

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen = Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie
<b>Band:</b>	58 (1978)
<b>Heft:</b>	1-2
<b>Artikel:</b>	Etude descriptive des inclusions fluides dans les chlorapatites synthétisées par voie hydrothermale : correlations avec les conditions expérimentales
<b>Autor:</b>	Baumer, Alain / Argolas, Robert
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-45192">https://doi.org/10.5169/seals-45192</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 10.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Etude descriptive des inclusions fluides dans les chlorapatites synthétisées par voie hydrothermale

### Correlations avec les conditions expérimentales

Par *Alain Baumer* \*) et *Robert Argiolas* \*)

#### Abstract

Large dimension chlorapatite crystals have been hydrothermally synthetised, and an exhaustive study of trapped fluid inclusions is undertaken. The filling grade is intimately related with formation conditions, and like made comments bring informations connected with mineral forming media.

#### Résumé

La synthèse de cristaux de chlorapatite de dimensions relativement importantes permet une étude exhaustive des inclusions fluides qu'ils contiennent. Le coefficient de remplissage dépend étroitement des conditions de formation et les observations ainsi réalisées apportent des renseignements sur le comportement du milieu de croissance.

#### INTRODUCTION

La chlorapatite  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$  est synthétisée par voie hydrothermale dans le système  $\text{CaO}-\text{CaCl}_2-\text{P}_2\text{O}_5-\text{H}_2\text{O}$ , dans un intervalle température pression compris entre 200 et 850 °C et 1 et 3000 bars (ARGIOLAS et BAUMER, 1978). La taille des cristaux et de leurs cavités intracristallines permettent une étude détaillée de ces inclusions. Les observations que nous proposons portent sur deux points essentiels :

- les caractères morphologiques des cavités primaires et leur rapport avec le faciès du cristal hôte;
- le fluide piégé et les variations du taux de remplissage en relation avec les conditions physico-chimiques de la croissance (fig. 1).

\*) Laboratoire de Pétrologie Minéralogie, E.R.A. n° 450 «Stabilité et Réactivité des Minéraux» CNRS, Faculté des Sciences et Techniques, Parc Valrose, 06034 Nice Cedex.

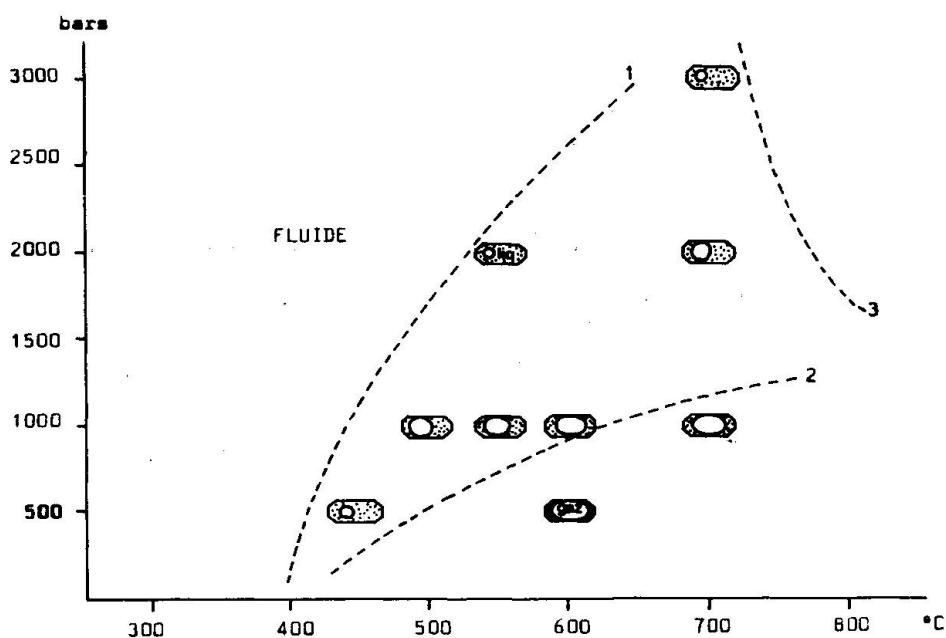


Fig. 1. Modification du taux de remplissage des cavités en relation avec les conditions expérimentales.

