

Zeitschrift:	Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen = Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie
Band:	53 (1973)
Heft:	2
Artikel:	Le zircon et les autres minéraux accessoires de l'estérellite : relations avec la pétrogenèse de cette intrusion calco-alcaline du cycle alpin
Autor:	Caruba, C. / Boucarut, M. / Turco, G.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-41385

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: 02.01.2026

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

Le zircon et les autres minéraux accessoires de l'estérellite: Relations avec la pétrogenèse de cette intrusion calco-alcaline du cycle alpin

Par *C. Caruba* *), *M. Boucarut* **) et *G. Turco* *)

Avec 6 figures et 3 tableaux dans le texte et 1 planche

Résumé. L'étude détaillée des minéraux accessoires de l'estérellite a permis de définir le cortège caractéristique de cette roche et de préciser le type du zircon. Ces résultats sont en concordance avec les interprétations les plus récentes sur la chronologie relative des différentes phases intrusives et leur mode de mise en place.

Abstract. The detailed study of the accessory minerals of esterellite has led to the determination of the concomitant accessory minerals and of the zircon involved. The results are in good accordance with the most recent interpretation of the various intrusive phases chronology and their mode of intrusion.

La microdiorite quartzique: «estérellite» affleure sur 18 km² dans la partie méridionale de *l'Estérel*. Son âge a été l'objet d'une longue controverse qui n'est pas encore achevée (MICHEL-LÉVY 1911, BORDET 1951, ROCHE 1957, ROUBAULT et al. 1970, BOUCARUT 1971, BAUBRON communication orale 1972). Cependant l'âge tertiaire est désormais admis par la totalité des auteurs.

Le mode de mise en place de cette roche a également fait l'objet de plusieurs interprétations: pour BORDET (1951) il s'agit de trois laccolites superposés; QUIN (1962) signale l'existence de plagioclases peu zonés dans les petits laccolites et de plagioclases présentant au contraire un zonage très complexe dans les grands laccolites; pour nous il s'agit d'une *intrusion de type stock* entourée de laccolites satellites de dimensions plus modestes (Boulouris, Prola) (fig. 1).

Des travaux actuellement en cours au Laboratoire de Pétrologie Minéralogie de Nice montrent que le stock principal s'est mis en place le premier et que le laccolite de Boulouris s'y rattache; ensuite s'est produit l'ascension de l'estérellite fluidale de la zone méridionale et enfin les intrusions tardives des

*) Laboratoire de Pétrologie-Minéralogie, Equipe de Recherche «Stabilité et Réactivité des minéraux», associée au C.N.R.S. Faculté des Sciences de Nice.

**) Laboratoire de Pétrologie-Minéralogie, Faculté des Sciences de Nice.

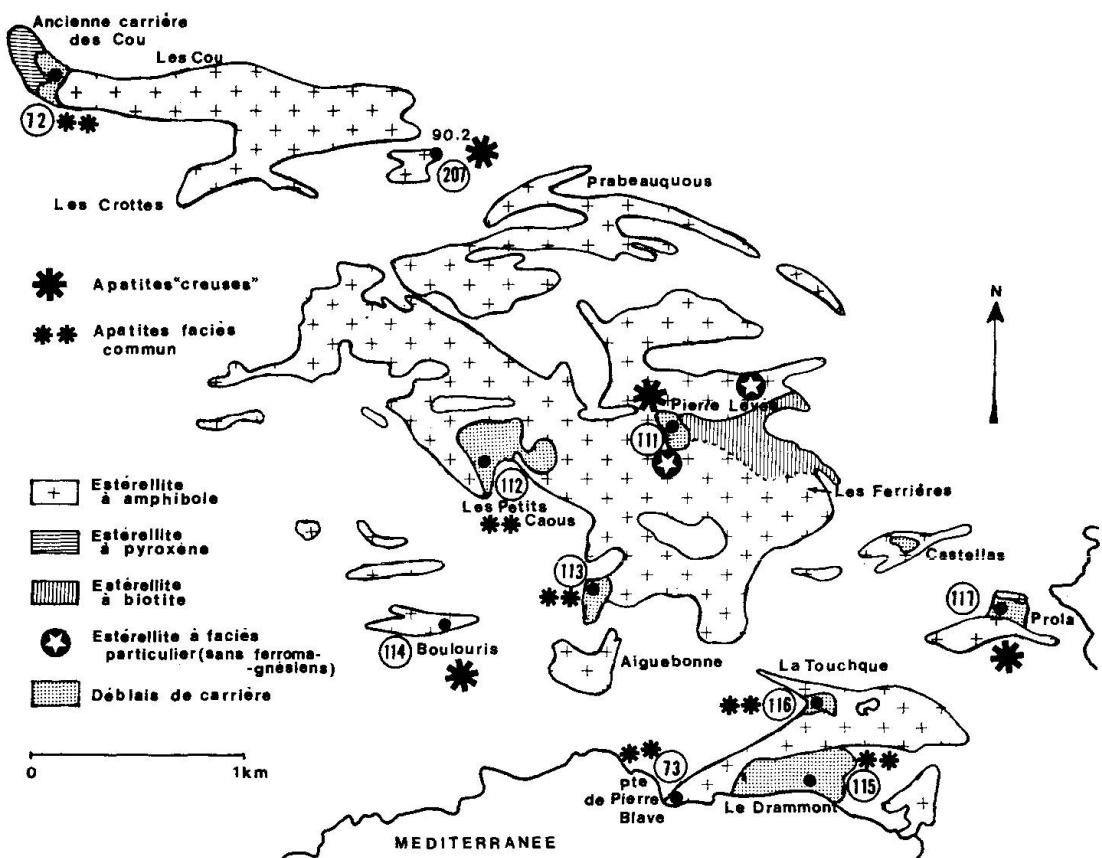


Fig. 1.

Cou au N et du laccolite de Prola au SE. La chronologie de l'ensemble de ces phénomènes s'étale probablement pendant l'oligocène (BAUBRON, communication orale 1973).

I. ÉTUDE DES MINÉRAUX ACCESSOIRES DE L'ESTÉRELLITE

Ils ont été obtenus par broyage, séparation densimétrique, magnétique et électromagnétique de 5 kg de roche en place; ce traitement a été appliqué à 10 échantillons d'estérellite et une de ses enclaves (granite potassique) (fig. 1) ainsi qu'à un échantillon de tonalite provenant du massif de l'Adamello en Italie.

