

ROBERTO COMPAGNONI (\*), BRUNO LOMBARDO (\*), ROBERTO PRATO (\*\*)

ANDALOUSITE ET SILLIMANITE  
AUX CONTACTS DU GRANITE CENTRAL DE L'ARGENTERA  
(ALPES MARITIMES) (\*\*\*)

RIASSUNTO. — Si comunica il rinvenimento di andalusite e sillimanite in scisti cornubianitici al contatto con il granito centrale dell'Argentera (Alpi Marittime). In base ai caratteri mineralogici e strutturali viene riconosciuta l'esistenza nelle rocce esaminate di una paragenesi di contatto a *biotite*, *andalusite* e *sillimanite prismatica*, sovrainposta ad una associazione mineralogica regionale a *biotite*, *plagioclasio*, *sillimanite fibrolitica*, *cianite* e *granato*; tali paragenesi appaiono successivamente interessate da una diaforesi tardiva in facies prehnite-pumpellyite. Vengono infine brevemente discusse le condizioni di formazione della paragenesi di contatto.

RÉSUMÉ. — Des gneiss à andalousite et sillimanite ont été trouvés aux contacts du granite central de l'Argentera (Alpes Maritimes). Les caractères minéralogiques et microstructuraux de ces roches montrent qu'une paragenèse de contact à biotite, andalousite et sillimanite prismatique s'y est superposée à une paragenèse complexe de métamorphisme régional à plagioclase, biotite, fibrolite, grenat et disthène  $\pm$  feldspath potassique; les deux ont été partiellement rétrogradées en conditions du faciès prehnite-pumpellyite par le métamorphisme alpin.

ABSTRACT. — Andalusite-sillimanite-bearing gneisses found along the contact of the Hercynian Argentera Granite (Maritime Alps) are described. Mineralogical and microtextural observations show andalusite and prismatic sillimanite developed during a medium-grade contact metamorphism on biotite-fibrolite-plagioclase gneisses of Malinvern-Argentera Complex. The andalusite-bearing gneisses were later partly retrograded to prehnite-pumpellyite-facies assemblages, probably as a result of the Alpine metamorphism.

---

(\*) Istituto di Petrografia dell'Università di Torino e Centro di Studio sui Problemi dell'Orogeno delle Alpi Occidentali del C.N.R. - Via San Massimo 24 - 10123 Torino (Italia).

(\*\*) Agip Mineraria, 20097 San Donato Milanese (Italia).

(\*\*\*) Lavoro eseguito con il contributo finanziario del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

### 1. - Introduction.

Le granite de l'Argentera est situé au centre du massif du même nom, entre les Thermes de Valdieri dans la vallée du Gesso, et Le Boréon (vallée de la Vésubie); du côté italien de la crête frontière il est entaillé par les vallons de Valasco et de la Valletta; du côté français par les vallons de Chastillon et Mollières (vallée de la Tinée) et de Salèses (vallée de la Vésubie).

Dans le secteur italien du massif les roches encaissantes appartiennent au Complexe de Malinvern-Argentera et sont représentées (R. MALARODA, 1970) surtout par des anateixites et des embréchites à biotite, parfois ocellées (Lago del Claus, Cima di Pagari); sur le versant gauche du Valasco en amont des Thermes de Valdieri et dans la Comba Genova, près du sommet de l'Argentera, on trouve aussi des faciès basiques (agmatites et embréchites amphiboliques).

Dans leur étude pétrographique et chimique, R. MALARODA & G. SCHIAVINATO (1957) ont distingué dans le granite de l'Argentera trois faciès principaux, dont la distribution a été figurée par R. MALARODA (1970):

- « granite fondamental » à grain moyen; c'est le faciès le plus répandu;
- « granite fondamental à grands phénocristaux de feldspath », qui dérive du type précédent par accroissement de la taille du feldspath potassique;
- « granite aplitique à grain fin »; cette variété se trouve soit en masses importantes (Comba di Seluos, Rocca San Giovanni), soit en filons qui recoupent les autres types de granite et les roches encaissantes.

Au voisinage du contact avec les roches encaissantes, tant le granite fondamental que la variété aplitique passent (comme S. FRANCHI l'avait déjà remarqué en 1894) à des faciès à grenat en petits grains.

Le massif granitique de l'Argentera apparaît comme un petit batholite (S. FRANCHI, 1894; A. FAURE-MURET, 1955; R. MALARODA & G. SCHIAVINATO, 1957), mis en place dans les gneiss et les schistes du

Complexe de Malinvern-Argentera au Carbonifère supérieur <sup>(1)</sup>; le toit du batholite est conservé en quelques lambeaux cantonnés en général sur les cimes: les plus étendus, signalés pour la première fois par S. FRANCHI (1894), se trouvent à la Tête des Tablasses, à la Rocca San Giovanni et à la Pointe Roghé.

Pour S. FRANCHI (1894), qui étudia la région en 1891-93, le granite de l'Argentera est intrusif dans les roches gneissiques et les différences dans sa structure et sa composition minéralogique relèveraient de phénomènes d'assimilation.

Dans le mémoire de A. FAURE-MURET (1955) le granite est au contraire considéré « comme l'ultime produit de la transformation des roches préexistantes » (p. 131); son action sur les roches gneissiques de bordure serait réduite à la formation de muscovite et de biotite en petits cristaux non orientés.

R. MALARODA & G. SCHIAVINATO (1957) ont séparé le granite fondamental à contacts tranchés et sûrement intrusif, du granite aplitique, à contacts diffus et de type anatectique (mais le granite aplitique montrerait parfois aussi des contacts intrusifs); l'origine par anatexie du granite aplitique serait prouvée par son passage nuancé aux anatexites.

Le contact tranché du granite de l'Argentera avec les roches gneissiques et son homogénéité indiquent, pour M. BOUCARUT (1967, 1969), qu'il s'agit d'un granite circonscrit, mis en place par « magmatic stoping »; la présence d'enclaves microgrenues plagioclasiques dans le granite entre le Collet des Bresses et le lac Nègre (vallon de Mollières) confirmerait cette hypothèse.

L'étude pétrographique de quelques contacts entre le granite et les roches encaissantes nous a permis de reconnaître dans celles-ci une paragenèse de contact à biotite, andalousite et sillimanite, surimposée à une paragenèse régionale à plagioclase, biotite, sillimanite  $\pm$  disthène et partiellement rétro-morphosée; la découverte d'une paragenèse de contact dans les roches gneissiques confirme que le granite de l'Argentera appartient aux plutons de type épizonal et permet d'estimer la température de son intrusion.