- 1 – Apparition des cristaux, de faciès trapu.
- 2 – Apparition des cristaux aciculaires.
- 3 – Limite d'utilisation de l'appareillage.

#### CONDITIONS EXPÉRIMENTALES

Les cristaux sur lesquels a été entreprise l'étude des inclusions sont obtenus à partir d'une solution aqueuse saturée de chlorure de calcium et d'acide orthophosphorique de rapport Ca/P = 1,66. Les expériences sont effectuées dans des tubes en or de 30 mm de longueur et 2,2 mm de section, scellés hermétiquement à leurs extrémités et introduits dans un autoclave de 350 mm de longueur,

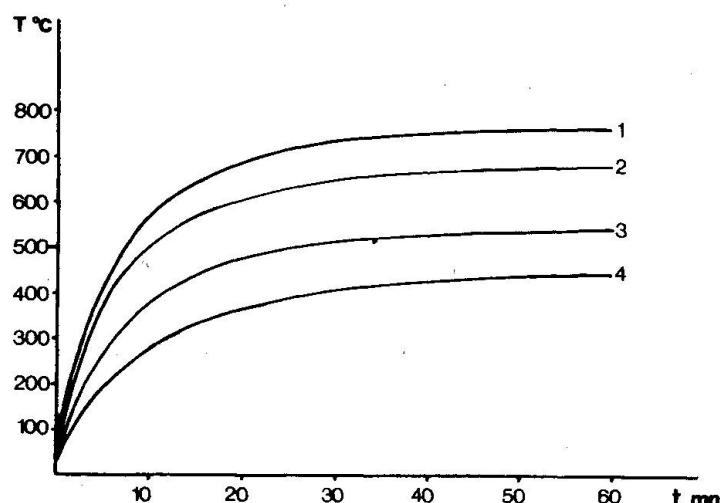


Fig. 2. Courbes de montée en température en fonction du temps.

- 1 – Four préchauffé à 800° C.
- 2 – Four préchauffé à 700° C.
- 3 – Four préchauffé à 600° C.
- 4 – Four préchauffé à 500° C.

Courbes de montée en température d'un autoclave de dimensions: diamètre extér. 28 mm, diamètre intér. 6 mm.

26 mm de diamètre externe, et 6 mm de diamètre interne. Le four est préchauffé à la température désirée, et la montée en température se fait suivant les courbes décrites (fig. 2); la pression est maintenue constante pendant la montée qui s'effectue en un temps inférieur à 45 mn, dans le cas général. L'étude du domaine expérimental montre que les premiers cristaux apparaissent entre 400 et 500°C pour une pression comprise entre 500 et 1000 bars. Un bref examen des courbes montre que ce passage entre 400 et 500°C peut se faire très rapidement; cette vitesse entraîne une modification plus ou moins brusque de la sur-saturation du milieu de croissance qui joue un rôle majeur sur l'évolution de faciès des cristaux formés (ARGIOLAS et BAUMER, 1978).

## DESCRIPTION DES CAVITÉS

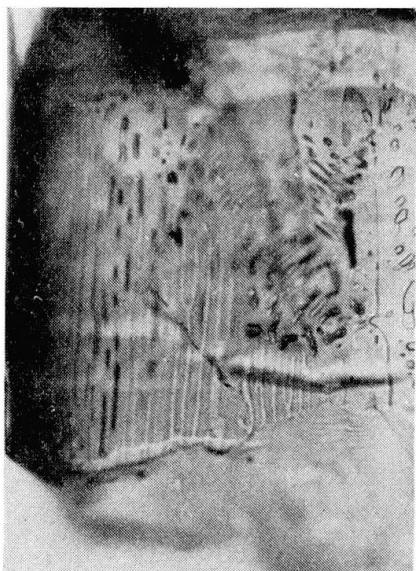
Pour interpréter les résultats obtenus, nous nous sommes appuyés sur certains travaux, notamment ceux de KENNEDY (1950), DEICHA (1955), YERMAKOV (1965), ROEDDER (1972), WEISBROD et al. (1976), TOURET (1977).

