses a metallogenic value contributing to the comprehension of

metallogenic and structural phenomena related to the evolution of granitic masses.

Introduction

Les ressources en tungstène de la Chine sont probablement les plus importantes du monde et les réserves étaient estimées en 1978 à 100 millions de tonnes à 1%-2,5% en WO₃ métal (Mining Annual Review, 1978). La production annuelle de la Chine n'est pas exactement connue mais en .1977, elle est évaluée à 17.000 tonnes de concentré en WO₃ ou 9.000 tonnes de tungstène métal.

La plupart des gisements sont localisés dans trois provinces du Sud de la Chine (Fig. 1): Kiangxi, Hunan, Guangdong qui appartiennent à la méga-ceinture à W-Sn définie par Routhier (1980) et à la province métallogénique de Nanling. Ces gisements correspondent pour la plupart à des gîtes filoniens du type quartz à wolframite, mais les gîtes de contact type skarn à scheelite, particulièrement importants dans la province du Hunan (gisements de Yanchiatan, Yaokanshien, Shuzhuyan), semblent devoir relayer dans l'avenir l'exploitation des gîtes filoniens.

Dans le Jiangxi du sud, les mines de Xihuashan. Tachishan et Pangushan comptent parmi les gîtes les mieux connus et les plus importants.

La mine de Xihuashan fait partie du district minier de Dayu, cité minière située à 300 km environ au Nord de Canton (Fig. 1). Dans ce district, les gisements filoniens à quartz-wolframite essentiellement sont reliés à des stocks ou des apophyses de granites jurassiques (granites Yenshans), alignés suivant un axe de direction SW-NE. On distingue du Sud au Nord, sur une distance de 20 km: les gisements endogranitiques de Xihuashan (2.500 tonnes de concentré/an) et Dangping (900 tonnes de concentré/ an), les gisements exogranitiques de Muziyuan, Dalongshan, Piaotang (1.500 tonnes de concentré en 1978 mais aux réserves très importantes) et Zongshukeng.

En 1943, Hsu décrit pour la première fois les gisements de tungstène du sud-Jiangxi; par la suite, les travaux spécifiques entrepris par les chercheurs et géologues chinois sur le district minier de Dayu, ont fait l'objet de peu de publications dans le monde occidental (Yan et al. 1980) ou alors ont été présentés au cours de congrès internationaux (Tokyo 1974; Nanchang 1981; Nanjing

O.R.S.T.O.M, Fonds Documentaire

1: 26220 EX1 PA PIBS Cote : 0



Fig. 1. Carte géologique du stock granitique de Xihuashan et localisation des principaux gisements de tungstène. 1: encaissant paléozoïque; 2: limite des différentes zones de métamorphisme de contact; 3: zone de cornéennes; 4: zone cornéifiée à biotite; 5: zone de schistes tachetés; 6: failles; 7: principaux gisements de tungstène; XHS=Xihuashan, LK=Laok'en, SLK=Sen Longko, DP=Dangping, XLGS=Xao Lsu Gshan, N=Niugushu

1982) et édités par Ishihara et Takenouchi (1980). Hepworth et Yu Hong Zhang (1982), Wang (1984). D'autre part, les coopérations techniques et scientifiques avec les occidentaux ont abouti à quelques publications (Tanelli 1982; Giuliani 1983; Lebel et al. 1984).

Le gisement de Xihuashan se situe à la bordure d'un stock granitique formé de plusieurs unités intrusives, fortement évoluées où se rencontrent des faciès de différenciations magmatiques tels les joints aplitiques ou pegmatitiques mais aussi des faciès correspondant à la circulation de fluides deutériques ou hydrothermaux auxquels se rattachent les altérations silicatées (épisyénitisation, greisénisation, silicification, muscovitisation) et les filons de quartz.

Cette note mettra l'accent sur les relations structurales existant entre les différentes unités granitiques, la description et les relations spatio-temporelles existant entre les épisyénites feldspathiques et les minéralisations à tungstène qui leur sont parfois associées. Elle permettra aussi de connaître les caractéristiques structurales, la forme, la distribution et la composition des veines minéralisées.

Les altérations hydrothermales reliées à la mise en place des filons de quartz (silification, feldspathisation,

greisenisation) ne font pas l'objet de cette étude. D'autre part, elle apporte une contribution à la connaissance des phénomènes structuraux, des altérations deutériqueshydrothermales et des minéralisations reliées aux gisements filoniens intragranitiques du type quartz-wolframite.

Cardre géologique

Le gisement de Xihuashan se trouve dans la partie méridionale du stock granitique de Xihuashan qui couvre une surface de 24 km². Le stock intrude les séries paléozoïques de type flysch du Cambrien supérieur qui forment un anticlinorium d'âge calédonien, et sa mise en place s'accompagne d'un métamorphisme de contact.

