

Nouvelle contribution à l'étude des grenats de l'Estérel (Var, France)

Gilbert MARI⁽¹⁾, Olivier GRAUBY⁽²⁾
et Jérôme SIC⁽³⁾

⁽¹⁾ gilmarite@aol.com

⁽²⁾ Aix-Marseille Université et Centre interdisciplinaire de Nanosciences de Marseille
(CINaM) UMR-CNRS 7325, Campus de Luminy 13288 Marseille, France.

⁽³⁾ jeromenissa@yahoo.fr

Petit massif montagneux situé en bordure de la Méditerranée, l'Estérel doit sa notoriété auprès des minéralogistes à la présence de lithophyses dont la formation est liée à la mise en place, il y a 275 millions d'années environ, au Permien inférieur, d'une lave acide - la rhyolite fluidale A11 - en milieu lacustre.

L'Estérel recèle toutefois d'autres minéralisations, plus discrètes, mais dignes du plus grand intérêt. Il s'agit notamment de celles liées à l'intrusion d'une roche connue sous le nom d'estérellite dont l'exploitation en carrières, notamment au XIX^e et au début du XX^e siècles, a mis en évidence des minéralisations dont A. Lacroix nous donne, dans sa « Minéralogie de la France », un petit aperçu.

« *Grenats verts de l'Estérel* » ! Ces quelques mots relevés (G.M.) dès le début des années 70 dans le « Prodrôme d'Histoire naturelle du Var » publié en 1853 par Doublier et Pannescorce resteront, et ce pendant plusieurs décennies, une énigme.

Cette information était-elle crédible ? Pour y répondre, dans quel contexte géologique fallait-il entreprendre des recherches ?

L'intrusion de l'estérellite et l'auréole de métamorphisme qui l'accompagne nous ont semblé alors comme les seules formations susceptibles de receler de tels grenats. La lecture de la thèse de l'abbé P. Bordet (1951) qui mentionnait la présence de grenat brun entre les Ferrières et le Dramont renforcera nos convictions dans ce sens. Cependant après quelques recherches infructueuses, d'autres sites et d'autres minéraux capteront notre attention...

P. Rostan retrouvera, en 1984, les grenats de P. Bordet au col du Dramont. L'analyse les identifiera comme des andradites.

En 2013, la découverte fortuite (J.S.) de grenats parfaitement cristallisés d'une teinte variant du jaune clair au brun foncé dans le quartier des Ferrières d'Agay allait remettre le sujet à l'ordre du jour et conduire à force de persévérance... aux grenats verts.

Avant d'apporter de nouveaux éléments sur les grenats de l'Estérel et plus particulièrement sur ceux des Ferrières, il nous est apparu opportun d'évoquer l'estérellite à laquelle leur présence est étroitement liée.

L'ESTERELLITE

La région méditerranéenne a été le théâtre, au cours de l'ère tertiaire, d'une activité volcanique dont les manifestations, bien que très localisées, apportent la preuve de l'existence, à cette époque, de phases tectoniques majeures.

Deux types de volcanisme sont à considérer : l'un, alcalin, est représenté par les basaltes et trachybasaltes du massif des Maures et de la région toulonnaise ; l'autre, calco-alcalin, par les laves ligures (Antibes, Biot, Cap d'Ail, vallée de l'Estéron) et par l'estérellite (massif de l'Estérel).

Nommée en 1796 par de Saussure « porphyre bleu de l'Estérel », l'estérellite doit son nom actuel à Auguste Michel-Lévy qui lui consacra, en 1897, un mémoire qui constitue l'étude pétrographique la plus complète du XIXe siècle. Par la suite de nombreux auteurs se pencheront sur l'origine et les particularités de cette roche tandis que le problème de l'âge de sa mise en place donnera lieu à de nombreuses controverses.