---

<sup>(1)</sup> Les mesures d'âge absolu effectuées par G. FERRARA & R. MALARODA (1970) par la méthode Rb-Sr ont donné pour les différentes variétés du granite une isochrone roche totale de 285 M.A.

## 2. - Étude pétrographique de quelques contacts du granite de l'Argentera.

Du côté du Val Gesso de bons affleurements du contact entre le granite de l'Argentera et les roches gneissiques s'observent dans le haut Valasco (Testa del Claus, Vallone del Préfouns) et sur le versant gauche de la Valletta (cirque de la Culatta et Rocca San Giovanni).

A la Testa del Claus, comme à la Tête des Tablasses et au cirque de la Culatta, les roches encaissantes du granite de l'Argentera appartiennent (A. FAURE-MURET, 1955, p. 114) à l'ensemble que cet auteur a appelé « anatexites du Malinvern ». Ce sont essentiellement des gneiss rubanés, à plagioclase et biotite, souvent aussi à feldspath potassique, qui dessinent dans le complexe Malinvern-Argentera une bande subverticale allongée du NW au SE.

Ces gneiss passent souvent à des roches de composition plus alumineuse où la sillimanite de type fibrolite est abondante. C'est dans ce faciès au contact du granite qu'on trouve l'andalousite et que la paragenèse thermométamorphique est le mieux développée.

### 2.1. - TESTA DEL CLAUS.

Dans le cirque du lac des Portettes on voit le granite recouper les gneiss à biotite abondante (« embréchites » de R. MALARODA & G. SCHIAVINATO, 1957) de l'arête qui de la Testa del Claus descend sur le refuge Questa (Fig. 1). Le granite est du type à deux micas et grain moyen (« granite fondamental » des auteurs cités); au voisinage du contact avec les gneiss le grain se fait plus fin, la quantité de muscovite augmente et le granite devient plus leucocrate.

Le contact entre le granite et les gneiss est net et discordant par rapport à la foliation des gneiss, qui sont traversés par des apophyses et de grands filons issus du granite.

Dans les roches encaissantes le faciès le plus répandu est représenté (R. MALARODA & G. SCHIAVINATO, 1957) par des *gneiss rubanés à plagioclase et biotite* (« embrechiti listate »); dans les niveaux à quartz et plagioclase on trouve souvent aussi du feldspath potassique, qui devient parfois le constituant principal. Les gneiss à biotite et plagioclase comportent des intercalations de roches basiques (gneiss à plagioclase et amphibole, amphibolites à chlorite) et de biotites, parfois à abondante sillimanite (R. MALARODA, 1970).

Moins abondants que les gneiss à plagioclase et biotite mais très caractéristiques sont des gneiss de composition plus pélitique à *plagioclase*, *biotite* et *sillimanite* (fibrolite) qui renferment parfois de l'andalousite abondante.

Une rétro-morphose, soulignée par l'apparition dans les gneiss d'une couleur verdâtre, est évidente dans la plupart de ces roches; là où la rétro-morphose est plus poussée, les gneiss à biotite tout comme ceux à biotite et sillimanite sont transformés en *gneiss à séricite et chlorite*.



Fig. 1. — Paroi SE de la Testa del Claus, vue de la base de la Cresta Savoia. La granite central (à gauche) recoupe les schistes à plagioclase, biotite et fibrolite du Complexe Malinvern-Argentera.

a) *Gneiss à biotite, andalousite et sillimanite.*

Ce sont des roches rubanées, à schistosité ondulée, où des niveaux (de millimétriques à centimétriques) quartzo-feldspathiques clairs alternent avec des lits micacés sombres. Au microscope on voit que les lits micacés sombres sont constitués de biotite, avec de l'andalousite abondante et de la fibrolite, partiellement rétro-morphosées en séricite;

la recristallisation de la biotite en petites paillettes entrecroisées et la formation d'andalousite en prismes non déformés donnent à la roche une structure de cornéenne. Les constituants essentiels sont: *biotite*, *andalousite*, *sillimanite*, *plagioclase* et *quartz*.

- *biotite*: concentrée dans les lits micacés, elle forme des groupes désordonnés de petites paillettes brun rouge non déformées;
- *andalousite* <sup>(2)</sup>: courts cristaux prismatiques bien développés à tendance idioblastique, non déformés et allongés parallèlement à la surface des lits micacés; les cristaux d'andalousite englobent souvent des paillettes de biotite orientées de manière quelconque et de petites écailles orientées de minerais. A la périphérie ils sont parfois transformés en séricite; quelques-uns sont entièrement pseudomorphosés;
- *sillimanite* <sup>(2)</sup>: concentrée en fuseaux allongés et très déformés qui épousent l'allure des lits micacés, elle appartient à la variété fibrolite; la sillimanite est souvent altérée en séricite mais, même quand la pseudomorphose est totale, l'orientation et la disposition des fuseaux sont conservées;
- *plagioclase*: en cristaux amygdalaires, de composition An<sub>25</sub> à An<sub>30</sub>, allongés suivant la foliation, il est cantonné à certains niveaux;
- *quartz*: lentilles à structure polygonale, qui englobent une trame de minces aiguilles ou paillettes de mica blanc, dérivant probablement de sillimanite; à la différence de la fibrolite, cette sillimanite ne serait pas déformée;
- *muscovite*: en lames non orientées et parfois squelettiques, peu abondantes;
- *disthène* <sup>(2)</sup>: petits prismes à bords arrondis, conservés en reliques dans quelques plagioclases; ceux-ci englobent aussi du *grenat*;
- *accessoires*: *minerais*; *apatite*; *zircon*; peut-être *monazite*.

Il convient de souligner quelques observations que permettent de préciser la succession des différents minéraux:

---

<sup>(2)</sup> L'identification de l'andalousite, de la sillimanite et du disthène a été vérifiée par l'examen au microscope et aux rayons X du résidu obtenu par dissolution de la roche à l'HF.

- la biotite n'a aucune orientation préférentielle;
- les lits micacés sont plissés, mais la biotite et l'andalousite (qui sont cantonnées à ces lits) ne sont point déformées;
- la fibrolite de ces mêmes niveaux est au contraire toujours déformée et concordante avec la schistosité ancienne;
- des fuseaux de fibrolite plissée sont parfois englobés par l'andalousite.

La formation de la biotite et de l'andalousite a donc dû être simultanée et se faire en conditions statiques; la fibrolite appartient au contraire à une phase de cristallisation antérieure à celle de la biotite et de l'andalousite et en est séparée par une phase de déformation.