L'étude quantitative globale a permis de déterminer l'I.C. (indice chiffré de BRAMMAL 1928) et l'I.C.C. (indice chiffré corrigé de PUPIN et al. 1969). Les résultats obtenus sont résumés dans la fig. 2. On constate que l'I.C. a des valeurs plus faibles dans les roches plus différenciées donc plus acides, et dans les faciès de bordure porphyroïdes. L'I.C. reflète donc mieux la composition globale de la roche que l'I.C.C.; toutefois les deux courbes ont une évolution comparable sauf en ce qui concerne l'échantillon de la Pointe de Pierre Blave (Echantillon n° 73 fig. 2).

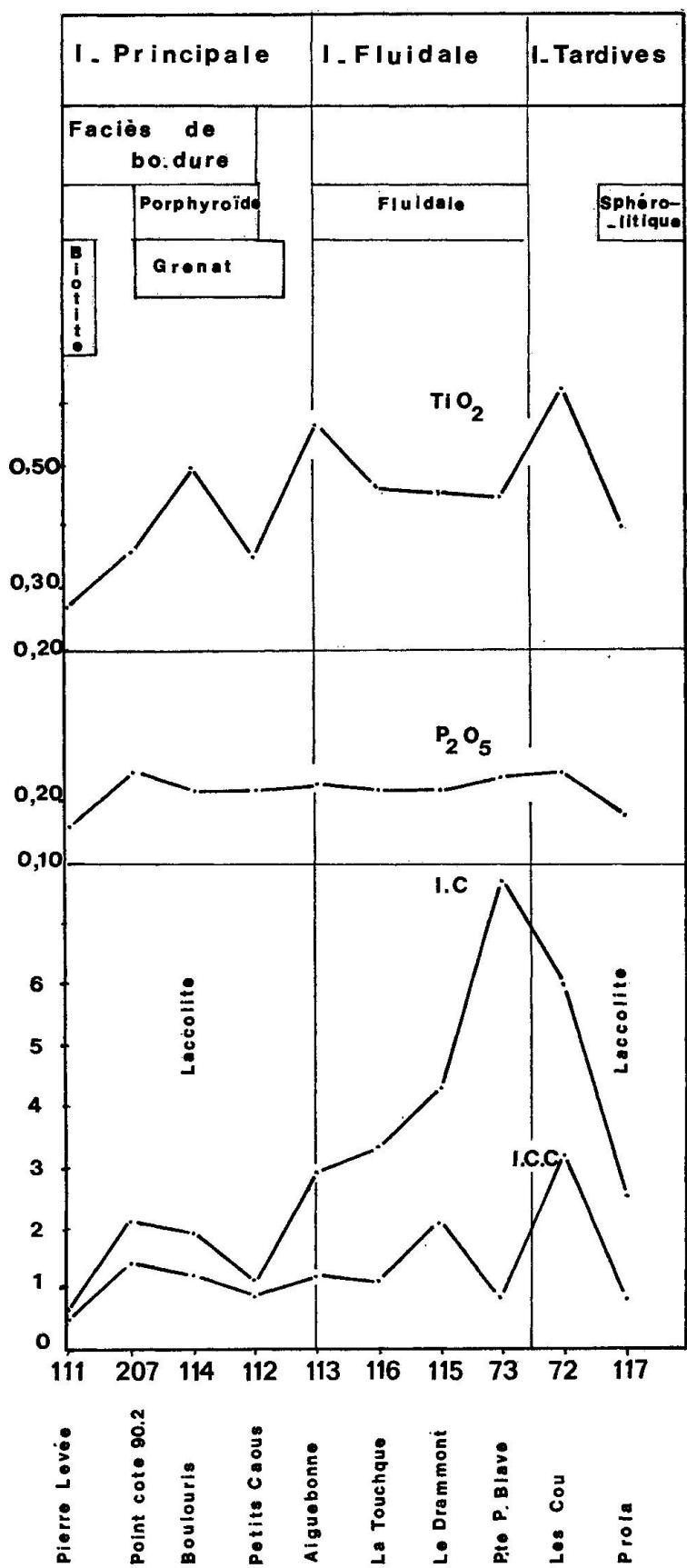


Fig. 2.

Les % pondéraux des différents minéraux accessoires sont récapitulés dans le tableau 1.

Tableau 1

N° de l'échantillon	72	73	111	112	113	114	115	116	117	207
Apatite	▲ 0,407	0,139	0,011	0,062	0,059	0,081	0,097	0,024	0,015	0,055
Rhodochrosite	+	/ / / /	/ / / /	/ / / /	/ / / /	/ / / /	/ / / /	/ / / /	/ / / /	/ / / /
Epidote	0,359	0,138	0,007	/	0,002	2.10 ⁻⁵	0,052	0,044	0,050	/
Epidote brune x 10 ⁻⁵	/ / / /	/ / / /	80	8	/ / / /	5	/ / / /	/ / / /	/ / / /	300
Grenat x 10 ⁻⁵	+	+	/ / / /	16	/	135	/	/	+	9150
Hématite	/ / / /	/ / / /	0,432	0,915	0,921	1,167	1,977	1,085	0,812	1,257
Magnétite	1,728	1,461	/ / / /	+	/	/	/	/	/	/
Malachite	+	/ / / /	/ / / /	/ / / /	/ / / /	/ / / /	/ / / /	/ / / /	/ / / /	/ / / /
Oxydes	0,044	/	0,007	/	/	/	/	/	/	/
Pyrite	/ / / /	/	0,066	+	0,062	/	/	/	/	/
Tourmaline	+	/ / / /	/ / / /	/ / / /	/ / / /	/ / / /	/ / / /	/ / / /	/ / / /	/ / / /
Zircon x 10 ⁻⁵	47	27	3,4	15	15	7,6	9	9,5	8,5	8,6

▲ 0,407 % d'apatite à partir de 5 kg de roche. + traces. // / absence.

Le poids de départ est de 5 kilogrammes pour tous les échantillons.

On peut remarquer que les teneurs en *apatite* et en *zircon* montrent des évolutions parallèles et sont moins importantes dans les faciès de bordure à biotite ou porphyroïde, ainsi que dans les laccolites satellites. A l'inverse, les *grenats* sont nettement plus abondants dans les faciès porphyroïdes.

A. Zircon

1. Le «*Zircon type*» correspondant à la définition de Mackie (1925) présente les caractères suivants (CARUBA 1971)

- incolore à rosé;
- subautomorphe, plus rarement automorphe;
- biprismé: {100}¹⁾ et {110}. Le développement relatif de ces deux faces peut être équivalent; dans le cas contraire c'est le prisme {110} qui prédomine;
- bipyramisé: {101} et {211};

¹⁾ Les indexations utilisées pour les faces sont celles données par CARUBA et TURCO (1971).