Les inclusions fluides que nous observons sont enfermées dans des cavités d'aspect différent. Si certaines sont orientées cristallographiquement et ont des faces nettes, il est fréquent de voir des fractures soulignées par de multiples cavités difformes de très petite taille et sans orientation bien définie.

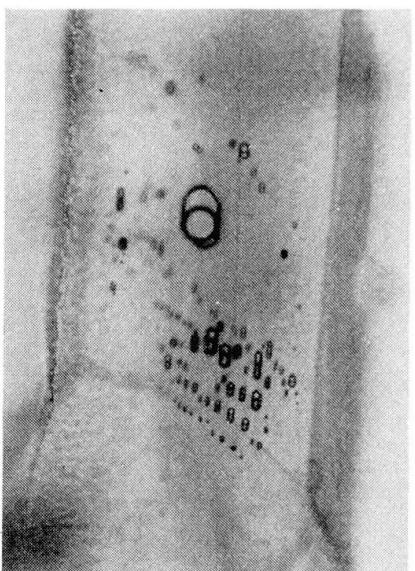
### 1. Les inclusions primaires

Ce sont des lacunes de croissance automorphes, orientées cristallographiquement de plusieurs façons; dans le cas général la direction d'allongement est parallèle à l'axe sénaire. Ces cristaux négatifs sont délimités par des faces nettes (fig. 3b et fig. 4) qui ne sont pas toujours présentes sur le cristal hôte: elles constituent une image assez fidèle du faciès de croissance du cristal au moment de leur formation. Les extrémités ne montrent pas toujours nettement les facettes pyramidales, et s'assimilent à des calottes arrondies, description qui correspond en tous points à celles faites par GIRAULT (1966), GIRAULT et al. (1967), et RANKIN (1975) sur des apatites naturelles.

Les cavités dont l'élongation est normale à celle du cristal se localisent souvent à proximité des pyramides et semblent témoigner d'un défaut situé sur l'arête entre prisme et pyramide au stade de croissance considéré (fig. 4b et fig. 5a). Parfois, le développement relatif des faces de même notation peut donner l'impression d'une cavité étirée dans d'autres directions que celles définies par les axes cristallographiques (fig. 4c). Ces lacunes peuvent être aciculaires et s'étirent dans les cas extrêmes sur toute la longueur du cristal. Ce type est fréquent dans les cristaux allongés en aiguilles, mais il reste relativement rare dans les cristaux trapus. En revanche, les cavités de faible élongation sont



a)



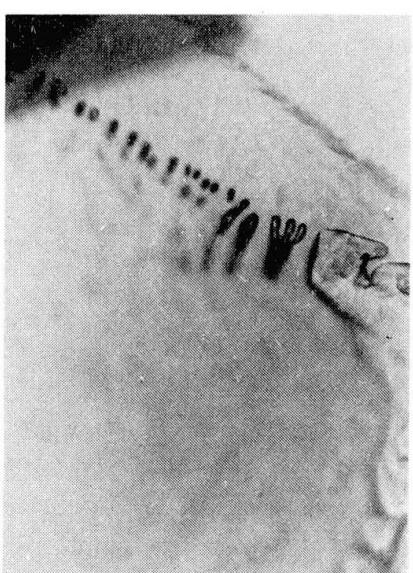
b)

a) Surface cristalline présentant des phénomènes de dissolution.  
Cond. exp.: T 600° C, P 1500 bars.  
Grand.:  $\times 1000$ .

b) La mise au point du microscope met en évidence des cavités coplanaires. Cond. exp.: T 600° C,  
P 1000 bars. Grand.:  $\times 1000$ .



c)