La séricitisation de la fibrolite et de l'andalousite est un événement tardif et doit être attribuée à la phase de rétro-morphose qui a intéressé toutes les roches de la région, y compris le granite.

#### b) *Gneiss à biotite rétro-morphiques.*

C'est le faciès le plus répandu dans les gneiss de la Testa del Claus; ses constituants principaux, à l'exception de l'andalousite qu'on n'y a pas trouvée, sont les mêmes que ceux des gneiss à sillimanite et andalousite décrits ci-dessus, mais la transformation en minéraux secondaires y est plus avancée :

- *plagioclase*: de composition  $An_{25-26}$ , parfois zoné (centre  $An_{26}$ , bord  $An_{20}$ ), il est partiellement transformé en séricite et albitisé, tout en conservant sa forme et parfois aussi ses macles originelles; l'altération n'est pourtant jamais totale et des reliques de plagioclase non transformé subsistent même dans les gneiss où la rétro-morphose est plus poussée; dans ceux-ci on voit parfois l'apparition d'*albite* tardive, en amas granoblastiques parfois abondants. La formation de l'albite semble indépendante de la cataclase.
- *biotite*: le premier stade de la rétro-morphose y est dénoté par une décoloration, accompagnée par la ségrégation de titanite en petits grains dans les clivages et par une transformation en mica blanc; une deuxième étape correspond à l'apparition d'un bord de séricite microlamellaire autour de la biotite. Dans les roches plus rétro-morphosées la biotite est entièrement altérée en chlorite avec un peu de séricite et d'épidote; la recristallisation de chlorite en dehors des anciennes biotites marque le stade final de la transformation.

- *quartz*: d'une structure polygonale il passe progressivement à une structure cataclastique: dans les gneiss plus rétro-morphiques le quartz est en petits cristaux à contours finement dentelés, réunis en lentilles allongées.
- *sillimanite*: les fuseaux de fibrolite sont progressivement pseudo-morphosés en séricite.
- *disthène*: de petits cristaux, dont les caractères sont les mêmes que ceux déjà décrits pour les gneiss à andalousite, sont parfois englobés dans les plagioclases moins transformés; ils disparaissent quand la séricitisation des plagioclases augmente.

c) *Granite à grain moyen.*

Le granite de la Testa del Claus est fait de quartz, feldspath potassique et plagioclase en proportions similaires; muscovite et biotite sont peu abondantes. La structure est légèrement cataclastique.

- *quartz*: les cristaux magmatiques sont transformés en amas de grains à contours indentés.
- *feldspath potassique*: grands cristaux, maclés Carlsbad, de microcline micropertthitique ( $2V_x = 84^\circ$ ) non maclé; ils sont souvent bordés d'albite microgranulaire. De petits cristaux idiomorphes de plagioclase sont parfois englobés dans le feldspath potassique.
- *plagioclase*: il est zoné (noyau de composition  $An_{13-15}$ , bord albitique) et parfois un peu séricitisé; au contact des feldspaths potassiques des structures myrmékites embryonnaires se développent dans les plagioclases.
- *biotite*: grandes lames toujours pseudomorphosées en chlorite, avec formation de titanite et pistacite dans les clivages.
- *muscovite*: grandes lames tordues; une deuxième génération de mica blanc forme de petites houppes aux bords et dans les fractures des autres minéraux.

2.2. - TÊTE DES TABLASSES.

A la Tête des Tablasses, au sommet et au petit col d'où descend le couloir NW, sont conservés au-dessus du granite deux petits lam-

beaux de la couverture gneissique; un autre lambeau, beaucoup plus étendu, forme la Punta di Préfouns, sur l'arête qui descend de la Tête des Tablasses sur le Valasco (Fig. 2).

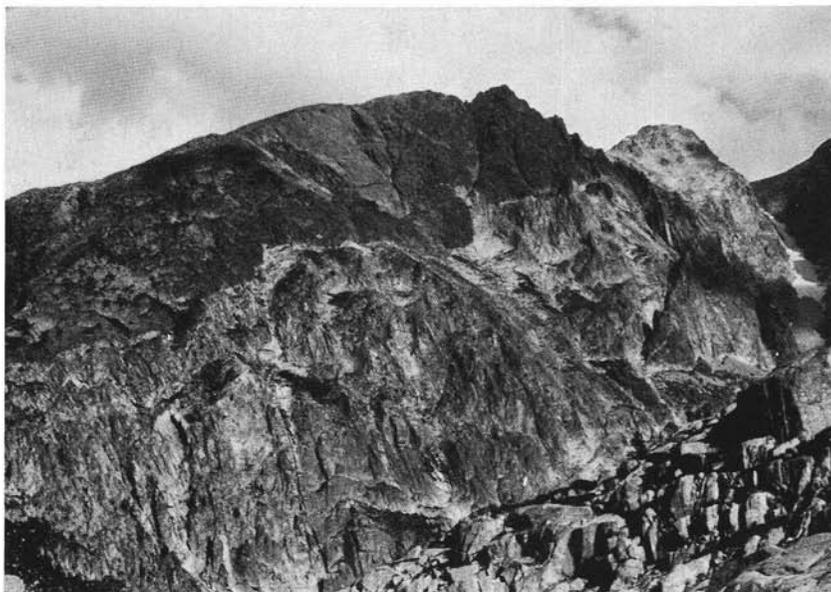


Fig. 2. — Punta di Préfouns (centre) et Tête des Tablasses (à droite) vues de la base de la Cresta Savoia. Le contact discordant entre le granite central (en bas) et les schistes encaissants est bien visible à la partie supérieure de la paroi.

Les roches encaissantes sont représentées à la Tête des Tablasses par des *gneiss rubanés* (indiqués comme « embrechiti listate » sur les cartes de R. MALARODA & G. SCHIAVINATO, 1957, et de R. MALARODA, 1970) à *biotite* ou à *biotite et muscovite*, parfois à *biotite, sillimanite et andalousite*; le rubanement (déformé parfois en petits plis d'échelle centimétrique) y est dû à l'alternance de niveaux millimétriques sombres et à grain fin, riches en biotite, avec des lits quartzo-feldspatiques clairs à petits yeux de feldspath. Les *gneiss rubanés* à *biotite, sillimanite et andalousite* passent parfois à des faciès oillés de même composition où la taille des feldspaths peut atteindre 1 ou 2 cm.