- les inclusions sont peu nombreuses, le cristal est limpide;
- le zonage est très fin ce qui le rend difficile à observer au microscope polarisant (photo n° 7).

Les groupements cristallins sont formés par l'association de deux ou plusieurs cristaux de zircon qui présentent les caractères du «type»; ils se divisent en *quatre groupes principaux*: prismatiques, pyramidaux, obliques et multiples selon le mode d'association des individus (photo n° 1 à 4)²⁾; les obliques sont très rares puisqu'on ne les trouve que dans l'échantillon des Petits Caous. Il est remarquable de constater que les trois autres groupes présentent des proportions équivalentes dans les faciès les moins différenciés (les Cou n° 72). D'autre part les groupements prismatiques deviennent de plus en plus prédominants quand les faciès de roches sont de plus en plus différenciés, jusqu'à aboutir à une prépondérance dans le faciès à biotite qui représente le terme ultime de la différenciation dans l'intrusion d'estérellite (fig. 3). A l'inverse on constate une évolution différente dans chacun des deux laccolites satellites: dans l'un (Boulouris n° 114) ce sont les groupements cristallins multiples qui prédominent, dans l'autre (Prola n° 117) les pyramidaux.

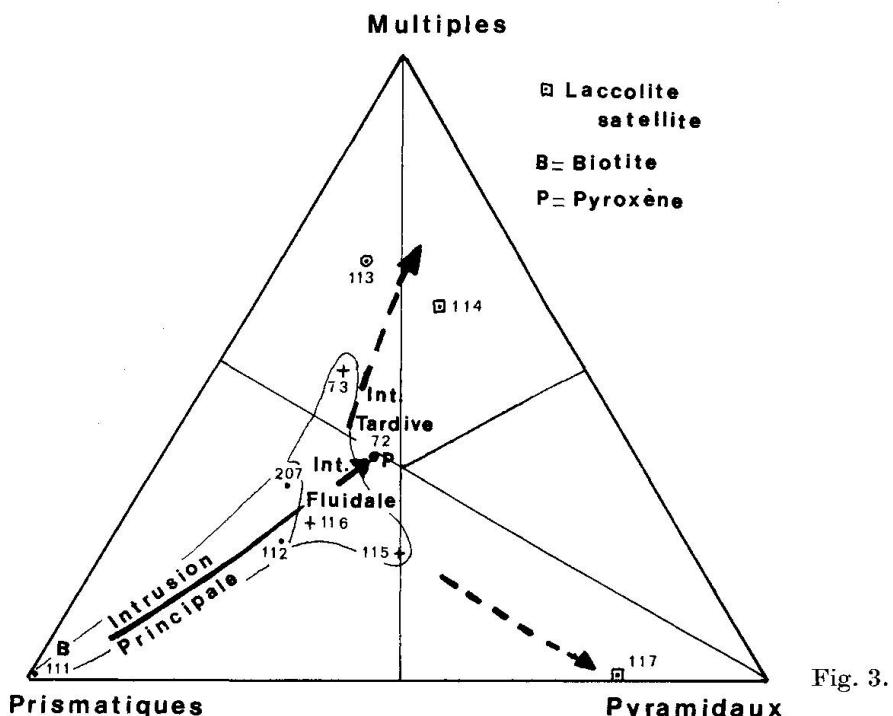


Fig. 3.

On peut donc conclure de ce qui précède que:

- Les proportions des groupements cristallins de zircon sont en relation étroite avec la pétrogenèse de l'estérellite et également avec le mode de

²⁾ Travaux inédits actuellement en cours au laboratoire (J. P. PUPIN).

mise en place des différentes phases de l'intrusion ; ceci est semble-t-il confirmé par le fait qu'il existe, dans les affleurements les plus proches des deux laccolites satellites, une tendance à la prédominance des mêmes groupements que ceux qui les caractérisent.

- Les laccolites se sont individualisés assez tôt et à une profondeur supérieure à celle qu'ils occupent actuellement.

Il faut également signaler que l'observation, en lame mince, de groupements cristallins dans la zone corticale de phénocristaux de quartz, confirme que leur formation est probablement postérieure à la cristallisation des zircons isolés ; ceci explique que leur répartition montre une relation étroite avec le mode de mise en place.

2. Les autres zircons de l'estérellite

A côté du «zircon type» qui est le plus fréquent (sauf dans l'échantillon d'Aiguebonne n° 113) il existe des cristaux corrodés (photo n° 5), ou ovoïdes, ou plus rarement arrondis.

— Les zircons corrodés correspondent probablement à des xénocristaux ; en effet, ils montrent parfois le type des rhyolites de l'Estérel (couleur rose, abondance des inclusions aciculaires) (DENISSE 1969) ; à ce propos on peut rappeler qu'il existe des enclaves de rhyolites ignimbritiques dans l'estérellite (BORDET 1951). Cette interprétation est aussi confirmée par les faits suivants : les cristaux sub-automorphes du type «estérellite» ne présentent pas de corrosion même au microscope électronique à balayage (photo n° 6), et en lame mince, les cristaux sub-automorphes de zircon qui sont en inclusion dans les phénocristaux de quartz ou de plagioclases ne présentent pas de corrosion.

— On peut encore retenir la même interprétation pour les cristaux arrondis puisque dans cette catégorie on trouve également des zircons de «type rhyolitique».

— Enfin les zircons ovoïdes et sub-ovoïdes peuvent provenir soit de roches gneissiques, soit de roches basaltiques puisque c'est dans ces deux familles pétrographiques que l'on observe le plus fréquemment ce genre de zircon.

Ces résultats sont en accord avec l'abondance et la variété des enclaves enallogènes que l'on rencontre dans l'intrusion principale d'estérellite.