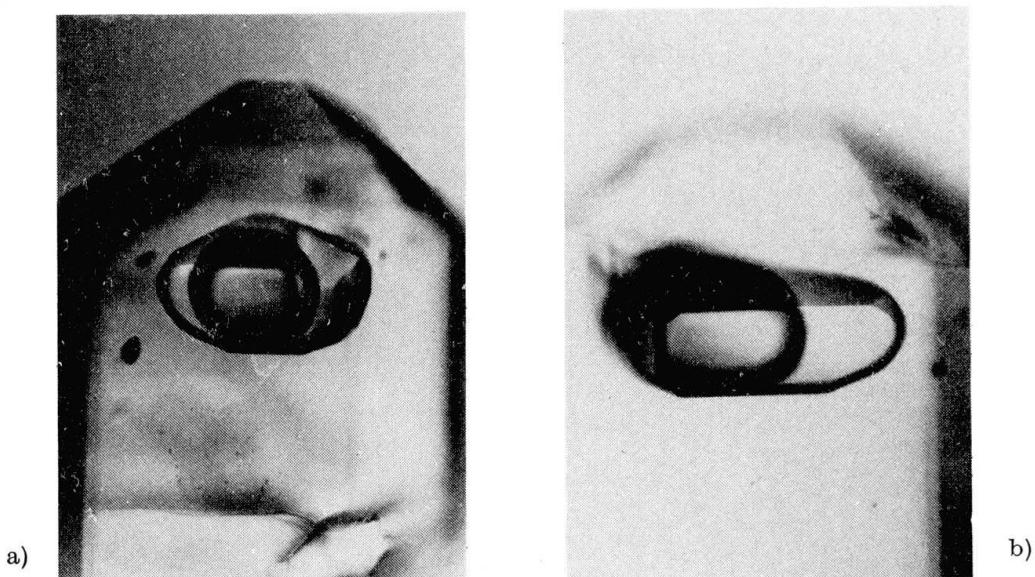


d)

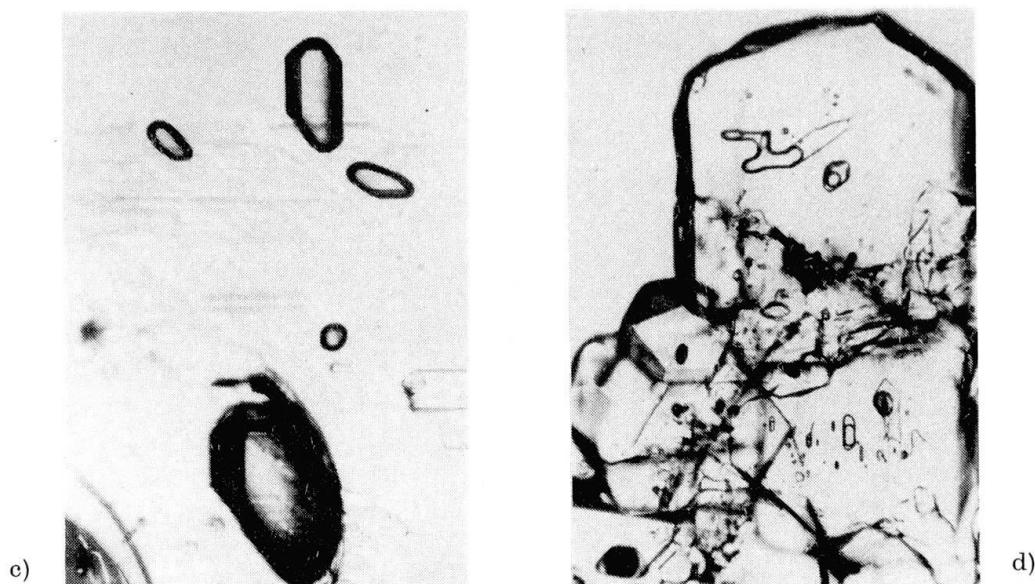
c, d) Fissure recristallisée soulignée par des inclusions secondaires. Cond. exp.:  
T croissance dans un intervalle compris entre 300 et 575° C. P 1500 bars.  
Grand.: c)  $\times 400$ ; d)  $\times 1000$ .

Fig. 3.

réparties indifféremment dans les cristaux trapus et aciculaires; ainsi, la relation entre habitus des lacunes et des cristaux ne s'établit pas simplement, bien que les conditions de croissance des unes et des autres soient incontestablement liées, les deux étant limités par des faces planes.



a, b) Les faces des cristaux négatifs sont facilement reconnaissables; les extrémités qui paraissent arrondies sont en fait des facettes. Cond. exp.: T 500° C, P 1000 bars. Grand.:  $\times 1000$ .



c) Inclusions monophase; la direction apparente de l'étirement est due au développements relatifs des faces de même notation. Cond. exp.: T 300° C, P 750 bars. Grand.:  $\times 800$ .

d) La perturbation de la croissance amène des cavités d'aspect différent dans un même cristal. Cond. exp.: T 550° C, P 1000 bars. Grand.:  $\times 1000$ .