A la Tête des Tablasses la plupart des roches gneissiques ont aussi subi une rétro-morphose; comme à la Testa del Claus elles se transforment progressivement en *gneiss à séricite et chlorite* de couleur verdâtre.

Le granite est à la Tête des Tablasses du type aplitique à grenat; ses contacts avec les roches gneissiques sont nets et discordants par rapport à la foliation de ces dernières qui, au voisinage du granite, sont traversées par un réseau de filons centimétriques (ou plus rarement décimétriques) de composition leucogranitique ou aplitique.

Le granite de la Tête des Tablasses renferme de nombreux nodules sombres, de forme ovoïde et de taille centimétrique, que l'altération différentielle a isolés sur la surface du granite; par leur composition minéralogique (quartz, plagioclase, pinite) on peut penser qu'ils correspondent aux nodules à cordiérite pinitisée décrits par A. BLASI & G. SCHIAVINATO (1968) dans les Anatexites du Pélago et les granites aplitiques du tunnel du Ciriegia.

a) *Gneiss à biotite, sillimanite et andalousite.*

On peut en distinguer deux variétés qui diffèrent par la morphologie de la sillimanite, prismatique dans une variété, de type fibrolitique dans l'autre.

1) *Gneiss à biotite, sillimanite prismatique et andalousite.* - Nous en décrirons un faciès ocellé, provenant du sommet de la Tête des Tablasses.

Il s'agit d'une roche à structure massive; l'ancienne schistosité y reste reconnaissable grâce à l'orientation planaire des yeux allongés de plagioclase et à la disposition des feuilletts biotitiques (Fig. 4). Les constituants principaux sont:

— *plagioclase*: une première variété est représentée par des cristaux de grande taille (jusqu'à 1 cm), allongés et parfois de forme amygdalaire, qui ont une composition d'oligoclase ( $An_{25-30}$ ); ils englobent souvent de petits prismes de *disthène* (Fig. 6) entourés par un bord de mica blanc et, en périphérie, du quartz en petites gouttelettes. A la deuxième variété appartiennent des granoblastes sans macle faiblement zonés, qui englobent de petites paillettes de biotite brun rouge.

- *quartz*: plutôt abondant, en cristaux aplatis à bord irrégulier (jamais polygonal), à peine déformés, il est concentré dans les niveaux feldspathiques.
- *biotite brun rouge*: elle se développe de préférence dans les niveaux de composition pélitique, où sont concentrées sillimanite et andalousite; les paillettes de biotite sont souvent réunies en nids

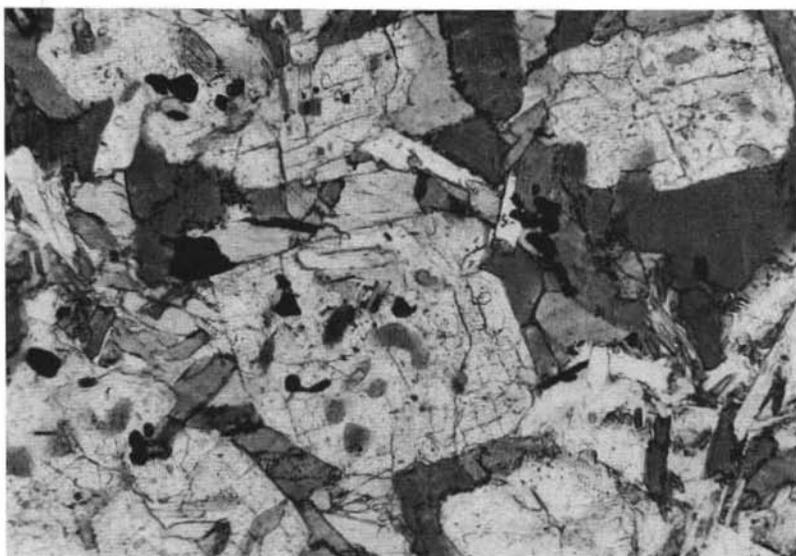


Fig. 3. — *Cornéenne à andalousite et sillimanite.* (A 58). Tête des Tablases. Des andalousites idioblastiques à inclusions de minéraux et de biotite sont entourées de lamelles de biotite brun rouge recristallisée sans orientation préférentielle. Lum. pol.,  $\times 170$ .

ou en amas microlamellaires à structure entrecroisée (ce qui est typique des cornéennes), qui se moulent sur les plagioclases amygdalaires; de paillettes de biotite apparaissent aussi dans les autres minéraux, surtout l'andalousite et les plagioclases. La biotite englobe parfois de petits grains de zircon et d'un autre minéral très radioactif (monazite?).

- *sillimanite*: cristaux allongés ou aciculaires, appartenant à la variété *prismatique* et orientés de préférence suivant la foliation de

la roche, mais parfois aussi discordants sur celle-ci; ils sont concentrés autour des plagioclases à l'intérieur desquels ils peuvent aussi se développer. La sillimanite n'est pas altérée; quelques cristaux seulement montrent une légère cataclase tardive.

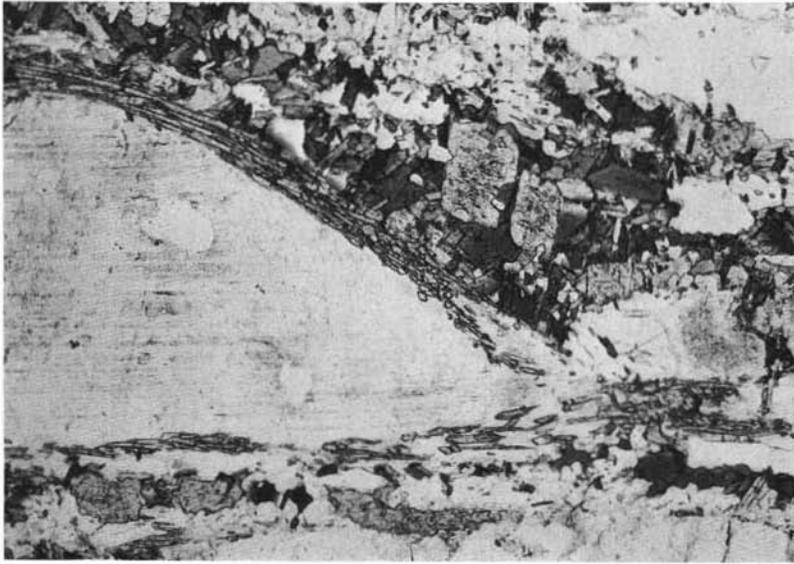


Fig. 4. — *Cornéenne à andalousite et sillimanite.* (A 58). Tête des Tablases. Un grand phénoblaste de plagioclase (An<sub>30</sub>), entre deux niveaux à biotite et andalousite, est entouré par la sillimanite prismatique. Lum. pol.,  $\times 45$ .

