

## NOUVELLE DÉCOUVERTE DE CRIDDLÉITE DANS LE DISTRICT AURIFÈRE DE VIGES, MASSIF CENTRAL, CREUSE, FRANCE

JEAN-PIERRE GATELLIER\*

Laboratoire de Géochimie Organique, Université d'Orléans, U.R.A.  
n°724 du CNRS, B.P. 6759, 45067 Orléans Cedex 2, France

ERIC MARCOUX

Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Département de Géologie, Avenue de Concyr, B.P. 6009,  
45060 Orléans Cedex 2, France

YVES MOËLO

CNRS, Centre de Recherche sur la Synthèse et la Chimie des Minéraux, 1A rue de la Férollerie,  
45071 Orléans Cedex 2, France

### SOMMAIRE

Le gîte auro-antimonifère de Viges dans le Massif Central, département de la Creuse (France), présente des particularités minéralogiques originales, la plus remarquable étant la présence de criddleite,  $\text{TlAg}_2\text{Au}_3\text{Sb}_{10}\text{S}_{10}$ , minéral connu jusqu'à ce jour que dans le gîte de Hemlo (Ontario). A Viges, la criddleite se rencontre en fines lamelles dans les géodes de quartz en association avec l'or natif et l'aurostibite. Les analyses chimiques à la microsonde électronique ont montré une composition légèrement différente de celle décrite à Hemlo, avec notamment un rapport Au/Tl plus élevé. Les valeurs pondérales sont: Tl = 5.00%, Ag = 8.97%, Au = 24.74%, Sb = 49.32%, S = 12.68% (total 100.71%, moyenne sur 12 analyses), ce qui correspond à la formule structurale, sur la base de 26 atomes:  $\text{Tl}_{0.6}\text{Ag}_{2.1}\text{Au}_{3.1}\text{Sb}_{10.2}\text{S}_{9.9}$ . La criddleite pourrait être un homologue structural de la rohaïte en prenant  $(\text{Tl,Au})_2\text{AgSb}_5\text{S}_5$  comme unité formulaire de base, sur la base de cinq atomes de soufre. D'après les mesures microthermométriques sur les inclusions fluides, la température de formation du quartz géodique serait de  $220 \pm 20^\circ\text{C}$ . Cette température représenterait la température maximale de formation de la paragenèse à criddleite-aurostibite-or.

**Mots-clés:** criddleite, or, aurostibite, rohaïte, Viges, Massif Central, France.

### ABSTRACT

The gold-antimony deposit of Viges, Massif Central, Creuse department (France), shows unusual mineralogical characteristics, the most remarkable being the occurrence of criddleite,  $\text{TlAg}_2\text{Au}_3\text{Sb}_{10}\text{S}_{10}$ , a mineral previously known only in the Hemlo gold deposit, Ontario. At Viges, the criddleite occurs as fine blades in quartz geodes associated with native gold and aurostibite. Electron-microprobe

\*Nouvelle adresse: Faculteit der Scheikundige Technologie en der Materiaalkunde, Technische Universiteit Delft, De Vries van Heystplantsoen 2, 2628 RZ Delft, The Netherlands.

analyses reveal a composition slightly different from that described at Hemlo, and in particular a higher Au/Tl ratio. Twelve analyses gave, on average, 5.00 wt.% Tl, 8.97% Ag, 24.74% Au, 49.32% Sb, 12.68% S, total = 100.71%. This composition corresponds to the structural formula  $\text{Tl}_{0.6}\text{Ag}_{2.1}\text{Au}_{3.1}\text{Sb}_{10.2}\text{S}_{9.9}$ , on the basis of 26 atoms. Criddleite could be a structural homologue of rohaïte by taking  $(\text{Tl,Au})_2\text{AgSb}_5\text{S}_5$  as a base formula (on the basis of five atoms of sulfur). Microthermometric measurements on fluid inclusions in quartz in the geode give an estimated temperature of formation of  $220 \pm 20^\circ\text{C}$ . This can be considered as the maximum temperature of formation of the association criddleite-aurostibite-gold.