Fig. 4.

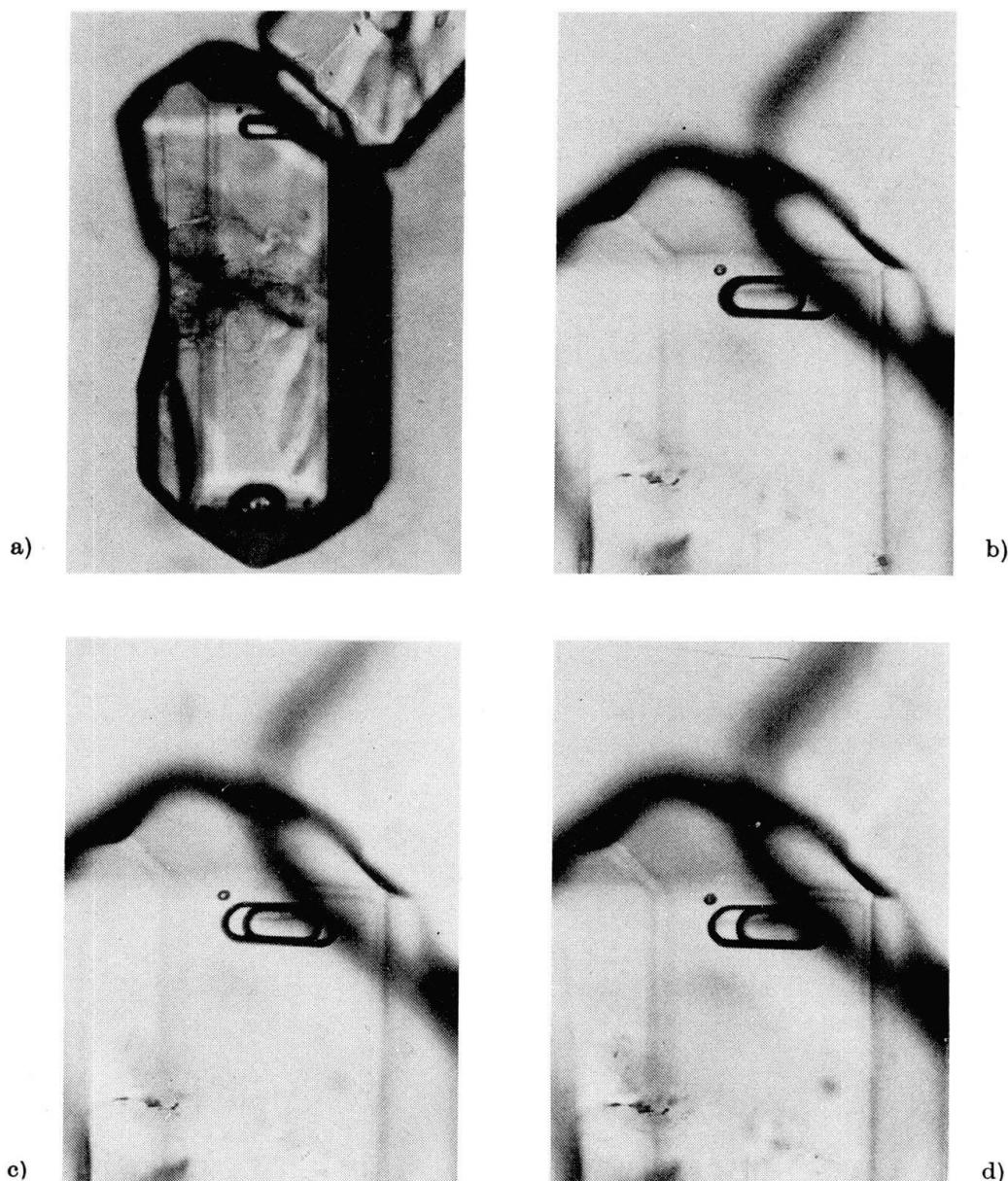


Fig. 5. a, b, c, d) Le déplacement est obtenu par l'introduction du condenseur du microscope. Cond. exp.: T 550° C, P 1000 bars. Grand.: a)  $\times 250$ , b, c, d)  $\times 600$ .