3. Répartition dans l'intrusion des différentes formes de zircon

On a effectué des mesures de fréquence de répartition des zircons définis auparavant. La fig. 4 présente les résultats obtenus en fonction de la chronologie relative déduite des recherches de terrain et de laboratoire. Il apparaît que :

- Les cristaux du «type» (automorphes, sub-automorphes et groupements

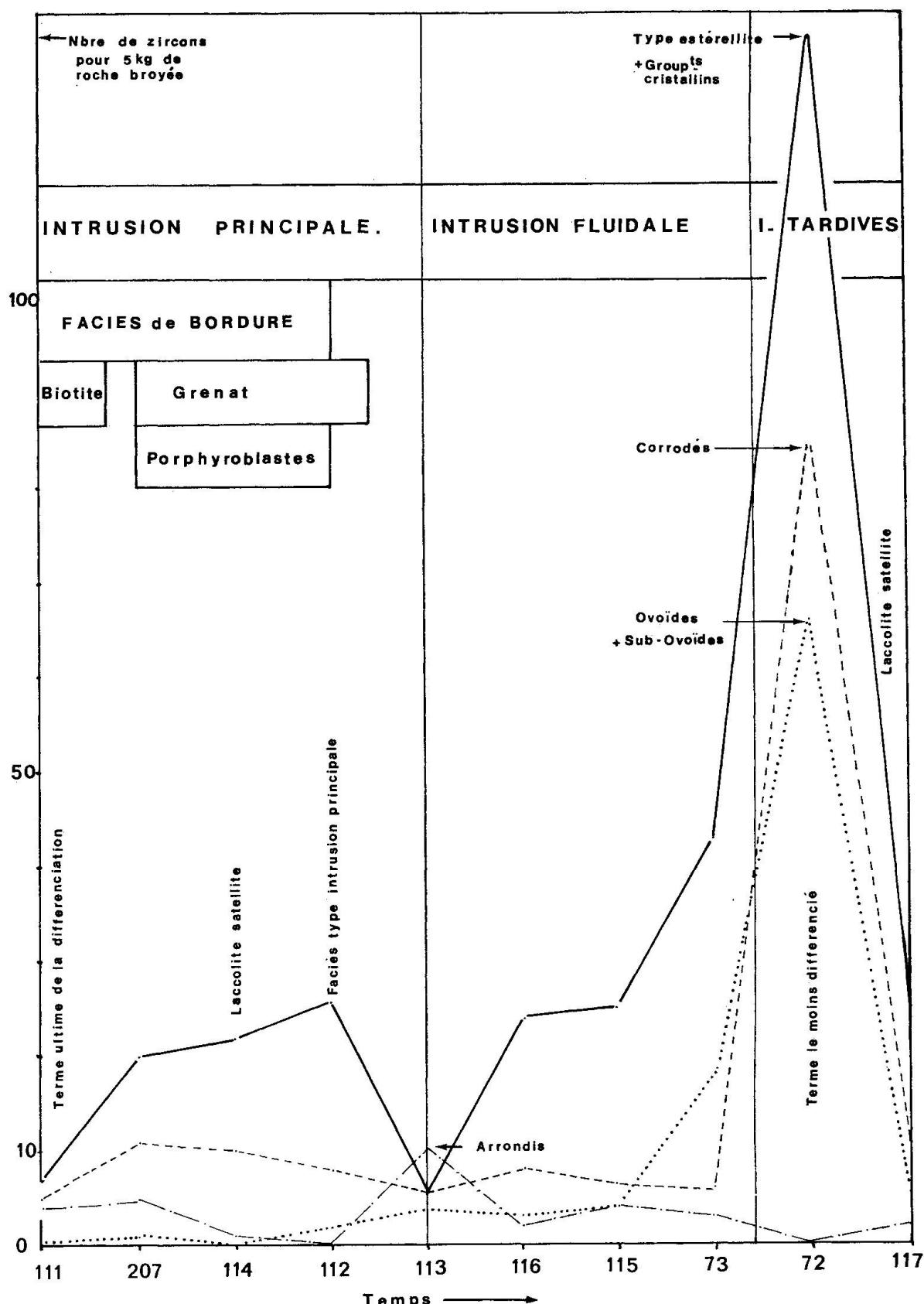


Fig. 4.

cristallins) sont toujours les plus fréquents, cependant il faut souligner que dans la carrière d'Aiguebonne (n° 113) il montrent un arrondissement.

— L'abondance du zircon «type» est nettement plus élevée dans le faciès le plus basique (Les Cou n° 72) et plus faible dans le faciès le plus acide (Pierre levée n° 111). Aiguebonne présente une fois encore un comportement différent.

— Les courbes obtenues présentent une évolution générale assez comparable pour les individus des groupes ovoïdes – sub-ovoïdes, corrodés et du «type». Les arrondis au contraire ont une évolution différente.

On peut déduire de ce qui précède que :

— *La cristallisation précoce du zircon* est confirmée par les teneurs élevées du «type» dans l'estérellite à pyroxène des Cou.

— *La contamination* par les corrodés et les ovoïdes-sub-ovoïdes est probablement elle aussi relativement précoce. Cette contamination pouvant se poursuivre pendant l'ascension de l'intrusion (xénocristaux de zircon rhyolitique).

— L'hypothèse d'une différenciation par gravité des minéraux lourds tôt formés ou tôt enclavés peut être avancée; ainsi s'expliquerait leur abondance dans l'estérellite la moins différenciée (Les Cou). Cependant l'existence de pyroxène sous forme de microphénocristaux, la répartition homogène de ce minéral dans l'affleurement des Cou, ainsi que la composition chimique de l'estérellite des Cou vont à l'encontre de cette interprétation. Il faudrait donc dans ce cas que la différenciation par gravité ne se soit produite que pour les cristaux de zircon; étant donné leur petite dimension, cela est peu probable.

— Inversement *l'arrondissement* est probablement plus tardif et contemporain de la mise en place de l'intrusion au niveau structural qu'elle occupe actuellement. Cette supposition est étayée par le fait que dans le cas d'Aiguebonne qui représente probablement le mélange de l'intrusion fluidale du sud avec le stock principal non encore totalement consolidé, l'arrondissement s'est produit aux dépens des individus du «type».

4. Elongation

L'étude quantitative a également porté sur les longueurs, les largeurs et les élongations.

Pour l'ensemble des zircons entiers mesurés (500) dans les divers échantillons le maximum des largeurs est de 90 microns³⁾ et celui des longueurs de 180 microns (fig. 5). On constate que les largeurs présentent une répartition plus homogène que les longueurs.

³⁾ Ces mesures ont été effectuées sur la population de zircon comprise entre les tamis ayant une maille de 50 μ et 160 μ ; les valeurs inférieures et supérieures s'expliquent par les fluctuations des ouvertures de maille due à des causes diverses; en outre il est nécessaire de souligner que dans l'estérellite les zircons sont quasiment absents dans la fraction inférieure et brisés dans la fraction supérieure.