L'estérellite affleure dans la partie méridionale de l'Estérel oriental, entre Agay et Saint-Raphaël, sous forme d'un petit massif subelliptique d'environ 6 km de long sur 3 km de large, orienté NW-SE, qui recoupe les formations volcano-sédimentaires permiennes (Fig. 1).

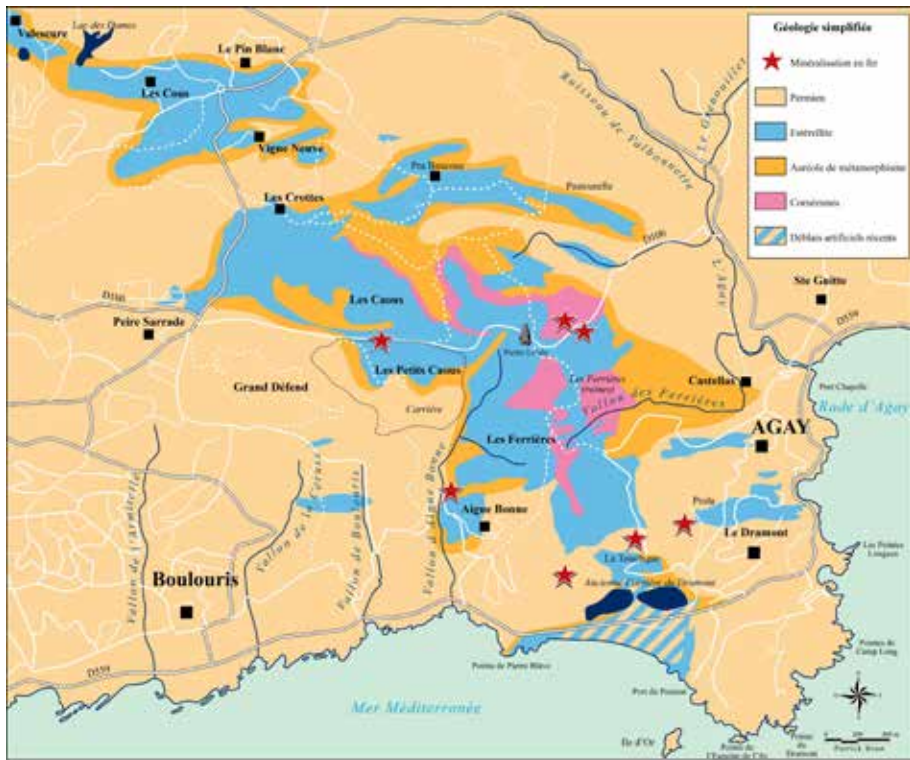


Fig. 1 : L'estérellite et son métamorphisme de contact (d'après J.-D. Giraud, 1983, N. Toutin-Morin et al, 1994 et G. Mari, 2015.)

Pétrographie

Classée parmi les dacitoïdes, l'estérellite est une microdiorite quartzique de couleur claire, blanchâtre ou bleutée, parfois verdâtre, riche en phénocristaux (plagioclases, quartz, ferromagnésiens).

De couleur blanchâtre, les plagioclases (andésine¹) montrent un zonage et des macles qui ont fait leur réputation auprès des pétrographes et des minéralogistes (Photo 1). Les plus gros cristaux sont situés à la périphérie et au toit de l'intrusion principale ; ils caractérisent les faciès de bordure. Ils sont particulièrement développés à Boulouris, à l'Armitelle, au carrefour de l'Aspé et au point coté 90,2 où ils peuvent atteindre 5 à 6 cm de longueur et être extraits de la roche.



Photo 1 : Estérellite à phénocristaux d'andésine. Dimensions de la « macle du péricline » : 3,5 x 2,2 x 1 cm. Saint-Raphaël (Les Cous).
Découverte et collection : J.-C. Peyrieux. Photo : L.-D. Bayle.