Le stock granitique de Xihuashan a fait l'objet d'une étude détaillée de la part des géologues chinois (In Hepworth et Yu Hong Zhang 1982; Wang et al. 1982) qui distinguent chronologiquement quatre unités principales (Fig. 1):

 $-\gamma^{2a}$ Granite porphyroïde à biotite, à grain gros à moyen, leucocrate,

 $-\gamma_{5}^{2b}$ Granite porphyroïde à biotite, à grain moyen à fin, leucocrate,

 $-\gamma_5^{2c}$ Granite à biotite à grain fin, leucocrate

 $-\gamma_5^{2e}$ Granite porphyrique à biotite, mésocrate

+ L'unité γ_5^{2a} est située à la périphérie du stock et elle est bien développée dans sa partie ouest et sud.

+ L'unité γ_5^{2b} occupe la partie méridionale du stock et constitue la majeure partie de la mine de Xihuashan. En bordure du contact avec γ_5^{2a} , il est fréquent de rencontrer un faciès voisin de γ_5^{2b} mais à grain plus fin et à texture aplitique, appelé $\gamma_5^{2b'}$. Ces faciès se caractérisent aussi par la présence de grenat (almandin-spessartine).

+ L'unité $\gamma_5^{2^c}$ occupe les deux tiers de la surface du stock granitique et le faciès type est un granite à biotite leucocrate à grenat (et muscovite). De nombreux types pétrographiques se rencontrent dans cette unité notamment à la mine de Dangping (Fig. 1): ils se caractérisent par une granulométrie hétérogène et une composition minéralogique très variable. Cependant, le faciès le plus courant est un granite à grain fin à deux micas, hololeucocrate, riche en grenat appelé $\gamma_5^{2^c}$. Le contact de $\gamma_5^{2^c}$ avec les autres unités est intrusif.

+ L'unite $\gamma_5^{2^e}$ affleure au coeur du stock sous la forme d'un dyke de granite porphyrique à biotite qui recoupe $\gamma_5^{2^a}$, $\gamma_5^{2^b}$ et $\gamma_5^{2^c}$.

Les études radiométriques effectuées par la méthode du K/Ar ont donné pour les différentes unités un âge variable compris entre 184 MA pour $\gamma_5^2^a$ et 140 MA pour $\gamma_5^2^e$; une datation réalisée par la méthode du Rb/Sr (Lebel et al. 1984) a déterminé une isochrone à 155 MA ± 2 (Sr_i=0,717).

Du point de vue géochimique, les granites des quatre unités sont à peu près identiques et ils possédent un chimisme fortement silico-alcalin (SiO₂ > 76%; Na₂O + $K_2O > 7,7\%$). L'alcalinité augmente de γ_5^{2a} (7,7%) à γ_5^{2c} (8,3%). Le rapport Fe₂O₃ + FeO/MgO est très élevé et il varie de 7 à 40 mais par contre le pourcentage en TiO₂ est faible ainsi que le pourcentage en Al₂O₃ (< 13%).

L'étude des Terres Rares (Lebel et al. 1984) a montré que l'évolution de γ_5^{2a} à γ_5^{2c} est marquée par une perte en Terres Rares légères, un accroissement de l'anomalie en Eu (Eu < 0) et une remontée en Terres Rares lourdes. D'autre part, les granites γ_5^{2b} et $\gamma_5^{2b'}$ possèdent des spectres de Terres Rares particuliers marqués par une anomalie positive en Eu et une perte importante en Terres Rares légères; les spectres des phases leucocrates évoluées semblent résulter de la démixion d'une phase aqueuse riche en volatils (Li, F) d'un bain silicaté, provoquant une mobilisation des Terres Rares sans fractionnement (Lebel et al. 1984).

Le gisement de Xihuashan

Le gisement est encaissé dans les unités granitiques γ_5^{2a} , γ_5^{2b} de la partie méridionale du stock de Xihuashan. La totalité des veines minéralisées sont intragranitiques et elles se pincent systématiquement à l'approche de la zone métamorphique.

Relations et caractéristiques des contacts entre les unités granitiques $\gamma_5^{2a}/\gamma_5^{2b}$

Le contact entre $\gamma_5^{2^b}$ et $\gamma_5^{2^a}$ est net et à caractère intrusif; on y rencontre soit un faciès granitique à grain fin, appelé $\gamma_5^{2^b'}$, soit une formation de contact, d'aspect pegmatitique: un stockscheider¹.

Relations $\gamma_5^{2a}/\gamma_5^{2b'}/\gamma_5^{2b'}$. Le faciès $\gamma_5^{2b'}$ est un granite à biotite à grain fin, subporphyrique qui se trouve entre γ_5^{2b} et γ_5^{2a} . Ce faciès affleure de façon discontinue et il peut présenter une épaisseur d'une dizaine de mètres. Le contact avec γ_5^{2a} est souvent subhorizontal et marqué par endroits, lorsque le stockscheider est absent, par des layerings discrets de biotites, parallèles au contact. Le passage entre $\gamma_5^{2b'}$ et γ_5^{2b} est généralement progressif, souligné par l'alternance de faciès aplitiques à grain fin, moyen et grossier et par la présence de digitations (niveau d'exploitation 538). Lorsque $\gamma_5^{2b'}$ n'est pas exprimé, on rencontre des enclaves de γ_5^{2a} dans γ_5^{2b} (communication personnelle de Mr Wang, Chef géologue de la mine).