**Keywords:** criddleite, gold, aurostibite, rohaïte, Viges, Massif Central, France.

### INTRODUCTION

La criddleite est un sulfure aurifère complexe, découvert très récemment. Sa formule idéale est  $\text{TlAg}_2\text{Au}_3\text{Sb}_{10}\text{S}_{10}$ , selon Harris *et al.* (1988), qui l'ont découverte dans le gisement d'or de Hemlo (Ontario). Une étude entreprise sur les minéralisations aurifères de l'indice de Viges dans le Massif Central, département de la Creuse (France), a permis de retrouver ce minéral, d'en préciser la composition ainsi que ses conditions de formation, et de souligner quelques particularités minéralogiques de ce gîte aurifère.

### LA STRUCTURE MINÉRALISÉE DE VIGES

Les minéralisations de Viges occupent une importante zone cisailante N80°E, affectant les terrains granitiques en bordure immédiate du bassin volcanosédimentaire de Ladapeyre, daté du Viséen supérieur (Fig. 1). Cette zone cisailante est dépendante du grand accident Marche-Combrailles (Quénardel *et al.* 1984), qui prolonge les accidents Sud-armoricains.

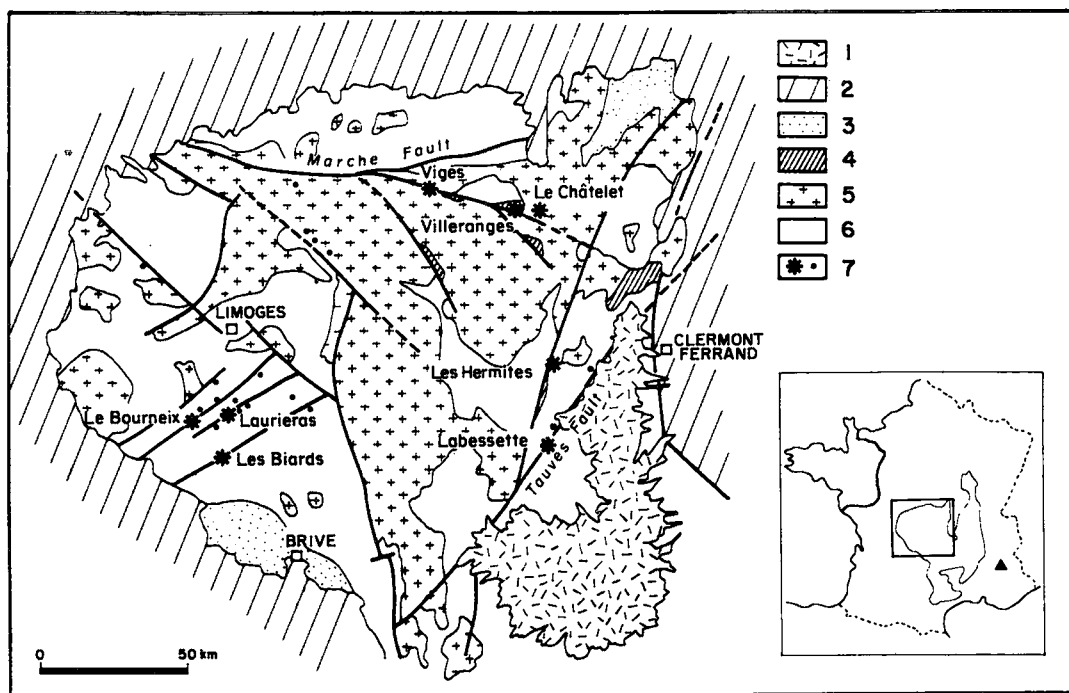


FIG. 1. Contexte géologique régional de l'indice de Vigan (Creuse, France) et position des principaux gîtes aurifères. 1: Roches volcaniques (Tertiaire et Quaternaire), 2: roches sédimentaires post-paléozoïques, 3: Permien, 4: Dévonien, 5: granites hercyniens, 6: socle métamorphique, 7: principaux gîtes aurifères, ▲: Jas-Roux (Hautes Alpes).

Elle développe un puissant couloir mylonitique (200 m de puissance) qui recoupe les granites du massif de Guéret et la bordure des terrains volcano-sédimentaires.