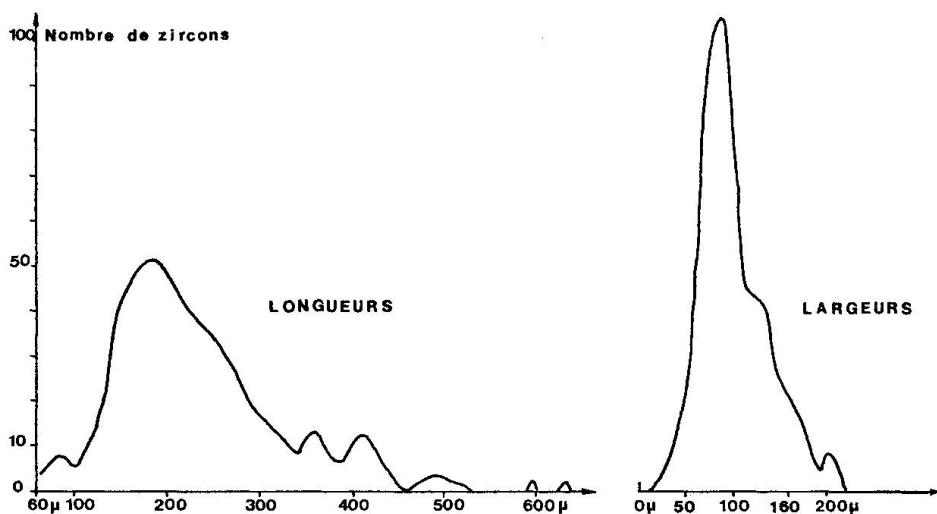


Fig. 5.

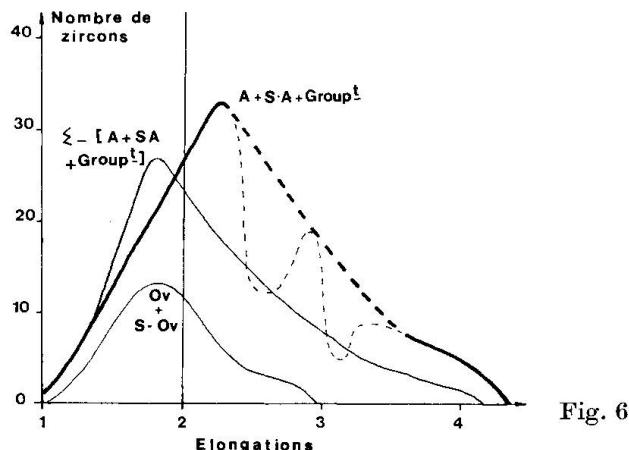


Fig. 6.

L'élongation fournit des résultats plus intéressants dans la mesure où l'on sépare les différentes formes de zircon (fig. 6). L'élongation maximum du «type» est de 2,3 elle est nettement différente de celle des individus ovoïdes et sub-ovoïdes ou de la somme de tous les autres individus moins ceux du «type» (automorphes + sub-automorphes + groupements cristallins). En effet dans ces deux cas elle est comprise entre 1,8 et 1,9. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par POLDERVAART (1953).

5. Comparaison avec le zircon d'autres diorites quartziques

Nous avons également traité un échantillon de *Tonalite* du massif de l'*Adamello*. Les cristaux du type sont sub-automorphes à arrondis, biprismés: {100} et {110}, bipyramides: {211} et {101}, le développement relatif des faces étant variable. Ces caractères avaient déjà été observés par HOPPE (1962) pour

l'Adamello ; il semble qu'ils puissent avoir une signification plus large puisqu'on les retrouve dans les zircons de la diorite quartzique de Prignonet (DENISSE 1969) dans le massif du Tanneron ainsi que dans ceux de la diorite quartzique d'Isola (PUPIN 1967) dans le massif de l'Argentera-Mercantour. Il faut souligner l'existence dans ces roches de cristaux nettement *aciculaires* pourvus de noyaux.

Ces données permettent d'envisager que ce type de zircon pourrait être caractéristique de la famille des diorites quartziques ; des études plus précises, portant sur un nombre plus important d'échantillons, actuellement en cours permettront de soumettre cette hypothèse de travail à vérification⁴⁾.

Par ailleurs si le zircon «type estérellite» se rapproche par certains de ses caractères du type diorite quartzique, il faut remarquer que les individus aciculaires sont quasiment absents et que le développement des deux prismes est généralement comparable.

B. Apatite

Bien que ce minéral soit assez bien conservé, il n'a pas été possible d'effectuer des mesures statistiques. Le plus souvent il est incolore à brunâtre. La surface des cristaux est fréquemment recouverte d'une mince pellicule probablement constituée de séricite. La morphologie est généralement prismatique sub-automorphe, les individus automorphes sont rares. Il existe également des faciès tabulaires où le prisme est beaucoup moins développé que la base (photo n° 13) et des groupements cristallins de type prismatique (photo n° 12). En revanche les individus xénomorphes sont abondants dans les carrières de la Touchque, du Drammont et de Pierre levée.

Les apatites renferment de nombreuses inclusions ; on a pu identifier ainsi :

- des zircons sub-automorphes du «type estérellite» (photo n° 13) ;
- des minéraux opaques ;
- des inclusions minérales filiformes, de couleur jaune-brun à aspect pailleté ; la terminaison des inclusions de ce type est parfois fusiforme ;
- des inclusions liquides ou gazeuses,

en outre, on constate la présence de deux types de cristaux, *les uns «creux», les autres «trapus»* selon la définition de CAPDEVILLA pour les apatites du granite de Neira en Espagne (1967). On sait depuis les travaux expérimentaux de WYLLIE et coll. (1962) que les apatites «creuses» sont caractéristiques d'un refroidissement rapide ; effectivement dans le cas de l'estérellite ce type d'apatite se rencontre dans les faciès de bordure qui ont subi un refroidissement

⁴⁾ Recherches faisant partie de la Thèse de Doctorat de Sciences Naturelles de J. P. PUPIN, Laboratoire de Pétrologie Minéralogie Université de Nice et ERA n° 450 «Stabilité et Réactivité des Minéraux». C.N.R.S.

plus rapide (fig. n° 1). De plus on observe dans les enclaves homogènes à grain fin des *apatites aciculaires* qui ont la même signification que les «apatites creuses» ce qui confirme l'existence d'une vitesse de refroidissement rapide de ces roches.