Le stockscheider. Il s'agit d'une formation de contact, non minéralisée, de 20 cm d'épaisseur maximum qui jalonne la limite entre γ_5^{2a} et γ_5^{2b} . D'aspect pegmatitique, il se caractérise par la croissance de feldspaths potassiques à morphologie plumeuse ou en bâton. Ces phénocristaux sont orientés perpendiculairement au contact (Fig. 2a, 2b) et la courbure des plumes feldspathiques indique le centre de l'intrusif (γ_5^{2b}) (Fig. 2a). Le contact avec γ_5^{2a} est toujours très net et souligné par une surface régulière présentant parfois un mince liseré de quartz (fig. 2b). Le passage avec γ_5^{2b} ou $\gamma_5^{2b'}$ est graduel et marqué par l'alternance de zones litées et de faciès aplitiques à grains de taillevariable. Le stockscheider peut être cependant recoupé par des injections de $\gamma_5^{2b'}$. Au niveau 594, on observe un contact particulier marqué par la récurrence du stockscheider: situé au contact entre γ_5^{2a} et γ_5^{2b} , celui-ci se développe à nouveau quelques mètres plus loin sur une éponte de γ_5^{2b} .

Conclusions. Le stockscheider apparaît comme une formation de contact précoce, non minéralisée qui sépare deux unités granitiques. Il ne peut être assimilé soit à une pegmatite de contact avec quartz-glocke, soit lié à un front de métasomatose potassique; il n'est pas situé au sommet d'une coupole et cette position structurale permet d'écarter sa formation lors d'une déflation tardive de l'édifice granitique.

Le passage progressif stockscheider/ $\gamma_5^{2b}/\gamma_5^{2b'}$ indique une continuité de cristallisation entre les deux ensembles et le filon de $\gamma_5^{2b'}$ sécant suggére que la cristallisation du stockscheider est légèrement antérieure à celui-ci. De même, la présence de phénomènes récurrents observés au niveau 594, traduisent l'existence de mouvements tectoniques précoces par rapport à la consolidation $\gamma_5^{2b'}$ stockscheider puisque ce dernier peut encore cristalliser dans des volumes libérés par γ_5^{2b} . Ces faits démontrent la pénécontemporanéité de la cristallisation $\gamma_5^{2b'}/\gamma_5^{2b'}/stock$ scheider.

Les hypothèses de formation des stockscheiders sont nombreuses: métasomatiques (Štemprok 1974), croissance à partir d'une phase fluide (Moore et Lockwood, 1973) mais la cristallisation précoce d'un magma en surfusion est souvent avancée (Swanson 1977, Nesen 1981) pour expliquer la morphologie particulière (courbe) des feldspaths potassiques. L'hypothèse de la mise en surfusion brutale du magma générateur de γ_5^{2b} , riche en éléments volatils et eau, serait causée par une baisse de pression résultant soit d'une importante fracturation soit d'un phénomène de subsidence de l'édifice granitique. Ce phénomène brutal expliquerait la présence du stockscheider mais aussi les caractéristiques géologiques et texturales de $\gamma_5^{2b'}$ (textures aplitiques).

Les épisyénites feldspathiques

Elles ne se rencontrent pas uniformément dans tout le gisement de Xihuashan et elles se localisent presque



Fig. 2a et b. Aspect du stockscheider rencontré entre les unités γ_5^{2a} et γ_5^{2b} . a Stockscheider à feldspaths plumeux; b Stockscheider à feldspath en bâton

¹ Terme courant employé par les européens, l'équivalent des «marginal pegmatite» des anglo-saxons (voir Bray et Spooner 1983)

110



Fig. 3a-d. Quelques aspects et gisements des zones d'épisyénites feldspathiques. a l, granite en voie d'épisyénitisation; 2, granite en voie d'épisyénitisation montrant une diminution de la proportion des grains de quartz; 3, épisyénites feldspathiques; b 4, cristaux de pyrite; 5, zone feldspathique à texture très fine; c 6, granite normal (γ_5^{2b}) ; 7, passage progressif; d 8, filons de quartz; 9, filonnets de quartz

Fig. 4. Coupe longitudinale de la veine 2.99 (mine de Xihuashan). 1, limite de zone d'altération; 2, limite des veines de quartz stériles; 3, aire de répartition du molybdène; 4, aire de répartition du béryl; 5, aire de répartition de l'étain; 6, aire de répartition du bismuth

exclusivement dans γ_5^{2b} , et de façon massive dans les niveaux inférieurs de la mine (niveaux 431 à 215) (Fig. 4).