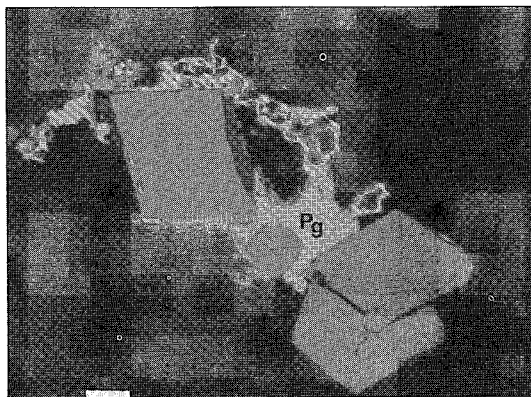


FIG. 2. Or natif (blanc) précipité dans une géode de quartz blanc laiteux au contact d'arséno-pyrite (gris foncé) et de pyrrargyrite (Pg, gris clair). L'échelle correspond à 20  $\mu$ m.

Les minéralisations à antimoine (indice de Boursonneix) et à or-antimoine (indice de Vigan) sont portées par un faisceau de fractures en cisaillement du type "shear-zone" aurifère (Bonnemaïson et Braux 1987). L'évolution de ce type de structure (Bonnemaïson et Marcoux 1987) s'opère en trois stades, très bien représentés à Vigan:

Le stade précoce correspond à une déformation ductile de la structure, et se caractérise par une minéralisation disséminée à pyrrhotite, pyrite, arséno-pyrite aurifère et rare molybdénite. Ce stade est dominant à Vigan et contient l'essentiel du stock d'or du gîte, ce qui permet de classer celui-ci dans la catégorie des "shear-zones aurifères précoces", tout comme les gîtes voisins de Villeranges et du Châtelet (Picot et Marcoux 1986, Bonnemaïson et Marcoux 1987). Les modalités d'incorporation de l'or dans le réseau de l'arséno-pyrite ont été récemment précisées (Johan *et al.* 1989, Marcoux *et al.* 1989).

Le stade intermédiaire, plus cassant, crée des ouvertures qui favorisent la formation de lentilles quartzées à berthiérite, stibine, antimoine natif, bismuth natif et bismuthinite, sphalérite et pyrite-marcasite. Ce stade est souvent représenté dans l'indice voisin de Boursonneix et s'accompagne d'abondant quartz micro-saccharoïde.

Le stade tardif se caractérise par des ouvertures plus marquées et l'apparition de géodes de quartz macrogrenu, de teinte blanc laiteux. Les fluides hydrothermaux riches en plomb, cuivre et argent ont remobilisé partiellement les sulfures d'antimoine pour donner naissance à une paragenèse à sulfosels de plomb et d'antimoine: jamesonite ( $Pb_4FeSb_6S_{14}$ ), fülöppite ( $Pb_3Sb_8S_{15}$ ), bournonite ( $CuPbSbS_3$ ), associés à sphalérite, galène, chalcopryrite, tétraédrite, et rare cubanite. Ce phénomène s'accompagne d'une reprécipitation de l'or, relativement discrète à Vigés, soit sous forme pépitique dans le quartz géodique, soit sous forme inframicrométrique piégée au sein de la matière organique, abondante en certains endroits (Gatellier et Disnar 1989). L'or peu argentifère (moins de 10%) libéré par l'arséno-pyrite aurifère lors de sa déstabilisation par les fluides tardifs (Fig. 2) occupe les géodes tardives du quartz blanc laiteux. Les rares échantillons à or pépitique, qui traduisent une évolution locale tardive de la structure (Bonnemaison 1986) ne suffisent cependant pas à expliquer les teneurs en or mesurées. Le gîte de Vigés appartient donc, comme celui du Châtelet, à la catégorie des "gîtes à or non exprimé".

#### COMPOSITION DE LA CRIDDLÉITE

Ce minéral apparaît lors des stades tardifs dans les géodes à or pépitique du quartz blanc laiteux où, de la même manière que dans le gisement de Hemlo (Harris *et al.* 1988), il est systématiquement associé à des plages d'or natif et d'aurostibite ( $AuSb_2$ ) (Fig. 3). L'or natif, représenté en plages qui atteignent parfois 1 mm, est pauvre en argent, avec des teneurs de l'ordre de 8-10%, et ne montre que rarement des zonations chimiques. L'aurostibite forme des plages de taille comparable, indépendantes ou accolées à celles d'or natif. Elle montre des teneurs en argent