Des traces de *fibrolite* sont conservées dans quelques plagioclases, sans qu'il y ait d'éléments permettant d'en fixer les relations chronologiques.

— *andalousite*: cristaux à tendance idioblastique (Fig. 3), de taille en moyenne plus petite qu'à la Testa del Claus, qui bordent les plagioclases amygdalaires; ses caractères structuraux sont les mêmes que ceux que nous avons décrits pour les gneiss à sillimanite et andalousite de la Testa del Claus; ils sont parfois légèrement altérés en *séricite*.

Les rapports chronologiques entre l'andalousite et la sillimanite sont difficiles à préciser : puisque quelques fuseaux de sillimanite sont englobés par l'andalousite on pourrait penser que la formation de celle-ci est plus récente que la recristallisation de la sillimanite.



Fig. 5. — *Cornéenne à andalousite et sillimanite fibrolitique.* (A 01). Punta di Préfous. Un phénoblaste d'andalousite est inclus entre deux lits de biotite brun rouge recristallisée sans orientation préférentielle et semble se former aux dépens de sillimanite fibrolitique (à droite); de l'autre fibrolite est visible à gauche du niveau à biotite. Lum. pol.,  $\times 45$ .

— *mica blanc*: paillettes de structure entrecroisée, en général associées à la biotite, peu abondantes.

2) *Gneiss à biotite, fibrolite et andalousite.* - Ces gneiss ont la même structure et la même composition minéralogique (plagioclase, quartz, biotite, sillimanite, andalousite et mica blanc) que les roches précédentes, mais en diffèrent par les caractères de la sillimanite qui y est représentée par de la fibrolite (Fig. 5), en fuseaux allongés suivant la foliation et très déformés, et non par la variété prisma-

tique. La présence de fibrolite à la place de sillimanite prismatique rapproche ce faciès des gneiss à fibrolite et andalousite de la Testa del Claus, qui présentent la même composition minéralogique et des caractères microscopiques semblables.

Dans les gneiss à fibrolite et andalousite du Vallone del Préfouns la recristallisation thermométamorphique et la formation d'andalousite n'ont pas effacé les caractères structuraux préexistants dont le plus évident est un replissement de l'ancienne foliation à l'échelle centimétrique.

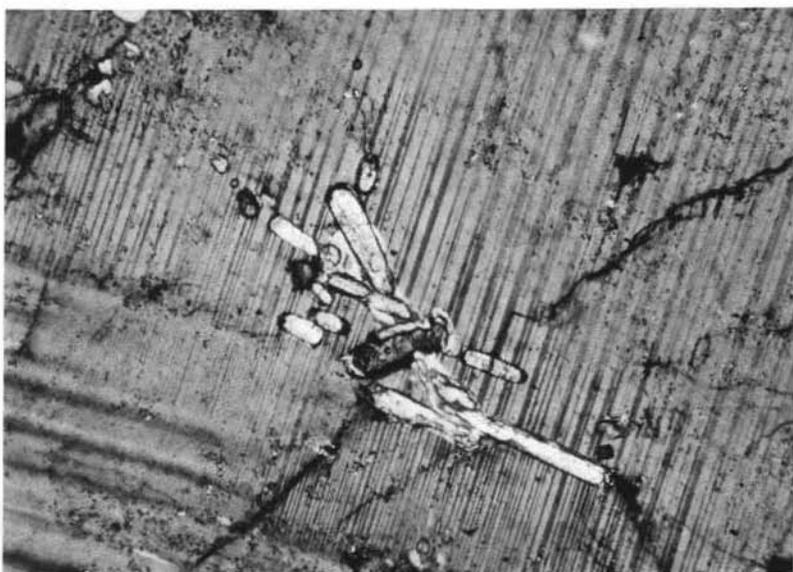


Fig. 6. — *Cornéenne rétro-morphosée*. (A 55). Tête des Tablasses. Des baguettes de disthène à angles arrondis sont incluses dans un plagioclase maclé de manière polysynthétique et légèrement zoné au voisinage immédiat du disthène. Lum. anal.,  $\times 170$ .

#### b) *Gneiss rétro-morphiques à séricite et chlorite.*

La rétro-morphose tardive qui a affecté les roches gneissiques de la Tête des Tablasses s'y manifeste par des transformations minéralogiques semblables à celles que nous avons décrites dans les gneiss de la Testa del Claus, c'est-à-dire :

- séricitisation et albitisation du *plagioclase*,
- chloritisation de la *biotite*, accompagnée par la ségrégation de titanite,
- transformation de la sillimanite et de l'andalousite en amas microlamellaires, de couleur jaune vert pâle, faits de séricite; lorsque progresse la rétro-morphose, ces amas deviennent indiscernables des produits d'altération des plagioclases,
- disparition du disthène au fur et à mesure de la séricitisation des plagioclases où il est englobé.

c) *Granite aplitique.*

De grain petit à moyen le granite aplitique est de type hololeucocrate. La muscovite y est plus abondante que la biotite; de petits cristaux de grenat, de couleur brun rouge vif, se détachent sur le fond clair de la roche.

Au microscope on y voit du feldspath potassique, du plagioclase et du quartz en proportions à peu près identiques, accompagnés d'un peu de muscovite, de biotite, de grenat et de stilpnomélane.

- *feldspath potassique*: cristaux perthitiques de microcline, subidiomorphes et souvent maelés Carlsbad: une très légère altération en produits argileux y est parfois visible.
- *plagioclase*: petits cristaux subidiomorphes, toujours maelés et souvent légèrement séricitisés et/ou saussuritisés; ils forment parfois des structures imbriquées avec le quartz.
- *quartz*: en deux variétés: cristaux automorphes et granules composites, très déformés.
- *mica blanc*: grandes lames, parfois squelettiques, faiblement pléochroïques dans les tons verts, qui englobent souvent du grenat et de l'épidote.
- *biotite*: lames de couleur brune, peu abondantes et presque toujours transformées en associations parallèles de chlorite et mica blanc + épidote ± titanite en proportions très variables.
- *grenat*: cristaux à bords irréguliers et souvent squelettiques, qui sont parfois associés au mica blanc; les grenats sont souvent morcelés mais ne montrent aucune altération.
- *stilpnomélane*: petites houppes de couleur brun jaune, englobées dans les plagioclases et les feldspaths potassiques.

d) *Nodules sombres.*

Les nodules sombres sont constitués par du *quartz*, du *plagioclase* (de composition oligoclasique) et des plages de couleur jaune brun faites de *séricite* et de *chlorite*, qui englobent des cristaux de *grenat* néoblastique ou en sont bordées; par leur morphologie et leur composition minéralogique ces plages semblent bien dériver de l'altération de *cordiérite* (pinite).