Ces altérations du granite sont appelées zones à feldspathisation potassique ou microclinites. Les altérations deutériques et hydrothermales de type feldspathiques sont nombreuses à Xihuashan, et il faut distinguer les épisyénites des altérations potassiques liées à la mise en place des filons de quartz ou aux multiples stades de minéralisations associés. L'appellation d'épisyénite feldspathique se justifie par la présence d'un granite transformé (granite en voie d'épisyénitisation) et d'une zone syénitique formée d'un assemblage de cristaux feldspathiques. Mode de gisement. Elles se développent soit en taches irrégulières (mètre à des dizaines de métres de large) dans les niveaux inférieurs de la mine (431, 230, 215), soit en bandes d'allure filonienne (dm au m) et allongées sur plusieurs dizaines de mètres dans les niveaux 632-594-538. Le manque d'information ne nous permet pas de connaître exactement la morphologie de ces structures dans le plan vertical (colonnes feldspathiques).

Le phénomène d'épisyénitisation. Les amas d'épisyénites observés dans les niveaux 632 et 594 sont constitués généralement de deux ensembles (Fig. 3 a, 3 b, 3 c) - l'un périphérique, de nature granitique, de couleur rouge saumon montrant parfois un léger feuilletage ou une diminution de la proportion des grains de quartz (Fig. 3 a), résultant de la transformation de γ_2^{2b} .

- l'autre central à structure massive, monominéral et constitué de feldspaths potassiques ou bien d'une très fine matrice feldspathique (Fig. 3 b).

Les contacts entre ces deux zones sont soit progressifs mais rapides (sur quelques centimètres), soit soulignés par une fracture (Fig. 3 b, 3 c). D'autre part, il est possible de rencontrer dans ces masses feldspathiques des fragments de granite en voie d'épisyénitisation (Fig. 3 c).

Le granite en voie d'épisyénitisation γ_5^{2b}

C'est un granite porphyroïde à biotite et grenat marqué par une légère déformation plastique. Dans les zones de granite transformé, l'observation microscopique met en évidence la présence de déformations plastiques et cassantes qui affectent les minéraux:

- le quartz (extinction onduleuse; bandes de pliages marquées par des traînées discontinues d'inclusions fluides; assemblages polygonaux de sous-grains; zones de dissolution aux limites des vieux grains (Fig. 5) remplies parfois par du feldspath potassique (Fig. 6); fissurations.

- les feldspaths (extinction onduleuse; mâcles polysynthétiques des plagioclases pliées, décalées, cassées; bandes de la biotite est le premier minéral déstabilisé lors de l'épisyénitisation: la chloritisation est favorisée par la présence de microfissures et flexures.

La zone feldspathique potassique

Cette zone est constituée par des monocristaux de microcline emboîtés; dans les cavités géodiques interstitielles se rencontrent du quartz, de l'adulaire à habitus prismatique ou losangique et de la muscovite en forme de flammèches (Fig. 8).

Les épisyénites feldspathiques et les minéralisations associées. A Xihuashan, les zones d'épisyénites feldspathiques se trouvent dans la partie supérieure de γ_5^{2b} (Fig.4) dans une zone soumise à des contraintes tectoniques importantes (proximité du contact intrusif avec γ_5^{2a} , du stockscheider, présence de déformations plastiques et cassantes importantes dans les minéraux).

Elles témoignent de la présence d'un champ de contraintes tectoniques développé dans le granite cristallisé et



Fig. 5. Les limites intercristallines de deux grains de quartz sont le siège du développement du phénomène de dissolution sous-pression; remplissage des cavités de dissolution par du feldspath potassique (FK). Lumière polarisée et analysée. Echantillon, Niveau 431

Fig. 6. Phénomène de dissolution du quartz aboutissant à la formation de petits grains (Q1) à bords arrondis et isolés de la masse de quartz (Q2); envahissement du feldspath potassique (FK). Lumière polarisée et analysée. Echantillon, Niveau 538

Fig. 7. Développement du feldspath potassique sous forme de taches (FK) à l'intérieur d'un plagioclase (Pl.). Lumière polarisée et analysée. Echantillon, Niveau 538

Fig. 8. Microcavité de la zone feldspathique (microclinite) à remplissage d'adulaire (Ad), quartz secondaire (Q) et muscovite (M). Lumière polarisée et analysée. Echantillon, Niveau 538





Fig. 9. Zonalité verticale de la veine 2.99 (mine de Xihuashan). 1, greisen micacé; 2, silicification; 3, greisen quarteux; 4, greisen normal; 5, zone feldspathisée; 6, cassitérite; 7, wolframite; 8, bismuthinite; 9, molybdénite; 10, béryl; 11, scheelite; 12, calcite; 13, pyrite; 14, chalcopyrite; 15, fluorite; 16, cassitérite; 17, wolframite; 18, sulfures; 19, calcite

de l'activité des fluides tardi-magmatiques à chimisme silico-alcalin.

L'importance du champ de contraintes mis en évidence lors de l'intrusion γ_5^{2b} aurait provoqué une fracturation et l'ouverture de fentes permettant le développement des bandes feldspathiques massives. Ces constations rejoignent celles effectuées par Avila-Martins (1972), Cheilletz et Giuliani (1982), Ahmadzadeh (1984) pour des domaines identiques.