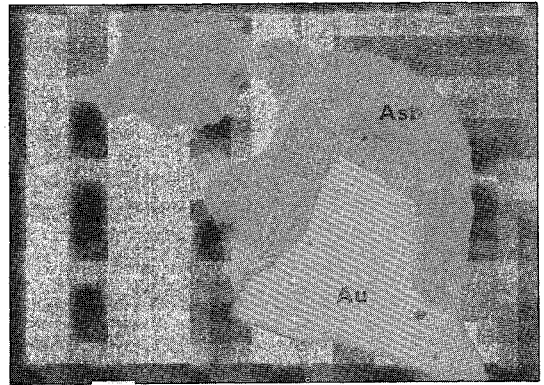


FIG. 3. Lamelles de criddléite dans l'aurostibite (Asb, gris clair), au contact d'une plage d'or natif (Au). L'échelle correspond à 20  $\mu$ m.

significatives (jusqu'à 1.1%) et des teneurs en thallium (0.5%) trop erratiques pour être significatives.

La criddléite se forme toujours aux dépens de l'aurostibite, qu'elle remplace. Tout comme à Hemlo, les cristaux se développent sur le pourtour des plages ou traversent celles-ci en empruntant des directions cristallographiques (Fig.3). De forme lamellaire, parfois très allongés, les cristaux atteignent couramment 20 à 30  $\mu$ m de long (maximum de 50  $\mu$ m) sur 5  $\mu$ m de large, et se groupent en éventail ou en amas enchevêtrés.

Les analyses à la microsonde électronique montrent une grande homogénéité chimique (Tableau 1, Fig. 4). Les variations maximales concernent le thallium, dont la teneur varie de 4.1 à 6.0%. La criddléite de Vigés diffère donc de celle de Hemlo par des teneurs en thallium nettement plus faibles,

TABLEAU 1. COMPOSITION CHIMIQUE DE LA CRIDDLÉITE DE VIGÉS ET COMPARAISON AVEC CELLE DE HEMLO

|        | (1) (2) |       |       |       |       |       |      |      |       |       |       |      |       |      |
|--------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|-------|------|
| S pds% | 12.8    | 12.4  | 12.3  | 12.1  | 12.5  | 12.9  | 12.7 | 12.9 | 12.9  | 12.8  | 13.1  | 12.7 | 12.7  | 13.1 |
| Sb     | 49.6    | 49.8  | 50.1  | 50.0  | 49.1  | 48.8  | 48.5 | 49.7 | 49.7  | 49.7  | 49.1  | 47.8 | 49.3  | 47.7 |
| Au     | 24.7    | 25.5  | 24.3  | 25.5  | 25.4  | 25.2  | 24.6 | 24.1 | 25.3  | 24.4  | 23.4  | 24.5 | 24.7  | 22.9 |
| Tl     | 4.5     | 5.1   | 6.0   | 4.9   | 6.0   | 4.6   | 5.1  | 4.6  | 4.2   | 5.8   | 5.1   | 5.1  | 5.0   | 7.5  |
| Ag     | 9.2     | 9.1   | 9.6   | 9.3   | 8.8   | 8.6   | 8.7  | 8.6  | 8.7   | 8.8   | 9.4   | 8.8  | 9.0   | 8.5  |
|        | 100.8   | 101.9 | 102.3 | 102.0 | 101.8 | 100.1 | 99.6 | 99.9 | 100.8 | 101.5 | 100.1 | 98.9 | 100.7 | 99.7 |
| S at%  | 38.5    | 37.4  | 37.0  | 36.7  | 37.8  | 38.9  | 38.6 | 38.8 | 38.7  | 38.3  | 39.1  | 38.9 | 38.2  |      |
| Sb     | 39.1    | 39.4  | 39.8  | 40.0  | 39.0  | 38.8  | 38.8 | 39.4 | 39.2  | 39.2  | 38.7  | 38.4 | 39.2  |      |
| Au     | 12.1    | 12.5  | 11.9  | 12.6  | 12.5  | 12.4  | 12.2 | 11.8 | 12.3  | 11.9  | 11.4  | 12.2 | 12.1  |      |
| Tl     | 2.1     | 2.4   | 2.4   | 2.3   | 2.8   | 2.2   | 2.4  | 2.2  | 1.9   | 2.7   | 2.4   | 2.4  | 2.4   |      |
| Ag     | 8.2     | 8.1   | 8.6   | 8.4   | 7.9   | 7.7   | 7.8  | 7.7  | 7.8   | 7.8   | 8.3   | 8.0  | 8.0   |      |