Fig. 7. — *Cornéenne à andalousite et sillimanite.* (A 94). Vallone della Culatta. La sillimanite prismatique est disposée en un agrégat probablement mimétique d'un ancien pli. Lum. pol.,  $\times 170$ .

Les enclaves sombres renferment aussi un peu de *biotite*, transformée en *chlorite* et mica blanc, et de *stilpnomélane*, en petites houpes englobées en général dans les plagioclases.

## 2.3. - CIRQUE DE LA CULATTA.

Près du col Pagarì de Salèse (sur la crête frontière, entre la Valletta et le vallon des Naucettes), on observe un contact intrusif

très net entre le granite aplitique et les gneiss de la Cima Pagari Est; d'autres contacts intrusifs apparaissent dans le haut cirque du Vallone della Culatta, entre la Cima Pagari et le Piano della Casa.

Les roches gneissiques sont représentées dans cette région par des *gneiss rubanés* de teinte sombre, à *plagioclase* et *biotite*, souvent à *sillimanite* et par des gneiss à tendance ocellée de même composition; ils ont été indiqués comme « embrechiti » et « embrechiti occhiadine » sur la carte de R. MALARODA (1970).



Fig. 8. — *Cornéenne rétromorphique*. (A 93). Vallone della Culatta. Dans le plagioclase légèrement séricitisé sont conservées deux reliques de disthène, de même orientation, qui dérivent vraisemblablement d'un seul individu; une mince bordure de mica blanc entoure les reliques de disthène. Lum. pol.,  $\times 170$ .

Ces gneiss ont une composition minéralogique semblable à celle des gneiss de la Testa del Claus: plagioclase, quartz, biotite, sillimanite, mica blanc en sont les constituants principaux; dans quelques niveaux à quartz et plagioclase s'ajoute aussi du feldspath potassique. Il est intéressant de noter qu'ils renferment souvent du *disthène*, conservé dans les plagioclases en reliques bordées par de la séricite (Fig. 8).

Comme à la Testa del Claus et à la Tête des Tablasses, ainsi que dans le Vallone della Culatta, la plupart des roches gneissiques est affectée par une rétomorphose plus ou moins avancée; les transformations minéralogiques qu'on y observe étant tout à fait comparables à celles que nous avons décrites dans les gneiss à biotite des autres localités, nous n'y insisterons guère.

Beaucoup plus caractéristiques que les gneiss à biotite, mais peu abondants, sont des gneiss de composition plus pélitique qu'on trouve dans les éboulis de la face NW de la Cima di Pagari, qui renferment, en plus de l'andalousite, les deux variétés de sillimanite.

a) *Gneiss à biotite, sillimanite et andalousite.*

Ce sont des roches de teinte gris violacé, à schistosité peu évidente et structure massive, qui ont partiellement échappé à la rétomorphose. Au microscope on voit l'ancienne foliation (matérialisée par l'alternance de lits millimétriques quartzo-feldspathiques et de lits à biotite et sillimanite) déformée en petits plis partiellement effacés par la recrystallisation de biotite et sillimanite. Les constituants principaux sont:

- *plagioclase*: grands cristaux, de composition  $An_{25}$ , en général associés au quartz et toujours plus ou moins altérés en séricite et chlorite; ils sont souvent traversés par des cassures cimentées par de la chlorite.
- *quartz*: amas de grains à extinction faiblement onduleuse.
- *biotite brun rouge*: agrégats de paillettes souvent recrystallisées sans aucune orientation, parfois aussi mimétiques sur l'ancienne schistosité; les paillettes de biotite sont souvent bordées par des ségrégations de titanite et de minerais; une déformation posteristalline y est marquée par la fréquence des kink-bands.
- *sillimanite*: en deux variétés, prismatique et fibrolitique. La fibrolite, en fibres allongées et réunies en fuseaux, est étroitement mêlée à la biotite dans des niveaux de composition pélitique: les fibres sont très plissées et montrent parfois une allure contournée; la fibrolite est souvent altérée en un feutrage de séricite. L'autre variété est représentée par des prismes allongés, de taille bien plus grande (5 à 10 fois) que la fibrolite, qui apparaissent sur les bords des bandes à biotite et fibrolite et ne montrent aucune

trace de déformation; la cristallisation de la sillimanite prismatique semble du type mimétique et « fossilise » les microplis marqués par l'ancienne foliation (Fig. 7).

- *andalousite*: cristaux idioblastiques, concentrés dans les niveaux à biotite et fibrolite, renfermant de nombreuses inclusions (notamment des paillettes de biotite et des aiguilles de fibrolite); l'andalousite est en grande partie pseudomorphosée par un feutrage de séricite, semblable à celui qui dérive de l'altération de la sillimanite.
- *mica blanc*: lames de taille moyenne, peu abondantes, en général englobées dans la biotite et orientées d'une façon quelconque.
- accessoires: *minerais* en petits îlots irréguliers, *zircons* de grande taille, *monazite* et *apatite*.

#### b) *Granite aplitique*.

Le granite leucocrate du Vallone della Culatta est caractérisé par l'abondance de mica blanc et la présence de petits cristaux de grenat.

Au microscope il montre une structure cataclastique, où tous les constituants sont plus ou moins déformés.

Le *feldspath potassique* (microcline microperthitique) y est plus abondant que le *plagioclase* faiblement zoné (noyau de basicité An<sub>15</sub>, périphérie An<sub>10</sub>); le *quartz* est représenté par des agrégats de grains à bords indentés, montrant l'effet de la déformation.

Le *mica blanc*, en grandes lames à bords souvent fibreux, est entouré par un minc liséré de séricite et de *biotite vert brun*.

Le *grenat*, en petits grains arrondis, est assez abondant (> 5%); là où il est associé au mica blanc on voit clairement que sa formation lui est postérieure; les grenats sont parfois altérés en biotite vert brun.

A ces constituants s'ajoute un peu de *stilpnomélane*, en petites gerbes de couleur brun foncé.