Les cristaux sont de taille centimétrique aux Cous, à Pra Baucous et à Pierre Levée. La mésostase de la roche y est très importante et évoque une texture en rapport avec un refroidissement rapide de l'intrusion. Les cristaux, de taille millimétrique, sont situés dans des zones plus internes du corps intrusif : les Cous (est), Dramont, Caous, Aigue Bonne, Prola, la Touchque, Pointe de Pierre Blave, Castellas.

Le quartz, toujours présent, se présente parfois sous forme de cristaux automorphes, bipyramidés, de taille centimétrique. Au point coté 90,2, par suite de l'altération de l'estérellite en une arène blanchâtre, des phénocristaux de quartz isolés peuvent être récoltés.

Les ferromagnésiens sont représentés par des amphiboles (hornblende) sauf pour l'estérellite de Pierre Levée où il s'agit de biotite.

Selon la nature, la disposition, la taille et l'abondance des phénocristaux, deux faciès pétrographiques ont été définis (Giraud, 1975) :

- Faciès microgrenu porphyrique : caractéristique des zones internes de l'intrusion, il peut être fluidal avec des lattes de plagioclases et d'amphiboles orientées

¹ L'andésine est aujourd'hui regardée comme une simple phase intermédiaire entre l'albite et l'anorthite, espèces qui constituent les deux pôles extrêmes de l'ancienne série des plagioclases.

(Dramont), à amphiboles auréolées d'une couronne de minéraux opaques (Petits Caous) ou encore à biotite et quartz (Pierre Levée).

- Faciès grenu à plagioclases centimétriques en bordure de l'intrusion.

Au microscope, la structure est microgrenue porphyrique, sauf par places, à Prola où elle est sphérolitique. Selon les associations minérales quatre types principaux d'estérellite peuvent être distingués :

- Type à grandes andésines (Boulouris).
- Type à clinopyroxène et amphibole (Les Cousins).
- Type à amphibole (Petits Caous, Pra Baucouis, Aigue Bonne, Prola, Dramont).
- Type à biotite (Pierre Levée).

L'estérellite contient de nombreuses enclaves de nature variée.

- Les enclaves homogènes sont caractérisées par un grain plus fin et une couleur plus sombre par rapport à l'estérellite. Elles sont abondantes dans les carrières des Cousins, de Pierre Levée, des Caous, de la Touchque, du Dramont et d'Aigue Bonne.

- Les enclaves énallogènes sont de nature diverse : diorite quartzique, microdiorite, granodiorite, granite, cornéennes, gneiss.

Localement, des minéralisations en calcite, épidote, pyrite, blende, galène, etc... liées à une activité hydrothermale ont été observées sous forme d'enclaves ; elles ont, dès le XIX^e siècle, attiré l'attention des géologues.

Les données pétrographiques, minéralogiques et géochimiques indiquent que les laves à l'origine de l'estérellite qui admettent un magma parental de type basalte alumineux avec les andésites ligures ont subi un processus de différenciation par cristallisation fractionnée allant des andésites aux microdiorites quartziques à biotite auquel se surimposent un phénomène de ségrégation gravitative et un enrichissement en fluides dans les stades ultimes du fractionnement (Giraud, 1983).

Mode de mise en place et âge

Les travaux réalisés dans le cadre de l'Université de Nice ont permis de montrer qu'une intrusion de magma calco-alcalin guidée par des accidents NS et EW préexistants dans la série permienne a, dans un premier temps, alimenté des filons avant injection du stock principal sous forme d'un petit batholite allongé NW-SE tandis qu'à la périphérie des phénomènes d'injection lit par lit ont conduit à la formation de petits laccolites (Boulouris, Castellias, Prola).

L'injection du stock principal a provoqué, au toit de l'intrusion, un bombement des terrains encaissants permien avec, lors de la phase paroxysmale, un effondrement de lambeaux de ce Permien par effet de « magmatic stoping » dans le magma intrusif.