Formule structurale (base de 26 atomes):  $Tl_{0.6}Ag_{2.1}Au_{3.1}Sb_{10.2}S_{9.9}$ . Analyses effectuées à l'aide d'une microsonde CAMEBAX à 20 keV avec une intensité de 20 nA. Etalons utilisés:  $FeS_2$  naturelle ( $S_{K\alpha}$ ),  $Sb_2S_3$  naturelle ( $Sb_{L\alpha}$ ), or pur ( $Au_{M\alpha}$ ), lorandite  $TlAsS$  naturelle ( $Tl_{M\alpha}$ ), argent pur ( $Ag_{L\alpha}$ ). (1) Moyenne sur 12 analyses, (2) criddléite de Hemlo (Harris *et al.* 1988).

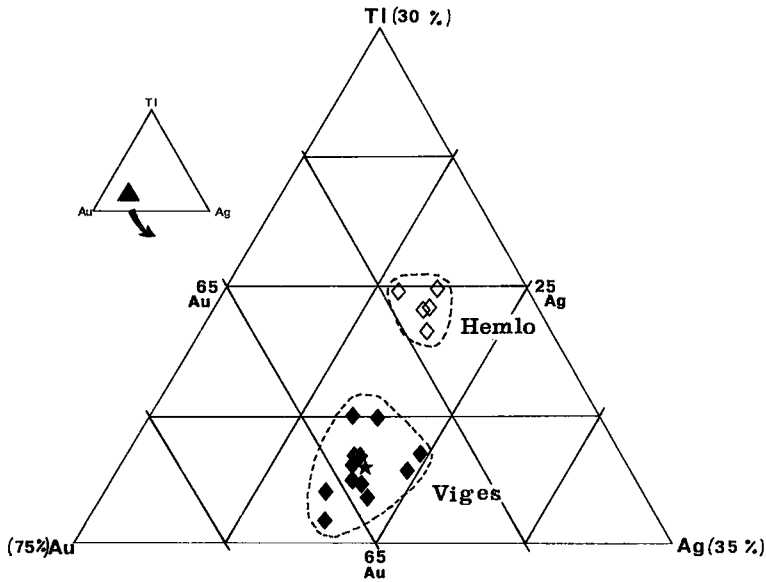


FIG. 4. Diagramme Tl-Au-Ag montrant la différence en composition de la cridlléite de Viges par rapport à celle du gisement de Hemlo.

ce qui conduit, sur la base d'un total de 26 atomes (Harris *et al.* 1988), à la formule  $Tl_{0.6}Ag_{2.1}Au_{3.1}S_{9.9}Sb_{10.2}$  pour notre exemple. Le rapport atomique  $Tl_{Viges}/Tl_{Hemlo}$  est donc égal à 0.6. Cependant, la somme des atomes (Tl + Au + Ag) égale à 5.8 est compatible avec le total de 6 atomes donné pour la cridlléite de Hemlo. La formule idéale de la cridlléite de Viges pourrait donc s'exprimer sous la forme  $(Tl,Ag,Au)_6Sb_{10}S_{10}$ , qui traduit la possibilité de substitutions entre Tl, Ag et Au. Il existerait donc un faible domaine de solution solide unis-

sant la cridlléite de Viges, riche en Au-Ag, à celle de Hemlo, riche en Tl.

La cridlléite a pu également être observée en fines lamelles dans une matrice à faible pouvoir réflecteur, de teinte brunâtre en lumière réfléchie, qui s'interprète comme un produit d'altération supergène de l'aurostibite. Cette matrice apparaît en auréoles à structure rubanée ou collomorphe bordant des plages d'aurostibite (Fig. 5), ou en belles plages millimétriques avec de l'aurostibite résiduelle (Fig. 6). L'examen au microscope électronique à balayage et

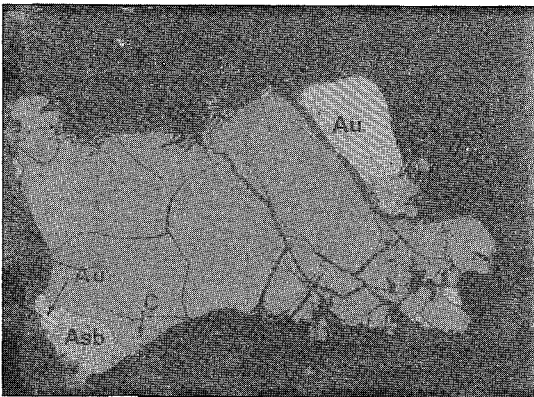


FIG. 5. Plaque d'or (Au) et auréole de stibiconite contenant de l'or cryptocristallin développée par l'altération supergène de l'aurostibite (Asb). L'échelle correspond à 20  $\mu m$ .