### 3. - Les paragenèses des gneiss à sillimanite et andalousite.

La coexistence, dans les roches que nous avons décrites, de minéraux qui manifestement ne sont pas en équilibre et leurs relations microstructurales permettent d'y distinguer trois paragenèses superposées, à savoir :

a) une paragenèse complexe de métamorphisme régional: plagioclase + biotite + fibrolite  $\pm$  feldspath potassique  $\pm$  disthène  $\pm$  grenat;

b) une paragenèse de contact: andalousite + sillimanite + biotite + plagioclase (?);

c) une paragenèse rétromorphique: albite + séricite + biotite verte + chlorite + clinozoïsite/épidote + stilpnomélane.

### 3.1. - LA PARAGENÈSE RÉGIONALE.

La paragenèse la plus ancienne, c'est-à-dire plagioclase + biotite + fibrolite + feldspath potassique (ou muscovite)  $\pm$  disthène  $\pm$  grenat, correspond par ses caractères minéralogiques et microstructuraux à la paragenèse régionale développée dans toutes les roches de composition quartzo-feldspathique et pélitique du massif.

Dans celles-ci plagioclase, feldspath potassique ou muscovite, biotite et grenat forment en effet toujours les constituants principaux; la sillimanite (fibrolite) est aussi très répandue dans les roches de composition plus pélitique, tant dans le Complexe de la Tinée (A. FAURE-MURET, 1955; C. DE POL, 1963) que dans celui du Malinvern-Argentera (A. ROCCATI, 1904 a, 1904 b; A. FAURE-MURET, 1955; Gc. BORTOLAMI & R. SACCHI, 1968; R. MALARODA, 1970; A. BLASI, 1968, 1971).

La distribution du disthène semblerait beaucoup plus restreinte, du moins dans le Complexe du Malinvern-Argentera où il a été signalé seulement par Gc. BORTOLAMI & R. SACCHI (1968) dans des gneiss à biotite et sillimanite du Vallone di Rio Freddo; dans le Complexe de la Tinée au contraire, il semble assez répandu, car on le trouve (A. FAURE-MURET, 1955) tant dans la Série de Varélios que dans les Séries d'Anelle et de Rabuons. On peut toutefois penser qu'il n'est pas rare non plus dans le Complexe du Malinvern-Argentera, car il est présent (mais toujours en quantité très faible) dans tous les gneiss à biotite non rétromorphiques que nous avons examinés à la Testa del Claus, à la Tête des Tablasses et au cirque de Pagarì<sup>(3)</sup>.

L'association de la sillimanite au disthène et les rapports entre ce-ci et les plagioclases qui l'englobent (souvent comme relique), té-

---

(<sup>3</sup>) La quantité de disthène y est si faible qu'on le trouve souvent seulement dans le résidu insoluble à l'HF. Ce fait et la taille très petite des cristaux peuvent expliquer comment sa distribution a pu être sous-estimée.

moignent que les gneiss à sillimanite et andalousite ont subi avant l'intrusion des granites hereyniens une évolution métamorphique complexe où des épisodes à différents régimes de P et T se sont superposés. Pour le moment il est toutefois impossible de préciser si ces épisodes appartiennent au même cycle de métamorphisme ou à plusieurs cycles.

### 3.2. - PARAGENÈSE DE CONTACT.

La paragenèse andalousite + sillimanite prismatique + biotite, manifestement surimposée à la paragenèse régionale, est liée, dans l'opinion des auteurs, à l'action thermique du granite de l'Argentera sur les roches encaissantes. On ne la trouve en effet qu'au voisinage du granite, dans des roches qui montrent souvent une structure très évidente de cornéennes, soulignée par la cristallisation non orientée d'une deuxième génération de *biotite* dans les niveaux pélitiques et sur les charnières des microplis affectant les minéraux de la paragenèse régionale.

A ces caractères structuraux s'ajoute la présence d'*andalousite* qui est en général considérée, sur la base d'arguments pétrographiques ainsi que par les résultats de la pétrologie expérimentale (F. J. TURNER, 1968), comme un minéral typique du métamorphisme de contact. Les relations microstructurales montrent qu'elle est certainement postérieure à la fibrolite, qu'on y trouve parfois incluse, et contemporaine de la biotite de seconde génération, dont elle englobe d'abondantes paillettes.

Au métamorphisme de contact doit être rattachée aussi la *sillimanite prismatique* car elle n'est jamais déformée, et on la voit se développer autour des plagioclases amygdalaires appartenant à la paragenèse régionale (<sup>4</sup>).

Ces caractères et sa morphologie l'opposent nettement à la fibrolite dont elle semble dériver par recristallisation.

Dans les gneiss à andalousite la plupart des *plagioclases* sont représentés, comme nous l'avons montré, par les plagioclases amygdalaires appartenant à la paragenèse régionale; à côté de ces plagioclases qui semblent être demeurés en condition de stabilité pendant le

---

(<sup>4</sup>) Cette variété de sillimanite ne semble avoir été signalée dans le massif de l'Argentera que par A. ROCCATI (1906, p. 500), dans une enclave gneissique du microgranite du Passo Brocan.

métamorphisme de contact, il en existe toutefois d'autres, de taille plus petite, dont la position chronologique est difficile à fixer : à titre d'hypothèse on les rattache à la paragenèse de contact, car il s'agit encore de plagioclases (basicité  $An_{20-25}$ ) et non pas d'albite, celle-ci faisant son apparition seulement pendant la rétromorphose.

### 3.3. - PARAGENÈSE RÉTROMORPHIQUE.

Les minéraux de cette paragenèse (albite, biotite brun vert, chlorite, séricite, clinozôisite/épidote, stilpnomélane) ne posent guère de problèmes d'interprétation chronologique, car on les voit toujours se développer par rétromorphose des minéraux appartenant aux deux paragenèses antérieures.

Cette rétromorphose est sûrement postérieure à la mise en place du granite, car elle s'accompagne d'une cataclase qui a aussi affecté celui-ci où se développent des produits de transformation semblables; de plus il n'est guère concevable que le métamorphisme thermique ait pu épargner ces produits secondaires, en particulier l'association albite + séricite dérivant de l'altération des plagioclases.

Mais comme les phénomènes de rétromorphose ne sont pas rares dans les auréoles de contact, souvent même dans des roches très proches des plutons, on ne peut pas exclure que les transformations tardives des gneiss à sillimanite et andalousite soient à attribuer à des effets tardimagmatiques; la découverte de stilpnomélane dans le granite et la présence dans la couverture sédimentaire de paragenèses semblables à la paragenèse rétromorphique (R. MALARODA, 1957, 1970) font toutefois préférer l'hypothèse suivant laquelle la rétromorphose des gneiss à andalousite doit être attribuée au métamorphisme régional alpin en faciès prehnite-pumpellyite.