Les études stratigraphiques et tectoniques attribuent un âge tertiaire à l'estérellite, ce que confirment les datations radiochronologiques (K/Ar) qui ont livré des âges compris entre 26 et 34 Ma ou entre 33 et 56 Ma, valeur aujourd'hui privilégiée. Sa mise en place correspond à un événement du cycle alpin.

Métamorphisme de contact

L'intrusion du batholite d'estérellite a provoqué la métamorphisation des terrains encaissants et induit l'apparition de paragenèses minérales typiques du métamorphisme de contact.

Son importance est fonction de la nature des roches et se traduit généralement par de simples silicifications ou par le développement, au contact intrusif, d'une brèche polygénique dont les éléments (des fragments de roches permienes) sont cimentés par une pâte de même composition que l'estérellite (sud et ouest des Petits Caous, sud de Pierre Levée). Ce métamorphisme est peu spectaculaire exception faite dans le secteur des Caous et des Ferrières où se sont développées des cornéennes à minéraux : grenats, andalousite, muscovite et cordiérite d'une part, biotite verte et quartz d'autre part.

En certains points, les terrains encaissants permien, tout comme l'estérellite, ont été affectés par une activité hydrothermale. Ils révèlent une minéralisation, très ténue et localisée, à magnétite, pyrite, oligiste, blende, galène, etc...

Usages

L'exploitation de l'estérellite comme pierre d'ornement remonte à l'époque romaine qui voit l'ouverture des premières carrières (Boulouris). Il faudra cependant attendre le XIXe siècle pour que ses qualités, notamment de résistance à l'écrasement, soient pleinement reconnues. De nombreuses carrières, parfois de faible importance, sont alors ouvertes et les matériaux extraits utilisés pour fabriquer des moellons (empiècement de chaussées, pavés, ballast). Aujourd'hui, seule la carrière des Grands Caous reste en activité et fournit granulats, ballast pour la S.N.C.F, blocs pour les aménagements portuaires, etc...

LES GRENATS

Grenats pyralspites (alumineux)	
Pyrope	$Mg_3Al_2(SiO_4)_3$
Almandin	$Fe_3^{2+}Al_2(SiO_4)_3$
Spessartite	$Mn_3^{2+}Al_2(SiO_4)_3$
Grenats ugrandites (calciques)	
Uvarovite	$Ca_3Cr_2^{3+}(SiO_4)_3$
Grossulaire	$Ca_3Al_2(SiO_4)_3$
Andradite	$Ca_3Fe_2^{3+}(SiO_4)_3$
Grenats rares	
Calderite	$Mn_3^{2+}Fe_2^{3+}(SiO_4)_3$
Eringaite	$Ca_3Sc_2(SiO_4)_3$
Goldmanite	$Ca_3V_2^{3+}(SiO_4)_3$
Knorringite	$Mg_3Cr_2^{3+}(SiO_4)_3$
Majorite	$Mg_3(SiMg)(SiO_4)_3$
Menzerite-(Y)	$Y_2CaMg_2(SiO_4)_3$
Momoiite	$Mn_3^{2+}V_2^{3+}(SiO_4)_3$
Morimotoite	$Ca_3(Ti^{4+}Fe^{2+})(SiO_4)_3$

Tableau 1 : Les grenats (d'après le Fleischer's Glossary of Mineral Species, 2014).

Les grenats sont des néosilicates qui appartiennent à l'holoédrie du système cubique. Ils ont pour formule générale : $X_3^{2+}Y_2^{3+}(SiO_4)_3$ avec pour les plus communs X = Mg, Fe, Mn, Ca et Y = Al, Fe, Cr, V.

Habitus, type de gisement et accessoirement couleur sont des critères souvent suffisants pour identifier les minéraux du groupe des grenats. Cependant, seule une analyse chimique permet de différencier avec certitude les 14 espèces validées par l'International Mineralogical Association et les nombreuses variétés (Tableau 1).