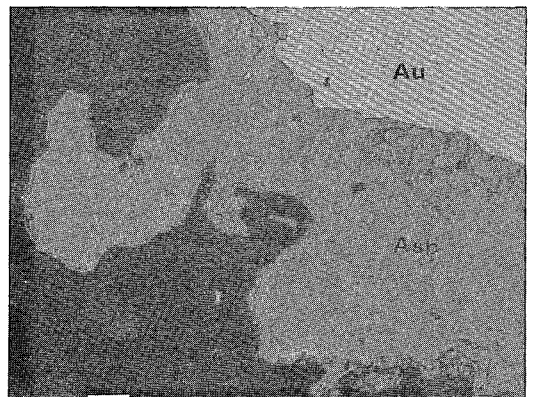


FIG. 6. Grande plaque de stibiconite (gris foncé) contenant de la cridlléite (C), au contact d'aurostibite résiduelle (Asb) et d'or (Au). L'échelle correspond à 40  $\mu m$ .

les analyses diffractométriques aux rayons X ont montré qu'il s'agissait d'un mélange de stibiconite ( $\text{Sb}_3\text{O}_6\text{OH}$ ) et d'or cryptocristallin.

#### ANALOGIES CRISTALLOCHIMIQUES ENTRE LA CRIDDLÉITE ET LA ROHAÏTE

La rohaïte est un sulfoantimoniure de thallium et cuivre, de formule idéale  $\text{Tl}_2\text{Cu}_{8,67}\text{Sb}_2\text{S}_4$ , appartenant à une série d'homologues thallifères (Makovicky *et al.* 1980), qui correspondent à l'agencement de différents feuillets cationiques suivant l'axe *c*. La parenté chimique entre criddléite et rohaïte tient à la présence conjointe de Tl et Sb, ainsi qu'à la nécessité d'envisager, afin d'assurer l'équilibre des valences, qu'une partie de l'antimoine de la criddléite joue un rôle d'anion, comme dans la rohaïte. La parenté est cependant plus prononcée au niveau cristallographique, puisque les deux espèces sont pseudo-trigonales avec, pour la rohaïte,  $a = 2b = 2 \times 3.80 \text{ \AA}$  et  $c = 20.99 \text{ \AA}$  et pour la criddléite,  $b = 8.08 \text{ \AA} \cong c = 7.83 \text{ \AA}$  et  $a = 20.02 \text{ \AA}$  ( $\beta = 92^\circ$ ) (Harris *et al.* 1988).

Les volumes des deux mailles, à un multiple près, ne diffèrent que de 4% en faveur de la criddléite, ce qui pourrait faire penser à une relation d'isomorphisme, mais la densité calculée pour la criddléite sur la base de 4 atomes de soufre (comme pour la rohaïte, soit 16 atomes pour la maille élémentaire) est trop faible (5.07 contre 6.86 mesurée; Harris *et al.* 1988). La criddléite serait donc un homologue de la rohaïte, dont la (sous-)structure serait construite sur la base de 5 atomes de soufre, soit une unité formulaire du type  $\text{Me}_3\text{Sb}_5\text{S}_5$  (Me: métaux).

Dans la série d'homologues décrite par Makovicky *et al.* (1980), la parenté structurale est contrôlée par les couches contenant les gros cations (Tl, éventuellement K), en coordination pseudo-cubique. Ce même type de contrainte cristallochimique est joué probablement dans la criddléite par Tl et Au (au moins en partie), ce qui est difficilement envisageable par contre pour Ag, qui n'admet que des coordinances plus basses (3 à 8). Compte tenu des analyses de criddléite, une formule simplifiée différenciant les deux types de cations métalliques serait alors:  $(\text{Tl,Au})_2\text{AgSb}_5\text{S}_5$  (avec  $Z = 4$ ).