## 4. - Conclusions.

En plus de la sillimanite et du disthène appartenant à la paragenèse régionale que le métamorphisme thermique n'a pas réussi à détruire, les roches que nous avons étudiées montrent, comme minéraux de contact, de l'andalousite et de la sillimanite prismatique; les trois polymorphes du silicate d'Al y apparaissent ainsi en coexistence, mais en conditions de déséquilibre évident.

Dans les gneiss à andalousite de l'Argentera il n'y a pas d'éléments suffisants pour évaluer les conditions de formation des trois polymorphes: mais l'andalousite (et la sillimanite prismatique) est nettement à attribuer au thermométamorphisme provoqué par la mise en place des granites hereyniens.

La coexistence dans ces roches de sillimanite et d'andalousite peut être interprétée, dans l'opinion des auteurs, comme résultant d'une certaine variation de température: au début, formation de sillimanite, suivie par l'apparition, à température moindre, d'andalousite.

Ce minéral est considéré comme dénotant des conditions de pression peu élevée et de température modérée: sa présence dans les gneiss au contact avec le granite de l'Argentera semble donc indiquer que celui-ci s'est probablement mis en place à un niveau crustal assez superficiel; il s'agirait donc d'un épipluton (A. F. BUDDINGTON, 1959), comme le montre d'autre part le caractère discordant de la plupart de ses contacts avec les roches encaissantes.

L'absence de feldspath potassique dans la paragenèse de contact à sillimanite (et andalousite) semble témoigner que pendant la mise en place du granite les conditions du faciès de cornéenne à hornblende (H. G. F. WINKLER, 1967) ont été réalisées dans les roches encaissantes; le métamorphisme de contact s'y est superposé à un métamorphisme régional de haut degré (sillimanite, feldspath potassique), dont les caractères correspondent à ceux décrits par A. FAURE-MURET (1955) et R. MALARODA (1970) dans tout le Complexe du Malinvern-Argentera.

#### Remerciements.

Les auteurs tiennent à remercier Mr. le Professeur E. Callegari de ses conseils qui ont beaucoup contribué au progrès du travail. Ils tiennent également à remercier Mr. le Professeur R. Malaroda pour la lecture critique du manuscrit et M.me J. Boquet, de l'Institut Dolomieu de Grenoble, pour la révision du texte français.

#### BIBLIOGRAPHIE

- BLASI A. (1971) - *Genesi dei noduli a sillimanite nelle anatessiti del Mt. Pelago (Alpi Marittime) in rapporto ai fenomeni di metamorfismo, piegamento e granitizzazione*. Mem. Soc. Geol. Ital., 10, 167-190.
- BLASI A. & SCHIAVINATO G. (1968) - *Significato petrologico dei noduli a sillimanite e dei noduli a cordierite diffusi nelle anatessiti biotitiche del Mt. Pelago (Massiccio cristallino dell'Argentera)*. Boll. Soc. Geol. Ital., 87, 253-275.

- BORTOLAMI GC. & SACCHI R. (1968) - *Osservazioni geologico-petrografiche sui medi valloni di S. Anna e Rio Freddo (Massiccio cristallino dell'Argentera)*. Mem. Soc. Geol. Ital., 7, 37-64.
- BOUCARUT M. (1967) - *Structure du granite de l'Argentera et style tectonique de l'ensemble de ce massif*. C. R. Acad. Sci. Paris, 264, 1573-1576.
- BOUCARUT M. (1969) - *Note préliminaire sur les enclaves des massifs granitiques de l'Argentera-Mercantour (Alpes-Maritimes, France) en relation avec les conclusions de J. DIDIER sur les enclaves des massifs granitiques*. Schweiz. Min. Petr. Mitt., 49, 77-96.
- BUDDINGTON A. F. (1959) - *Granite emplacement with special reference to North America*. Geol. Soc. Amer. Bull., 70, 671-747.
- DE POL C. (1963) - *Migmatiti e metamorfiti della regione M. Corborant-M. Laroussa (Massiccio dell'Argentera)*. Rend. Soc. Min. Ital., 19, 79-98.
- FAURE-MURET A. (1955) - *Etudes géologiques sur le massif de l'Argentera-Mercantour et ses enveloppes sédimentaires*. Mém. Carte géol. France, 336 pp.
- FERRARA G. & MALARODA R. (1969) - *Radiometric Age of granitic Rocks from the Argentera Massif (Maritime Alps)*. Boll. Soc. Geol. Ital., 88, 311-320.
- FRANCHI S. (1894) - *Relazione sui principali risultati del rilevamento geologico nelle Alpi Marittime eseguito nelle campagne 1891-92-93*. Boll. R. Comit. Geol. Ital., 25, 231-258.
- MALARODA R. (1957) - *Studi geologici sulla dorsale montuosa compresa tra le basse Valli della Stura di Demonte e del Gesso (Alpi Marittime)*. Mem. Istit. Geol. Miner. Univ. Padova, 20, 130 pp.
- MALARODA R. (1970) - *Carta geologica del Massiccio dell'Argentera alla scala 1:50.000, e Note Illustrative* (a cura di F. CARRARO, G. V. DAL PIAZ, B. FRANCESCHETTI, R. MALARODA, C. STURANI e E. ZANELLA). Mem. Soc. Geol. Ital., 9, 557-663.
- MALARODA R. & SCHIAVINATO G. (1957) - *Osservazioni preliminari sui fenomeni di anatessi nel settore italiano del Massiccio dell'Argentera*. Boll. Soc. Geol. Ital., 76, 323-343.
- ROCCATI A. (1904 a) - *Ricerche petrografiche sulle Valli del Gesso (Valle delle Rovine)*. Atti R. Acad. Sci. Torino, 39, 669-688.
- ROCCATI A. (1904 b) - *Ricerche petrografiche sulle Valli del Gesso (Serra dell'Argentera)*. Atti R. Acad. Sci. Torino, 39, 1008-1023.
- ROCCATI A. (1906) - *Microgranito con inclusi di gneiss del Colle Brocan (Valle del Gesso delle Rovine)*. Atti R. Acad. Sci. Torino, 41, 495-503.
- TURNER F. J. (1968) - *Metamorphic petrology*. McGraw Hill, New York, 425 pp.
- WINKLER H. G. F. (1967) - *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. Springer-Verlag, Berlin, 2nd ed., 237 pp.