Du point de vue chimique le *dosage du phosphore* de dix échantillons met en évidence la concentration la plus forte en cet élément dans l'estérellite à pyroxène et la plus faible dans les estérellites à biotite et à mésostase sphérolitique; les estérellites à amphiboles ont des teneurs en P_2O_5 voisines (tableau n° 2). Donc il apparaît une diminution (fig. n° 2) de la teneur en P_2O_5 dans les

Tableau 2

Localisations	Les Cou									Pierre Levée	
N° Echantillon.	72	207	73	113	114	116	112	115	117		111
%	0,25	0,25	0,24	0,23	0,22	0,22	0,22	0,22	0,18		0,16
P_2O_5	Pyroxène:	←	Amphibole	→	mésostase sphérolitique					Biotite	

faciès qui montrent les différenciations pétrographiques les plus tardives telles que apparition de biotite ou mésostase sphérolitique. On peut tirer des déductions analogues lorsque l'on prend en considération les teneurs de ces estérellites en TiO_2 .

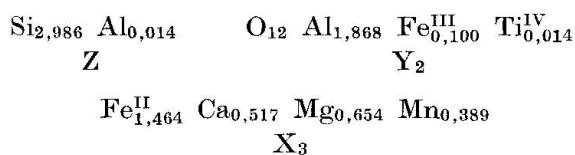
Ceci correspond aux résultats déjà obtenus par CAPDEVILLA (1967) sur la géochimie du phosphore dans un corps intrusif, et se trouve en accord avec l'évolution magmatique de l'estérellite qui appartient à une série calco-alcaline différenciée dont le terme le plus évolué est l'estérellite à biotite et le terme le moins différencié l'estérellite à pyroxène, le magma parental pouvant peut être se trouver sous forme d'enclave co-magmatique non encore rencontrée à ce jour.

C. Grenat

Ce minéral est plus abondant dans les estérellites à gros phénocristaux de plagioclase, que dans les autres roches où il est soit à l'état de trace, soit absent.

L'étude qualitative détaillée de ce minéral a été réalisée essentiellement sur *l'affleurement septentrional du point coté 90,2* où les cristaux sont visibles à l'œil nu. Bien que ces grenats soient pour la plupart localisés au cœur des plagioclases, il en existe également dans la mésostase microgrenue; de couleur rouge, ils montrent le dodécaèdre rhomboïdal avec des faces bien développées (photo n° 14) et renferment des inclusions de minéraux opaques.

L'étude radiocristallographique par la méthode DEBYE-SCHERRER a montré qu'il s'agissait principalement d'almandin. L'analyse chimique a permis d'établir la formule structurale suivante:



celle-ci correspond à un grenat complexe de la série isomorphe pyralspite-grossulaire-andradite:

48,4% d'almandin	$(\text{SiO}_4)3$	Al_2	Fe_3
21,6% de pyrope	$(\text{SiO}_4)3$	Al_2	Mg_3
12,9% de spessartine	$(\text{SiO}_4)3$	Al_2	Mn_3
11,4% de grossulaire	$(\text{SiO}_4)3$	Al_2	Ca_3
5,7% d'andradite	$(\text{SiO}_4)3$ (Fe^{3+} , $\text{Ti})_2$		Ca_3

l'étude de ce minéral par spectrométrie infra-rouge ne fait apparaître aucun groupement hydroxyle.

Sa présence au cœur des plagioclases démontre son *origine primaire*. Ceci est en accord avec les résultats expérimentaux récents de GREEN et RINGWOOD (1968) qui ont montré, pour des verres naturels rhyodacitiques renfermant des grenats primaires, que les magmas acides calco-alcalins commencent à cristalliser à des pressions comprises entre 9 et 18 Kb ce qui correspond à la base de la croûte ou au sommet du manteau.

D. Les autres minéraux accessoires

- *Calcite*: elle est incolore et peu fréquente, d'origine secondaire.
- *Epidote*⁵⁾: elle se présente sous deux types différents, l'un caractérisé par la couleur jaune habituelle de ce minéral, l'autre par une couleur brune soutenue. La présence de ce minéral est due à l'endométamorphisme de l'intrusion; c'est également le minéral caractéristique de l'exométamorphisme que l'estérellite exerce sur les roches encaissantes.
- *Malachite**: très rare, elle se présente en masses mamelonnées. Elle fait probablement partie du cortège de minéralisation qui est lié à la mise en place de l'estérellite.
- *Les minéraux opaques*: ils sont présents dans tous les échantillons. Dans les fractions grossières, le broyage ne les a pas toujours séparés parfaitement des minéraux dans lesquels ils étaient inclus, ce qui rend alors délicat leur

⁵⁾ Les minéraux dont l'identité a été contrôlée au moyen des spectres de rayons X sont marqués d'un astérisque *; la méthode de GANDOLFI (1967) a souvent été employée pour ces déterminations.

étude quantitative. Par contre ils sont bien individualisés dans la fraction la plus fine.

*L'hématite** est la plus abondante, elle se présente sous forme de cristaux tabulaires à surface lisse et brillante; *la magnétite* est abondante dans l'échantillon des Cou et se présente soit sous forme de grains soit avec l'octaèdre {III}; dans ce dernier cas sa couleur est noire et son éclat vif; *la pyrite* de couleur jaune laiton, xénomorphe, de cristallisation tardive, est surtout représentée dans les carrières de Pierre Levée et d'Aigue Bonne.

- *Rhodochrosite**: quelques fragments xénomorphes ont été découverts dans l'échantillon de la carrière des Cou. Elle est probablement liée à la phase hydrothermale qui a accompagné la mise en place de l'estérellite.
- *Tourmaline**: présente dans le même échantillon, elle est de couleur brune. Il s'agit probablement d'un xénocristal.

II. ENCLAVE DE GRANITE POTASSIQUE DANS L'ESTÉRELLITE DE LA POINTE DE PIERRE BLAVERE

Découverte à l'extrémité de la *Pointe de Pierre Blave* (G. TURCO) elle n'a été prélevée qu'en partie pour laisser en place un témoin de cette roche exceptionnelle; sa dimension est importante: plus de 50 cm de long, ses contacts avec l'estérellite sont francs; sa texture est grenue à grain moyen; ses compositions minéralogique et chimique⁶⁾ sont analogues à celles des rhyolites potassiques permianes de l'Estérel et le *zircon* que l'on y rencontre est identique par l'ensemble de ses caractères à ceux des rhyolites. Les minéraux secondaires dus au métamorphisme de contact sont la *chlorite* et l'*épidote* jaune. Il existe également de l'*apatite aciculaire* que l'on peut observer uniquement en lame mince.

L'étude des minéraux accessoires confirme l'analogie existant entre l'enclave de granite et les rhyolites permianes; il s'agit donc probablement d'une expression grenue de ces dernières, qui aurait cristallisé en profondeur à partir du magma rhyolitique et qui aurait été remontée en surface par l'intrusion de l'estérellite.