#### CONDITIONS DE FORMATION DE LA CRIDDLÉITE: DONNÉES THERMOMÉTRIQUES

Les géodes du quartz blanc laiteux relèvent des stades tardifs d'évolution des zones de cisaillement, qui se forment traditionnellement à température et pression relativement faibles. Ces conditions prévalent donc très probablement à la genèse de l'association or-aurostibite-criddléite, qui occupe les géodes quartzzeuses. Pour préciser les conditions de pression et de température de mise en place de la minéralisa-

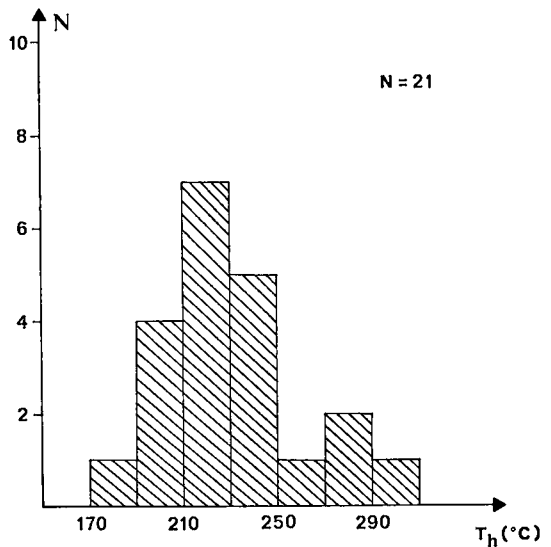


FIG. 7. Histogramme des températures d'homogénéisation ( $T_h$ ) des inclusions fluides du quartz blanc laiteux.

tion, l'étude des inclusions fluides de ce quartz a été entreprise. Les inclusions sont de formes variées, et se répartissent indifféremment au sein de celui-ci. Il est possible d'en distinguer deux types principaux: (1) des inclusions monophasées (liquides), de petite taille ( $< 5 \mu\text{m}$ ) et (2) des inclusions biphasées peu abondantes, de taille variable (5 à  $20 \mu\text{m}$ ), dans lesquelles la phase liquide est toujours dominante. La phase gazeuse occupe 5-10% du volume d'une inclusion.

Les inclusions fluides possèdent une salinité faible, de l'ordre de 2 à 4% équivalent poids NaCl, comme l'indiquent les mesures de température de fusion de la glace comprises entre  $-1.5$  et  $-2.5^\circ\text{C}$ . Les températures d'homogénéisation sont comprises entre 170 et  $300^\circ\text{C}$ , la majorité des valeurs se situant entre 200 et  $250^\circ\text{C}$ , avec un mode très net entre 210 et  $230^\circ\text{C}$  (Fig. 7). Ces températures d'homogénéisation représentent des températures minimales de piégeage des fluides, qui doivent être corrigées en fonction de la pression. Dans le contexte volcano-sédimentaire de Viges, on peut considérer un enfouissement relativement faible, comme l'atteste la présence de matériel carboné anthracitique mais non encore graphiteux. De plus, le faciès quartz blanc laiteux est représentatif d'un phénomène d'ouverture au niveau de la zone de cisaillement, comme en témoigne localement le développement de quartz automorphe millimétrique dit quartz microcristallin géodique, très souvent associé au quartz blanc laiteux (Bonnemaison et Braux 1987). En conséquence, les

pressions seraient relativement faibles, de l'ordre de quelques centaines de bars. Il est admis qu'une faible pression de piégeage induit une correction de température due à la pression en général inférieure à 20°C (Touray 1987). La microthermométrie conduit donc à estimer à  $220 \pm 20^\circ\text{C}$  la température moyenne de cristallisation du quartz blanc laiteux. Nous considérons cette température comme un maximum pour la formation de la paragenèse à criddléite.

#### CONCLUSION

L'indice de Viges représente actuellement le second gîte connu à criddléite. C'est également le second gîte français de minéraux thallifères après Jas-Roux, Hautes-Alpes (Mantienne 1974; Fig.1). Comme à Hemlo, elle est étroitement associée à l'aurostibite, ce qui impose une fugacité en soufre relativement faible. La composition chimique diffère cependant légèrement de celle du gisement-type, impliquant probablement des substitutions Tl-Au et Au-Ag. La formule structurale serait donc à reconsidérer en tenant compte d'une parenté probable avec la série de la rohaïte (Makovicky *et al.* 1980).