Sur la base de ces analyses les grenats ont été divisés en deux séries entre lesquelles il existe peu de termes intermédiaires tandis qu'à l'intérieur de chacune d'elles le passage d'une espèce à l'autre est sans limites nettes. Ce sont les pyralspites (pyrope, almandin, spessartite) et les ugrandites (uvarovite, grossulaire, andradite). Les autres grenats sont beaucoup plus rares.

Les grenats de l'Estérel

Dans l'Estérel, diverses minéralisations, généralement très ténues, sont liées à l'estérellite. Les unes, situées dans la masse même de la roche (diaclasses, filons, enclaves), sont le résultat de circulations hydrothermales, les autres sont localisées dans l'aurole de métamorphisme souvent discrète qui s'est développée à proximité immédiate du contact intrusif, dans les formations permienes. Ce métamorphisme de contact est attribué au hornfel faciés (albite + épidote ou andalousite + cordiérite) par J.-D. Giraud (1971).

Parmi ces minéraux, les grenats ont été recherchés avec beaucoup d'attention.

Travaux antérieurs

Après Doublier et Pannescorce qui, en 1853, signalent (p. 40) sans plus de précision la présence de grenats verts dans l'Estérel, il faudra attendre les travaux de P. Bordet « Etude géologique et pétrographique de l'Estérel », en 1951 pour que la présence de grenats dans ce massif et plus précisément dans la région située entre les Ferrières et le Dramont soit à nouveau évoquée : « ... les épontes des diaclasses et les fissures des roches sédimentaires sont couvertes d'un enduit jaune dans lequel on reconnaît à la loupe, du quartz en prismes pyramidés, de l'épidote en rosettes, de la pyrite et même parfois du grenat brun. »

Le même auteur mentionne avoir rencontré assez souvent dans le « laccolite inférieur » (les Cous, Pra Baucous, Caous, Armitelle, Boulouris, les Crottes) de petits grenats rouges en inclusions dans les plagioclases ou dans la mésostase. En 1971, Ch. Caruba « Les minéraux accessoires de l'Estérellite et de quelques roches acides et basiques de l'Estérel » fait état de grenats de type almandin visibles à l'œil nu, présentant parfois la forme du rhombododécaèdre, dans les plagioclases du point coté 90,2 ainsi que dans les carrières de Boulouris et des Petits Caous. Ces grenats se localisent préférentiellement au cœur des cristaux et plus rarement dans la mésostase.

Par la suite, M. Boucarut (1971), J.-D. Giraud (1975) et G. Mari (1979) en feront également mention tandis que P. Rostan (2003) redécouvre les grenats – des andradites – signalés par P. Bordet.

L'andradite - $Ca_3Fe_2^{3+}(SiO_4)_3$ - représente le pôle ferrifère de la série de grenats calciques connus sous le nom d'ugrandite. Elle doit son nom au minéralogiste brésilien

José Bonifacio d'Andrada e Silva (1763 – 1858). Topazolite(jaune), dématoïde (vert jaune à vert) et mélanite (brun noir) sont des variétés d'andradite.

Les andradites du col de Dramont

Ces grenats signalés par P. Bordet (1951) ont été retrouvés en 1984 par P. Rostan qui réalisera une étude minéralogique exhaustive du gîte : « Une minéralisation originale à grenat et minéraux de béryllium au toit de l'estérellite du Drammont » publiée en 2003 dans Riviera Scientifique, revue à laquelle nous renvoyons pour plus d'informations le lecteur.

Les « bulles » d'un filon-couche doléritique (FC6) y sont tapissées de quartz, chlorite, magnétite, oligiste, épidote, grenat andradite et minéraux de béryllium (Photo 2).

L'auteur rapproche cette paragenèse minérale d'un type pneumatolytique, des fluides de haute température ayant été piégés dans les cavités préexistantes de la roche.



Photo 2 : Andradite (topazolite) et oligiste (champ : 4,35 mm). Col du Dramont.
Découverte et collection : A. Dalia. Photo P. Chollet.