III. CONSIDÉRATIONS SUR LA RÉPARTITION DU ZIRCONIUM DANS LES ESTÉRELLITES

NOCKOLDS et ALLEN (1952) ont montré qu'en général: «the zirconium content is low at the basic end of each series and then tends to rise, after which

⁶⁾ SiO₂: 72,16; Al₂O₃: 12,95; CaO: 0,96; Na₂O: 3,71; K₂O: 5,77; MgO: 0,24; MnO: 0,05; TiO₂: 0,33; P₂O₅: 0,06; FeO: 0,32; Fe₂O₃: 3,26. Perte au feu: 0,44; H₂O⁻: 0,06; total: 100,31.

it seems more or less constant until the extreme acid end when it tends to fall». Plus récemment CHAO et FLEISCHER (1960) ont montré que ceci restait valable pour les séries calco-alcalines plutoniques, mais que dans les séries volcaniques différencierées qu'elles soient tholéitiques ou alcalines, la teneur en zirconium croissait de manière constante jusqu'aux termes ultimes de la différenciation.

On sait également que le zirconium est absent dans l'olivine, l'ilménite, la magnétite ou le plagioclase, mais se concentre dans le clinopyroxène des roches basiques et dans la hornblende et la biotite des roches intermédiaires; en outre dans les roches où le zircon existe il contient 50 à 100% de la teneur totale de la roche en zirconium (CHAO et FLEISCHER, 1960).

Dans le cas de l'estérellite qui appartient à la catégorie des roches plutoniques, calco-alcalines intermédiaires, on constate que le zircon est plus abondant dans la roche la moins différenciée (estérellite à pyroxène mésostasique des Cou). De plus l'étude des minéraux accessoires et des roches en lame mince permet de considérer que la cristallisation du zircon est précoce et qu'elle s'est opérée pendant un intervalle de temps relativement bref, les formes de ce minéral variant peu.

CONCLUSIONS

1. L'inventaire qualitatif et quantitatif des minéraux accessoires de l'estérellite a permis de mettre en évidence un «*zircon type*» qui présente certaines analogies avec celui des diorites quartziques. A côté de ces zircons caractéristiques, il existe des populations de cristaux ovoïdes, sub-ovoïdes, corrodés et en moindre proportion des arrondis. L'ensemble de ces individus peut être interprété comme des *xénocristaux*; ceci est confirmé en particulier par la présence de zircon de type rhyolitique arrondis ou corrodés provenant des rhyolites permianes de l'Estérel et par l'abondance et la variété des enclaves énallagènes rencontrées dans l'estérellite. Il faut rappeler à ce propos qu'il s'agit d'une intrusion de type calco-alcalin.

Les pourcentages de ces zircons peuvent varier dans des proportions importantes. Paradoxalement c'est l'estérellite la moins différenciée (Les Cou) qui renferme le plus de zircon et celle qui est la plus différenciée qui en renferme le moins.

La cristallisation précoce du «zircon type» est confirmée par le fait que son habitus ne varie pas dans les différentes roches étudiées. On a pu mettre en évidence que ce stade de cristallisation se termine par l'apparition de groupements cristallins principalement prismatiques, pyramidaux ou multiples.

L'étude de l'*apatite* nous a permis de montrer l'existence de deux faciès: «apatites trapues», et «apatites creuses»; conformément à ce qui est déjà

connu (CAPDEVILLA 1967), la seconde est caractéristique des faciès de bordure de l'intrusion principale et des laccolites satellites. Il faut souligner que les proportions de ce minéral suivent les mêmes variations que le zircon et qu'en particulier leur fréquence diminue de manière sensible dans les faciès de bordure.

La présence de *grenat almandin primaire* localisé de préférence au cœur des phénocristaux de plagioclases montre qu'au contraire des deux précédents, ce minéral est plus abondant dans les faciès de bordure et dans les laccolites satellites.

L'ensemble de ces observations jointes à des études complémentaires de roche en lame mince nous a permis de proposer *l'ordre de cristallisation* figuré dans le tableau 3.

Tableau 3

	Début de la cristallisation magmatique	Mise en place dans le Permien (mésostase)	Fin de cristallisation
ZIRCON TYPE	Groupements cristallins	arrondissements	
GRENAT		?	
APATITE			
MAGNETITE ou HEMATITE			
QUARTZ			
AMPHIBOLE			
BIOTITE			
PLAGIOCLASES			
PYROXENE		?	
PYRITE			
EPIDOTE			
CALCITE			

2. Des recherches en cours sur les différents faciès pétrographiques ainsi que les résultats fournis par les analyses chimiques permettent de conclure qu'il existe trois intrusions importantes caractérisées chacune par un faciès pétrographiques et trois faciès particuliers dont deux sont des faciès de bordure et le troisième est un faciès de cristallisation tardive (laccolite de Prola).

L'étude des minéraux accessoires montre que si la morphologie du «zircon type» n'est pas influencée par ces différences de faciès, les groupements cristallins et les pourcentages de ce minéral le sont nettement.

De même les proportions et l'habitus des apatites sont différentes dans les faciès de bordure et dans ceux des laccolites satellites.

Le grenat au contraire est plus abondant dans ces mêmes faciès.

En conclusion dans l'estérellite la morphologie des minéraux accessoires de cristallisation précoce tels que le *grenat* ou le *zircon* ne varie pas. En revanche celle des minéraux accessoires plus tardifs tels que *l'apatite* varie de manière importante en accord avec le mode d'intrusion.

Au contraire les proportions de ces minéraux varient toujours, en particulier dans les faciès de bordure.

Ceci n'est probablement pas une exception car PUPIN et al. (1969) ont noté que dans le granite de l'Argentera Mercantour, les zircons et les apatites sont plus rares et les grenats plus abondants dans les faciès de bordure de cette intrusion.