## 2. Les inclusions secondaires

Ce sont les cavités difformes, sans orientation cristallographique, et fréquemment reliées entre elles par de fins canaux qui constituent, dans les cas extrêmes, un véritable réseau. Elles résultent vraisemblablement d'un processus de dissolution, car nous avons pu observer des figures semblables à la surface de certains cristaux qui, en équilibre instable avec le milieu de croissance, ont tendance à se redissoudre. De même elles soulignent des fissures résultant de

constraintes lors de la cristallisation, et qui sont par la suite cicatrisées (fig. 3 c, d). Lorsque cette oblitération a lieu, la recristallisation permet la capture d'un fluide qui montre une bulle de retrait résultant de sa contraction au moment du refroidissement de l'autoclave. La distinction que nous effectuons entre ces cavités et les inclusions primaires porte sur le fait qu'il ne s'agit pas de lacunes de croissance, mais le fluide emprisonné reste bien représentatif du milieu dans lequel la recristallisation s'est produite. Afin d'éviter l'ambiguité quant à la représentativité du contenu des cavités, nous nous appuyons uniquement pour cette étude, sur celles dont l'étanchéité paraît établie.

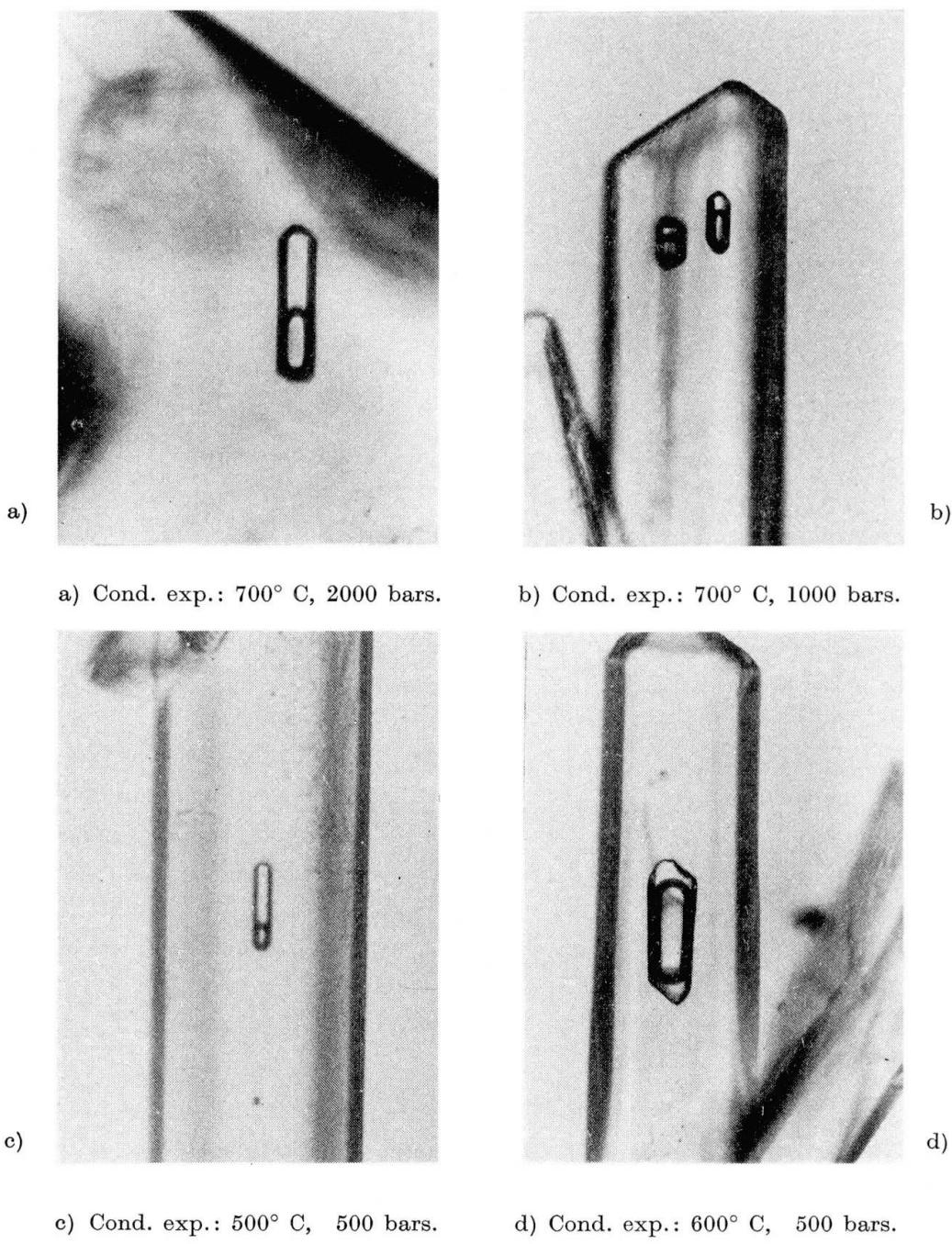
### LE FLUIDE INCLUS

Les nombreuses cavités rencontrées ont fait l'objet d'une étude systématique qui conduit aux faits suivants :

— Aucune phase solide, cristal ou verre, n'est incluse. La chlorapatite est la seule phase solide qui se forme dans le système choisi, et la cristallisation éventuelle à partir du fluide emprisonné se ferait sur les parois planes du cristal négatif.

— La contraction du fluide, lors du refroidissement, provoque dans tous les cas une bulle de retrait occupée par une phase gazeuse sous faible pression ; cette bulle est parfois très mobile (fig. 5 b, c, d), et une élévation de température provoquée par l'introduction du condenseur du microscope suffit à produire un déplacement. Il arrive que cette bulle soit inobservables, car trop petite. La figure 4c montre des cavités enfermant une phase unique : il s'agit de lacunes observées dans des cristaux formés à 300° C, 750 bars, à partir d'un mélange de composition  $3\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 10\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . On constate sur le diagramme de phases pour  $\text{H}_2\text{O}$  en fonction de la température et de la pression que le point 300° C-750 bars fait partie du domaine  $\text{H}_2\text{O}$  liquide. Les cristaux d'apatite formés dans ces conditions ne présentent que des inclusions monophase, sans bulle de retrait, ces inclusions ne sont constituées que par une phase liquide. Nous pouvons en conclure que les phases solides du milieu de départ se sont totalement dissoutes pour former un liquide sursaturé où précipitent les cristaux d'apatite.

Des expériences caractéristiques mettent en évidence l'évolution du taux de remplissage  $V_{\text{liq.}}/V_{\text{liq.}} + V_{\text{gaz}}$  des lacunes (tableau 1). Il apparaît que la diminution de pression à température constante ou l'élévation de température à pression constante montrent une réduction du taux de remplissage (fig. 6). Ainsi, pour une pression de 1000 bars, ce taux est de 0,5 à 500° C, 0,45 à 550° C, 0,40 à 600° C et 0,33 à 700° C. L'évolution des propriétés du liquide et du fluide permettant de synthétiser la chlorapatite dans l'intervalle choisi est comparable à celle des propriétés du système  $\text{H}_2\text{O}$  (KENNEDY, 1950) ; elle est schématisée à la figure 1. Pour faciliter la compréhension, seules ont été citées les expériences



a) Cond. exp.:  $700^\circ\text{ C}$ , 2000 bars.      b) Cond. exp.:  $700^\circ\text{ C}$ , 1000 bars.

c) Cond. exp.:  $500^\circ\text{ C}$ , 500 bars.      d) Cond. exp.:  $600^\circ\text{ C}$ , 500 bars.

Fig. 6. Modification des taux de remplissage des cavités.  
Grand.: a, b, c, d)  $\times 1000$ .

les plus caractéristiques. Mais la tendance évolutive mise en évidence résulte d'observations systématiques sur plusieurs centaines de cristaux.

Les inclusions fluides capturées reflètent bien les modifications de comportement du milieu de croissance; les fluides fortement sursaturés, permettant la cristallisation rapide en aiguilles sont obtenus aux faibles pressions et hautes températures, et inversement pour les cristaux trapus. La sursaturation varie en sens inverse de la densité du fluide de croissance considéré. Notons qu'il n'est

Tableau 1

Les taux de remplissage sont estimés à partir de mesures sous le microscope et sur des documents photographiques.