Le contexte structural de Viges se rattache au type "zone de cisaillement aurifère", bien représenté dans le socle hercynien français (Bonnemaison et Marcoux 1987). La paragenèse à criddléite se rattache au stade de pépétisation de l'or. L'expression minéralogique du thallium semblerait donc résulter d'un enrichissement ultime des fluides plutôt que d'une reconcentration à partir des stades pré-existants. L'interface socle-couverture (terrains volcano-sédimentaires viséens) aurait favorisé la fixation du thallium, de manière analogue à l'indice de Jas-Roux.

#### REMERCIEMENTS

Nos remerciements s'adressent en premier lieu à M. C. Gilles et M. J. Breton (BRGM, SGN/ANA) respectivement pour les analyses à la microsonde et au microscope électronique à balayage. Nous sommes très reconnaissants à M. D.C. Harris pour son aide et ses critiques constructives. Nos remerciements vont aussi à M. A.J. Criddle et M. C.J. Stanley pour l'intérêt qu'ils ont manifesté pour notre découverte, ainsi qu'à R. Hébert, R.F. Martin et un lecteur anonyme pour les critiques de l'article.

#### RÉFÉRENCES

- BONNEMAISON, M. (1986): Les filons de quartz aurifères: un cas particulier de shear-zone aurifère. *Chron. Rech. Min.* **482**, 55-65.
- \_\_\_\_\_ & BRAUX, C. (1987): Le P.E.R. de Viges (Creuse). Bilan des travaux exécutés en 1985. *Bur. Rech. Géol. Min., Rapport 87/DAM/002/DEX*.
- \_\_\_\_\_ & MARCOUX, E. (1987): Les shear-zones aurifères. Proposition d'un modèle conceptuel. *Bur. Rech. Géol. Min., Rapport 87/DAM/016/DEX*.
- GATELLIER, J.P. & DISNAR, J.R. (1989): Organic matter and gold-ore association in a hydrothermal deposit, France. *Appl. Geochem.* **4**, 143-149.
- HARRIS, D.C., ROBERTS, A.C., LAFLAMME, J.H.G. & STANLEY, C.J. (1988): Criddleite (TlAg<sub>2</sub>Au<sub>3</sub>Sb<sub>10</sub>S<sub>10</sub>), a new gold-bearing mineral from Hemlo, Ontario, Canada. *Mineral. Mag.* **52**, 691-697.
- JOHAN, Z., MARCOUX, E. & BONNEMAISON, M. (1989): Arsénopyrite aurifère: mode de substitution de Au dans la structure de FeAsS. *C.R. Acad. Sci. Paris* **308**, Série II, 185-191.
- MAKOVICKY, E., JOHAN, Z. & KARUP-MØLLER, S. (1980): New Data on bukovite, thalcosite, chalcophyllite and rohaïte. *Neues Jahrb. Mineral. Abh.* **138**, 122-146.
- MANTIENNE, J. (1974): *La minéralisation thallifère de Jas-Roux (Hautes Alpes)*. Thèse Doct., Univ. de Paris, Paris, France.
- MARCOUX, E., BONNEMAISON, M., BRAUX, C. & JOHAN, Z. (1989): Distribution de Au, Sb et Fe dans l'arsénopyrite aurifère du Châtelet et de Villeranges (Creuse, Massif Central français). *C.R. Acad. Sci. Paris* **308**, Série II, 293-300.
- PICOT, P. & MARCOUX, E. (1986): Nouvelles données sur la métallogénie de l'or. *C.R. Acad. Sci. Paris* **304**, Série II, 221-226.
- QUÉNARDEL, J.M., ROLIN, P. & LEROUGE, G. (1984): Failles et décrochements carbonifères dans le Massif Central Nord Occidental (France). 109e Congrès National des Sociétés Savantes (Dijon), Sciences 1, 215-225.
- TOURAY, J.C. (1987): Transport et dépôt de l'or dans les fluides de la croûte continentale, l'apport des études des inclusions fluides. *Chron. Rech. Min.* **488**, 43-53.

Reçu le 4 avril, 1990, manuscrit révisé accepté le 15 juillet, 1990.