BIBLIOGRAPHIE

- ANALYSES CHIMIQUES:** Laboratoire de Pétrologie-Minéralogie. (H. Gimenez, analyste Université de Nice.)
- BORDET, P. (1951):** Etude géologique et pétrographique de l'Estérel. Mém. carte géol. France, 1 vol. 207 p.
- BOUCARUT, M. (1971):** Etude volcanologique et géologique du massif de l'Estérel. Thèse Sciences Naturelles, Lab. Pétrol. Minéral. Univ. Nice.
- BRAMMAL, A. (1928):** Proc. Geologist's Ass., G. B., 34, 1, 27-48.
- CAPDEVILA, R. (1967):** Répartition et habitus de l'apatite dans le granite de Neira (Espagne), comparaisons avec les données expérimentales et applications pétrogénétiques. C. R. Accad. Sci. Paris. 264.
- CARUBA, C (1971):** Les minéraux accessoires de l'estérellite et de quelques roches acides et basiques de l'Estérel (Var). Thèse 3e cycle Lab. Pétrol. Minéral. Univ. Nice.
- CARUBA, R. et TURCO, G. (1971):** Mise au point sur la notation des faces du zircon; Elaboration d'une méthode d'indexation rapide des faces des zircons accessoires des roches par utilisation d'abaques. Bull. Soc. Fr. Minéral. Cristallogr. 94, 427-436.
- CHAO, ED. CT. and FLEISCHER, N. (1960):** Abundance of zirconium in igneous rocks. 21 Inter geol. congress. Report part 1, 106-131.
- DENISSE, J. (1969):** Le zircon et les autres minéraux accessoires dans quelques roches du Permien de l'Estérel. D.E.S. Lab. Pétrol. Minéral. Univ. Nice.
- GANDOLFI, G. (1967):** Discussion upon methods to obtain X ray powder patterns from a single crystal. Miner. Petrogr. Acta. 113, 67-74.
- GREEN, D. H. and RINGWOOD, A. E. (1968):** Origin of garnet phenocrysts in calc-alcaline rocks. Contr. Minéral. Pétrol. 18, 163-174.
- HOPPE, G. (1962):** Die akzessorischen Zirkone aus Gesteinen des Bergeller und des Adamello-Massives. Chemie der Erde, XXII.
- MACKIE, W. (1925):** The Heavier accessory minerals in the granites of Scotland. Edinburgh Geol. Soc., 22-40.

- MICHEL-LEVY, ALB. (1911): L'Estérel, étude stratigraphique, pétrographique et tectonique. Bull. Serv. carte géol. France, 21, n° 130, 263–325.
- NOCKOLDS, S. R. and ALLEN, R. (1953/1954/1956): The geochemistry of some igneous rocks series. Geochim. cosmochim. acta, 4/5/9.
- POLDERVERAART, A. (1956): Zircon in rocks 2. Igneous rocks. Amer. J. Sci., 254, 521–554.
- PUPIN, J. P. (1967): Etude des minéraux accessoires lourds de roches granitiques et cristallophyliennes du massif de l'Argentera-Mercantour. D.E.S. Lab. Pétrogr., Fac. Sci. Marseille.
- PUPIN, J. P., BOUCARUT, M., TURCO, G. et GUEIRARD, S. (1969): Les zircons des granites et migmatites du massif de l'Argentera Mercantour et leur signification pétrogénétique. Bull. Soc. Fr. Minéral. Cristallogr. 92, 472–483.
- QUIN, J. P. (1962): Le zonage des plagioclases dans les estérellites du massif de l'Estérel (Var). Thèse 3e cycle Paris.
- ROCHE, A. (1957): Sur l'aimantation des roches volcaniques de l'Estérel. C. R. Accad. Sci. 224, 2952–2954.
- ROUBAULT, M. et al. (1970): Ages absolus des formations volcaniques du Tanneron-Estérel (Var). C. R. Accad. Sci. Paris, 271, 1157–1160.
- WYLLIE, P. J., COXK, G. and BIGGAR, G. M. (1962): The habit of apatite in synthetic systems and igneous rocks. J. Petrol. 3, 2, 238–243.

Manuscrit reçu le 25 mai 1973.

Légende de la planche I

Photos n° 1 à 4: Groupements cristallins de zircon.

- Photo n° 1: *Type prismatique.* Les deux zircons de taille différente sont accolés selon les faces prismatiques et les axes d'ordre quatre sont parallèles.
Echantillon n° 112. Les petits Caous, G: 480.
- Photo n° 2: *Type pyramidal.* Les deux zircons sont accolés selon les faces pyramidales.
Echantillon n° 72. Carrière des Cou, G: 200.
- Photo n° 3: *Type oblique.* Les axes d'ordre quatre des deux zircons font entre eux un angle quelconque.
Echantillon n° 112. Les Petits Caous, G: 300.
- Photo n° 4: *Type multiple.* Le nombre des individus est supérieur à deux et leurs axes d'ordre quatre sont parallèles.
Echantillon n° 112. Les Petits Caous, G: 350.
- Photo n° 5: Zircons corrodés de contamination provenant de l'assimilation d'un zircon type rhyolite permienne de l'Estérel. (Noter la fréquence des inclusions aciculaires caractéristiques de ce type.)
Echantillon n° 111. La Pierre Levée, G: 775.
- Photo n° 6: Zircon «type estérellite». Photo prise au microscope électronique à balayage.
Echantillon n° 72. Carrière des Cou, G: 250.
- Photo n° 7: Zircon «type estérellite».
Sub-automorphe, biprismé {110} et {100}, bipyramidé {101} et {211}.
Echantillon n° 111. La Pierre Levée, G: 500.
- Photo n° 8: Zircon «type tonalite».
Automorphe, biprismé {100} # {110}, bipyramidé {101} # {211}.
Echantillon du massif de l'Adamello. (Diorite quartzique), G: 600.
- Photo n° 9: Zircon aciculaire: faciès caractéristique des diorites quartziques.
Echantillon du massif de l'Adamello, G: 250.
- Photo n° 10: Apatite prismatique faciès commun.
Echantillon n° 116. Carrière de la Touchque, G: 250.
- Photo n° 11: Apatite «creuse». Les canaux centraux parallèles à l'axe sénaire sont colmatés par des produits secondaires.
Echantillons n° 114. Carrière romaine de Boulouris, G: 425.
- Photo n° 12: Apatite présentant un groupement cristallin de type prismatique.
Echantillon n° 73. Pointe de Pierre Blave, G: 450.
- Photo n° 13: Apatite tabulaire présentant une inclusion de zircon sub-automorphe de «type estérellite».
Echantillon n° 112. Les Petits Caous, G: 450.
- Photo n° 14: Grenat almandin. Estérellite.
Echantillon n° 114. Carrière romaine de Boulouris, G: 220.

PLANCHE I

Bull. Suisse de Min. et Pétr.
Tome 53/2, 1973

C. CARUBA, M. BOUCARUT et G. TURCO : Le zircon et
les autres minéraux accessoires de l'estérellite: Relations avec la
pétrogenèse de cette intrusion calco-alcaline du cycle alpin