T °C	P bars	Durée (h)	Taux de remplissage
450	500	20	0,75
500	1000	20	0,50
550	1000	20	0,45
	2000	20	0,80
600	500	20	0,25
	1000	20	0,40
700	1000	20	0,33
	2000	20	0,66
	3000	20	0,80

pas incompatible de voir une cavité enfermer un fluide de densité élevée dans un cristal aciculaire, c'est-à-dire ayant poussé aux fortes sursaturations : l'inclusion fige un milieu particulier caractéristique d'un stade minéralogique donné. Lorsque cette cavité s'est refermée totalement, elle ne prend plus en compte les variations des conditions de croissance susceptibles de modifier le faciès du cristal ; cette évolution peut alors apparaître sur des inclusions de générations différentes dans un même cristal. Dans des expériences où les conditions de croissance ont été modifiées volontairement ou non – fuite de pression –, il est fréquent de voir sur un même cristal ainsi que sur des cristaux séparés, des cavités ayant des taux de remplissage variables, accompagnant d'autres signes de perturbation de la croissance ; les inclusions retracent l'histoire de la formation du cristal.

## CONCLUSION

L'étude des inclusions fluides ne peut être dissociée de l'étude générale des conditions de croissance. Elle a été entreprise ici dans le but de contribuer à la connaissance des milieux de formation des apatites. Ces résultats montrent notamment que les cristaux de chlorapatite peuvent croître à partir d'un liquide, comme le montrent les cavités dont le contenu est monophase, ainsi qu'à partir d'un fluide comme l'indiquent les taux de remplissage variables des cavités. Elles sont ici le meilleur indicateur du comportement du milieux de croissance. Dans certains cas, il est possible de voir des cavités de générations différentes témoigner directement des variations des propriétés du fluide relativement aux modifications des conditions de formation.

L'extension de ce travail à d'autres milieux de formation (substitution de Ca par Sr et de Cl par F) montre des résultats tout à fait comparables, dans le cadre de nos conditions expérimentales.

**Remerciements**

Nous remercions M. le Prof. G. Turco pour ses conseils lors de la lecture de cette note, ainsi que M. J. Touret pour ses observations constructives.

**Bibliographie**

- ARGIOLAS, R. et A. BAUMER (1978): Synthèse de chlorapatite par voie hydrothermale: étude de l'influence de la sursaturation sur l'évolution des faciès des cristaux. (*Canadian Mineralogist* - à paraître.)
- DEICHA, G. (1955): Les lacunes des cristaux et leurs inclusions fluides. Masson éd., 126 p.
- GIRAUDET, J. (1966): Contribution à l'étude paragénétique et géochimique des apatites et des pérowskites de la région d'Oka (Canada). Th. Doct. Sc. Univ. Grenoble.
- GIRAUDET, J. et M. GHAGNEAU, M. (1967): Sur les inclusions fluides des cristaux d'apatites des roches de la région d'Oka (Canada). *C. R. Acad. Sc. Paris* 264, 529-532.
- KENNEDY, G. C. (1950): Pressure-volume-temperature relations in water at elevated temperatures and pressures. *Amer. J. Sc.* 248, 540-563.
- RANKIN, A. H. (1975): Fluid inclusion studies in apatite from carbonatites of the Wasaki area of Western Kenya. *Lithos* 8, 124-136.
- ROEDDER, E. (1972): Composition of fluid inclusions. *U. S. Geol. Survey Prof. Papers*, 440 J. J., 164 p.
- TOURET, J. (1977): The significance of fluid inclusions in metamorphic rocks. *Thermodynamics in Geology*, 203-227.
- WEISBROD, A., B. POTY et J. TOURET (1976): Les inclusions fluides en géochimie pétrologie: tendances actuelles. *Bull. Soc. Franç. Minéral. Crist.* 99, 140-152.
- YERMAKOV, N. P. (1965): Research on the nature of mineral-forming solutions. Pergamon Press 22, 743 p.

Manuscrit reçu le 9 juillet 1978.