Les épisyénites feldspathiques constituent un bon témoin de l'évolution structurale des massifs granitiques (Giuliani et Cheilletz, 1983): les déformations plastiques puis cassantes qui les caractérisent permettent de siteur leur apparition lors des phases finales de la mise en place des granites. Le type de néoformations associées résultent de circulations internes à l'édifice granitique, collectant les liquides tardi-magmatiques saturés en fluides et enrichis en potassium et/ou sodium.

Les épisyénites sont dépourvues de minéralisations à W-Sn mais on y rencontre quelques minéraux de terres rares, notamment la gadolinite. Dans les niveaux inférieurs au niveau 431, la feldspathisation est importante et la densité des filons de quartz et de la minéralisation tungstifère diminue relativement (Fig. 4). Les relations structurales observées en mine semblent montrer que certains filons et filonnets de quartz à wolframite recoupent ou prennent en écharpe certaines de ces zones (Fig. 3 d): ainsi certains filons de quartz apparaissent reliés spatialement aux épisyénites; par contre, ils sont du point de vue chronologique distincts.

Ainsi, les épisyénites feldspathiques peuvent constituer des plans d'anisotropie majeurs dans le granite, qui ont pu contrôler le dépôt des minéralisations filoniennes (Cheilletz et Giuliani, 1982).

Les minéralisations

Le gisement de tungstène de Xihuashan, du type à wolframite dominante, occupe une surface de 4,3 km². Dans ce champ, 615 filons à teneur économique, de direction principale E–W, subparallèles et de pendage 75 à 90° Nord, ont été reconnus. L'épaisseur des veines est en moyenne de 0,50 à 0,60 mètres, l'extension longitudinale de 500 m (la veine 2.99 atteint 1 075 m) et l'extension verticale est comprise entre 200 et 400 m. La minéralisation à valeur économique est située entre 100 et 200 m d'extension verticale (300 m au maximum). L'allure des filons reflète une disposition en échelon dans le plan vertical et horizontal; les veines se distribuent en groupes parallèles ou en essaims.

Paragenèses. Plus de 50 minéraux ont été décrits dans le district de Xihuashan et parmi les principaux, on rencontre: wolframite, cassitérite, molybdénite, bismuthinite, scheelite, sulfures.

Zoning vertical

Les paragenèses sont différentes dans les veines quartzeuses suivant les niveaux et un zoning vertical inverse est généralement observé (Yan et al. 1980) (Fig. 9). Dans les niveaux supérieurs, les principaux minéraux sont quartz, cassitérite, wolframite béryl. La molybdénite peut s'y trouver mais on la rencontre aussi dans les niveaux inférieurs où les sulfures y sont développés. La wolframite est plus abondante dans les parties moyennes des veines et elle diminue dans la partie inférieure. Dans les niveaux inférieurs, les minéraux d'étain, tungstène, béryllium disparaissent pour laisser place aux carbonates et à la fluorine. La scheelite résulte très souvent de la pseudomorphose de la wolframite.

Zoning latéral

Suivant les géologues chinois, un zoning latéral peut s'observer du mur au centre des veines: molybdénite, béryl, cassitérite, wolframite, arsénopyrite, sulfures. En réalité, ce zoning est plus complexe: en effet, les veines sont très souvent soit composites, soit elles présentent des épisodes de fracturations et de minéralisations successifs recoupant les corps filoniens.

Teneurs en WO_3 . La teneur moyenne en WO_3 pour le gisement de Xihuashan est de 1,08%. Dans la partie supérieure et moyenne des veines, la minéralisation à WO_3 est riche mais elle présente cependant de larges variations de teneur: par endroits, les variations sont régulières et parfois abruptes. Généralement, une complication de la structure des filons (intersection, changement de direction) et l'existence de greisens sont des conditions favorables au dépôt de la minéralisation tungstifère.

Les minéralisations dans $\gamma_3^{2^a}$ et $\gamma_5^{2^b}$. Le gisement est intragranitique et principalement développé dans $\gamma_5^{2^b}$. Les veines minéralisées dans $\gamma_5^{2^a}$ sont moins importantes et moins riches; d'autre part, elles se pincent systématiquement en arrivant près du contact avec l'encaissant métamorphique. La densité du système filonien et l'importance de la minéralisation dans $\gamma_5^{2^b}$ s'explique par l'effet de carapace joué par $\gamma_5^{2^a}$, le stockscheider et $\gamma_5^{2^{b'}}$. Ces formations ont dispersé l'effet des contraintes tectoniques et restreint l'extension longitudinale de la fracturation. La veine 62 au niveau 431 illustre bien ce phénomène: à 30 mètres du contact $\gamma_5^{2^b}/\gamma_5^{2^{b'}}$, la veine possède une puissance de 0,8 m; dans $\gamma_5^{2^b}$, l'épaiseur diminue subitement sur quelques mètres (0,10 m) pour former un chapelet de veinules stériles dans $\gamma_5^{2^a}$.