Les andradites d'Aigue Bonne

A Aigue Bonne, des grenats andradites corrodés de quelques millimètres de diamètre ont été mis en évidence. Ils sont inclus dans de petits blocs de magnétite massive. Des cristaux de magnétite octaédriques sont parfois enchâssés dans ces grenats. Les recherches, très superficielles, n'ont pas fourni à ce jour d'échantillons de qualité.

Les andradites des Ferrières d'Agay

A proximité de la carrière d'estérellite des Grands Caous et du carrefour de Pierre Levée (menhir), le quartier des Ferrières d'Agay doit son nom à une ancienne mine de fer. Tranchées, puits et galeries de peu d'importance, réalisés de 1866 à 1867, sous l'impulsion de François Hippolyte Bonnet, ont permis l'exploitation de 100

à 200 tonnes d'un minerai composé pour l'essentiel de magnétite dont on trouve, aujourd'hui encore, ça et là, quelques fragments, de taille parfois décimétrique, ainsi que de pyrite, goethite et limonite. La minéralisation, concentrée dans des poches irrégulières de 1 à 2 m de diamètre, est située dans une série détritique du Permien au toit de la zone où se sont produites les injections lit par lit d'estérellite.

Localisation

Les grenats andradites sont localisés dans la zone de métamorphisme de contact située au toit de l'intrusion d'estérellite dans les cavités géodiques, filonnets et enclaves d'une cornéenne calcique dans laquelle on peut distinguer des porphyroblastes de quartz automorphes.

Formes observées

Les cavités géodiques sont relativement fréquentes mais peu d'entre elles sont minéralisées. Parmi ces dernières, certaines sont tapissées de grenats alors que d'autres contiennent des cristaux isolés ou des ensembles polycristallins libres de toute attache.

Les andradites observées ont pour formes dominantes le tétragonotrioctaèdre {211} et le rhombododécaèdre {110}. Ces deux formes de base sont rarement réunies sur un même échantillon. Les combinaisons rhombododécaèdre {110}/tétragonotrioctaèdre {211} et cube {100}/octaèdre {111} sont également largement représentées (Fig. 2).

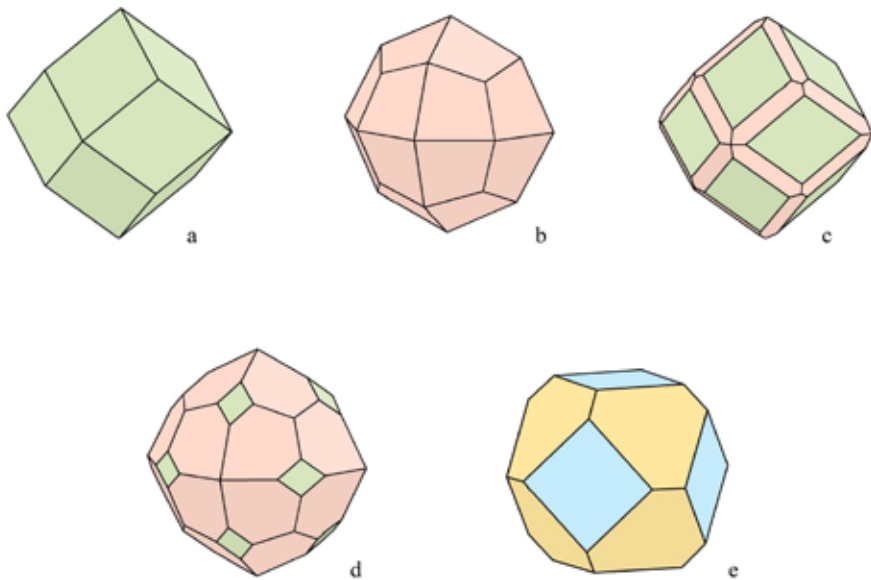


Fig. 2 : Andradites des Ferrières d'Agay : formes observées (dessins de Patrick Brun)
a. Rhombododécaèdre {110}.
b. Tétragonotrioctaèdre = leucitoèdre {211}.
c. & d. Combinaison du rhombododécaèdre {110} et du tétragonotrioctaèdre {211}.
e. Combinaison du cube {100} et de l'octaèdre {111}.