Phases fluides associées. L'étude des phases fluides associées aux filons de quartz minéralisés à wolframite a été réalisée par microthermométrie et microsonde Raman (Giuliani et al. 1983, Giuliani 1983).

Ces fluides sont très variables en densité et composition. Dans les fluides précoces, l'évidence d'une immiscibilité (à 300-340 °C; $P \pm 1$ Kb; dans le système CO₂, CH₄, N₂, NaCl, H₂O) est marquée par la coexistence d'un fluide riche en CO₂ (H₂O: CO₂=2,6 avec 0,5 mol. % NaCl) et un fluide aqueux (H₂O: CO₂ = 12 avec 1,5 mol. % NaCl). Les fluides tardifs appartiennent au système H₂O-NaCl, de salinité variable, et piégés à des températures/ pressions plus basses: ils caractérisent le stade de minéralisation à sulfures.

Discussion et conclusions

Le gisement de Xihuashan appartient au district métallogénique de Dayu et les minéralisations sont étroitement reliées aux unités granitiques γ_5^{2a} et γ_5^{2b} du stock granitique de Xihuashan.

L'évènement majeur de l'histoire magmatique du gisement est l'intrusion de γ_5^{2b} qui semble porter et concentrer la minéralisation; son caractère géochimique évolué et les spectres de Terres Rares particuliers (pertes en Terres Rares légères et accroissement important de l'anomalie en Eu) sont le résultat de l'arrivée précoce à saturation en fluides d'un magma, et, suggèrent le rôle majeur joué par les fluides et les éléments volatils (Lebel et al. 1984). D'autre part, les fluides impliqués dans l'évolution du complexe granitique et ceux associés aux filons de quartz sont d'origine magmatique (In Hepworth et Yu Hong Zhang 1982; Lebel et al. 1984). Ce travail permet de mettre en évidence l'évolution continue existant sur le point de vue structural, génétique et chronologique entre la formation du stockscheider et de $\gamma_3^{2b'}$, et la fin de la cristallisation de γ_5^{2b} marquée par la présence des épisyénites feldspathiques. Ces dernières caractérisent l'activité des fluides en relai d'actions mécaniques préalables: un drainage de liquides résiduels sous contrôle structural.

Le stockscheider apparaît comme une formation de contact à caractère précoce par rapport à $\gamma_2^{5^b}$ et le résultat de la surfusion brutale d'un magma saturé en eau et en éléments volatils.

En fait, l'étude structurale et les différentes études géochimiques nous conduisent à mettre en évidence le caractère très différencié du magma générateur de γ_5^{2b} , riche en alcalins, eau, volatils.

Les filons de quartz minéralisés sont reliés géométriquement à γ_5^{2b} et les discontinuités structurales majeures tels les joints de fin de cristallisation, les épisyénites feldspathiques semblent avoir joué un rôle non négligeable quant à leur localisation.

Une synthèse des données fournies sur les différents gisements de tungstène du Sud-Jiangxi (Hsu 1943; In Hepworth et Yu Hong Zhang 1982), montre que les gisements du district minier de Dayu sont situés à une altitude comprise entre 800 et 1 000 m au-dessus du niveau de la mer. Les gîtes sont du type filonien à wolframite et un zoning vertical inverse est systématiquement rencontré; chaque veine de la mine de Xihuashan comporte une zone à teneur économique et à forte concentration de wolframite dans une colonne d'extension verticale restreinte; ce fait est une importante caractéristique du district minier de Dayu: à Xihuashan, la zone à teneur économique est répartie (pour la veine 2.99 en particulier) entre les niveaux 632 et 538; à Dangping (Fig. 1) entre les niveaux 610 et 560; à Piaotang (gisement situé à 20 km au N.E. de Xihuashan) entre les niveaux 676 et 448. La plupart de ces zones à teneur économique passent en profondeur à des zones riches en sulfures. Le zoning vertical inverse et l'existence d' «ore shoots» peuvent être expliqués par les résultats de l'étude des inclusions fluides réalisées sur Xihuashan (Giuliani 1983). En effet, les échantillons des niveaux 632, 594 et quelquesuns du niveau 538 montrent l'évidence de phénomènes de condensation du CO₂. Le phénomène d'ébullition des fluides précoces a pu jouer un rôle important dans la précipitation de la wolframite et dans la localisation des zones à teneur économique. Les sulfures se sont formés à des températures plus basses à partir de fluides aqueux (hydrolyse de SO_2 , augmentation de la fH_2S).

Un tel contrôle peut être illustré à l'occurrence par la veine 2.99 (fig. 4 et fig. 9) où l'arrêt brutal de la zone à teneur économique se situe exactement à 10 mètres audessus du niveau 538 et, marqué par la précipitation massive de molybdénite et bismuthinite.

Cependant, une étude plus détaillée, portant sur un plus grand nombre d'échantillons et sur différents gisements permettrait de confirmer l'importance de ces phénomènes d'ébullition et leur liaison avec les zones à teneur économique.

Dans le cas de Xihuashan, la précipitation du tungstène serait favorisée par un phénomène d'ébullition du fluide carbonique (Giuliani 1983). D'autre part, la présence de fluides à $H_2O-CO_2-CH_4$ -NaCl impliqués dans

le système hydrothermal de Xihuashan favorise l'hypo-. thèse de la démixion d'une phase aqueuse, riche en CO_2 , du bain silicaté responsable de la formation de γ_5^{2b} ; de plus, elle explique l'allure des spectres de terres rares, notamment le partage des terres rares légères.

Bien que similaire du point de vue géochimique, minéralogique et génétique avec d'autres gisements situés en bordure du stock de Xihuashan, le gisement étudié s'en distingue par plusieurs caractères fondamentaux: la présence d'un complexe intrusif marqué par des structures particulières comme le stockscheider, la présence d'épisyénites feldspathiques et l'extension gigantesque du complexe minéralisé (Tableau 1).

Ainsi, le gisement de Xihuashan possède une valeur métallogénique incontestable qui permet d'apporter une sérieuse contribution à la compréhension des phénomènes structuraux et métallogéniques liés à l'évolution de masses granitoïdiques.

N.B.: La présente note fait suite à une coopération scientifique franco-chinoise, entre le B.R.G.M. et le Ministère de la Géologie de la République Populaire de Chine (1982).

Tableau 1. Caractéristiques principales de l'encaissant granitique et des minéralisations associés aux gisements de Xihuashan et de Dangping. (stock de Xihuashan – district de Dayu)

	Gisement	Xihuashan	Dangping
	Туре	Filoniens: filons de quartz à wolframite	Filonien: filons de quartz à wolframite et béryl
Granite encaissant	âge	Yenshan (Jurassique)	Yenshan (Jurassique)
	nature	 - γ₅^{2a} granite porphyroïde à biotite à grain moyen à gros - γ₅^{2b} granite porphyroïde à biotite à grain moyen à fin 	$-\gamma_5^{2c}$ granite à biotite à grain fin
	particularités	- stockscheider entre γ_5^{2a} et γ_5^{2b} - $\gamma_5^{2b'}$ faciès de contact entre γ_5^{2a} et γ_5^{2b} - épisyénites feldspathiques	$-\gamma_5^{2c'}$ granite à deux micas - nombreuses enclaves d'encaissant
Mineralisations	Surface du District	4,3 km ²	2,4 km ²
	Nombre de filons à teneur économique	615	206
	Structure	disposition en échelon	disposition en échelon
	direction des filons	3 familles: – N65–70°E pendage 80° N.NW – N80–90°E pendage 75 à 85°N – N95° 105°E pendage 80° N.NE	E-W (N75°–N85°E) deux groupes: – Nord à pendage 85°S – Sud à pendage 85°N
	extension longi- tudinale	en moyenne 300 m à 600 m	en moyenne 250 m
	extension verticale	en moyenne 250 m; zone exploitée 100–200 m	en moyenne 200 m; zone exploitée 100 m max.
	épaisseur moyenne	0,40 m	0,30 m
	Chronologie des minéralisations	ler stade: W, Be, Mo, Bi – wolframite, béryl, molybdénite – wolframite, molybdénite – wolframite, bysmuthinite	3 stades: – wolframite, molybdénite – wolframite, béryl, molybdénite – wolframite, sulfures
		2ème stade: W, Sn, Sulfures – cassitérite, topaze, micas – wolframite, cassitérite – wolframite, Sulfures	
	altérations hydrothermales	 Greisenisation (greisen micacé, greisen quartzeux, muscovite) Silicification Feldspathisation – veinules et/ou granite feldspathisé, feldspathites aux épontes des veines de quartz 	– greisenisation – feldspathisation (faible)

References

- Ahmadzadeh, H.: Le district aurifère de St Yrieix (Haute-Vienne): Etude des minéralisations auro-antimonifères dans leur cadre géologique. Thèse Docteur Spécialité, Université Clermont-Ferrand: 98 p. (1984)
- Avila Martins, J.: les roches rouges de la Serra do Geres. Publicacoes do Museo e Laboratorio mineralogico geologico Porto, 83:4, 26 p. (1972)
- Bray, C.J., Spooner, E.T.C.: Sheeted vein Sn-W mineralization and greisenisation associated with economic kaolinization, Gonbarrow China Clay pit, St. Austell, Cornwall, England: Geologic Relationships and Geochronology. Econ. Geol. 78: 1064–1089 (1983)
- Cheilletz, A., Giuliani, G.: Rôle de la déformation du granite dans la genèse des épisyénites feldspathiques des massifs de Lovios-Geres (Galice) et des Zaër (Maroc Central). Mineral. Deposita 17:387-400 (1982)
- Giuliani, G.: Fluid inclusion study of the Xihuashan tungstenbearing quartz veins (South-Jiangxi). Abstracts 8° Symposium «European Current Research on Fluid Inclusions» Orléans, 6-8 avril 1983
- Giuliani, G., Lebel, L., Li, Y.D., Sheng, J.F.: Geochemistry and fluid inclusions studies of the Xihuashan tungsten-bearing system. Terra Cognita. Vol. 3, n°2–3. Abstracts Second E.U.G. Meeting, Strasbourg 1983
- Hepworth, J.V., Yu, H.Z. Editors: Tungsten Geology. Jiangxi, China. Symposium sponsored by ESCAP/RMRDC and Ministry of Geology. Bandung, Indonesian et Beijing, China: 584 p. (1982)
- Hsu, K.C.: Tungsten deposits of Southern Kiangsi, China. Econ. Geol., 38:431–474 (1943)
- Ishihara, S., Takenouchi, S. Editors: Granitic magmatism and related mineralization. Mining Geol. Spec. Issue, 8:247 p. (1980)

- Lebel, L., Li, Y.D., Sheng, J.F.: Granitic evolution of the Xihuashan – Dangping (Jiangxi-China) tungsten-bearing system. soumis à T.M.P.M. Tschermaks Min. Petr. Mitt. (1984)
- Mining Magazine: Mining Annual Review: 420-433 (1978)
- Moore, J.G., Lockwood, J.P.: Origin of comb layering and orbicular structure, Sierra Nevada Batholith, California. Geol. Soc. Amer. Bull. Vol. 84: 1–20 (1973)
- Nesen, G.: Le modèle exogranite-endogranite à stockscheider et la métallogénie Sn-W. Etude des gisements de Fontao et Santa Comba (Galice-Espagne). Thèse Doct. Spécialité Université Nancy I: 327 (1981)
- Routhier, P.: Où sont les métaux pour l'avenir? Les provinces métallogéniques. Essai de métallogénie globale. Mém. B.R.G.M. 105:410 (1980)
- Štemprok, M.: Relation of tin-tungsten metallogeny to acid magmatism in the Krsunehory Erzgebirge. In M.A.W.A.M. 1: 127-131 (1974)
- Swanson, E.: Relation of nucleation and crystal growth rate to the development of granitic textures. Amer. Min. 62, 966–978 (1977)
- Tanelli, G.: Geological setting, mineralogy and genesis of tungsten mineralization in Dayu district, Jiangxi (People's Republic of China): an outline. Mineral. Deposita 17:279-294 (1982)
- Wang, Z., Zhao, Z., Zhao, H.: R.E.E. distribution patterns of granites in South China. Geochemistry 1:39–50 (1982)
- Wang, Ch.: Geochemistry of vein-type tungsten deposits in South Jiangxi. Min. Deposits 3:76-84, Beying (1984)
- Yan, M.Z., Wu, Y.L., Li, C.Y.: Metallogenic systems of tungsten in South East China and their mineralization characteristics. Granitic Magmatism and related mineralization; Mineral. Geol. Spec. Issue 8:215–221 (1980)

Received: July 3, 1984 Accepted: November 13, 1984

Book review

S. K. Saxena (editor): Kinetics and Equilibrium in Mineral Reactions. (Advances in Physical Geochemistry, Vol. 3). 99 figs., X+273 pp. Cloth DM 108,-, \$ 42.40, Springer-Verlag, New York – Berlin – Heidelberg – Tokyo 1983.

Five of the eight chapters of this important volume on kinetics and certain mineral equilibria deal predominantly with applications to silicates, especially assemblages in metamorphic rocks, and with "Exsolution and Fe²⁺-Mg Order-Disorder in Pyroxenes" (by S. K. Saxena). Therefore, to the reader interested in ore deposits, the results are important when p and T etc. for metamorphosed ores are derived from the country rocks. Of interest as regards chromite (and other) deposits is "Geospeedometry: An Extension of Geothermometry" by A. C. Lasaga who proves (in parallel with a few other authors) that olivine-spinel geothermometers are mostly unreliable because of the kinetic aspect: there are strongly differing blocking temperatures stopping Fe/Mg homogenization in olivine and in spinel. Lasaga indicates alternative ways in which cooling histories may eventually be derived. The process treated is solid-state diffusion and, therefore, the calculations only apply to absolutely dry conditions. (It remains to be seen how far this promising method could, in certain cases, also be applied to mineral pairs in metamorphosed massive sulfide or oxide ores.)

"Mg-Fe Fractionation in Metamorphic Environments" (by H. P. Eugster and E. S. Ilton) treats silicate-fluid and spinel-fluid exchange, with a subchapter on Cl-O-H systems and on speciation in chloride fluids at high p and T. Finally, the mostly theoretical chapters on "Compositional Zoning of Crystals: A Record of Growth and Reaction History" (by T. P. Loomis), and "Thermo-dynamics of Complex Phases" (by R. Powell) may also eventually prove important to readers of this journal.

K. von Gehlen (Frankfurt a. M.)