Généralement les cristaux présentent des faces lisses plus ou moins brillantes, alors que d'autres montrent des faces striées ou des figures de croissance losangiques en escaliers et pour certaines de petites dépressions (cristaux cariés) (Photo 3).

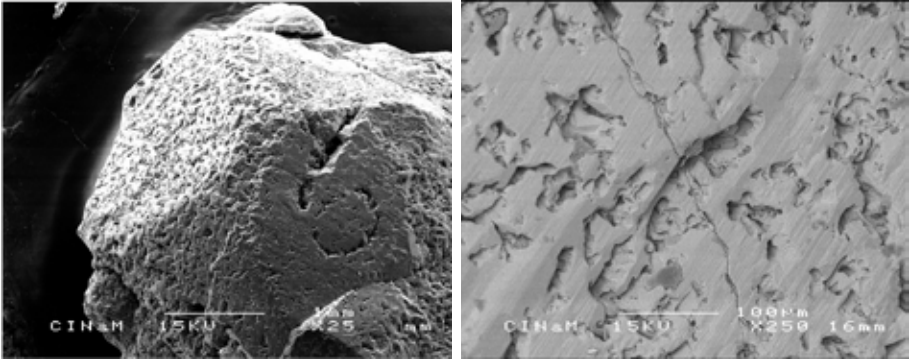


Photo 3 : Surface d'un grenat andradite « carié ». Photo MEB.

Les cornéennes sont quelquefois parcourues de petits filons d'andradite massive de couleur jaune miel dans lesquels s'individualisent parfois de petits amas de calcédoine et/ou de quartz.

Il faut signaler également la présence de véritables grenatites sous forme d'enclaves parfois pluridécimétriques constituées exclusivement par l'agrégation de cristaux d'andradite de couleur jaune miel. En raison de la cohésion, relativement lâche, entre les cristaux, ces grenatites sont parfois à l'origine d'un sable de grenats.

Caractéristiques physiques

Les andradites du quartier des Ferrières présentent une grande gamme de couleurs. Celles-ci oscillent généralement entre le jaune clair (topazolite) et le brun foncé, presque noir (mélánite) mais certains cristaux, plus rares, sont jaune verdâtre à vert (démantoïde) et d'autres blanc laiteux (Photos 4 à 17). Les analyses à la microsonde électronique ont mis en évidence une zonation dans ces grenats qui correspond à



Photo 4 : Andradite « topazolite ». Champ : 27 mm. Les Ferrières d'Agay. Photo P. Chollet.



Photo 5 : Andradite « topazolite ». Champ : 8,1 mm. Les Ferrières d'Agay. Photo P. Chollet.



Photo 6 : Andradite « topazolite ». Champ : 19,5 mm. Les Ferrières d'Agay. Photo P. Chollet.



Photo 7 : Andradite « topazolite ». Champ : 6,25 mm. Les Ferrières d'Agay. Photo P. Chollet.



Photo 8 : Andradite « mélanita ». Spécimen : 18,5 x 15 mm. Les Ferrières d'Agay. Photo P. Chollet.



Photo 9 : Andradite « mélanite ». Spécimen : 9,5 x 6 mm. Les Ferrières d'Agay. Photo P. Chollet.



Photo 10 : Andradite « mélanite ». Spécimens (de gauche à droite et de haut en bas : 11 x 10,5 mm / 9 x 9 mm / 5,3 x 4,2 mm / 9,3 x 7,2 mm). Les Ferrières d'Agay. Photo P. Chollet.



Photo 11 : Andradite « mélanite ». Spécimen : 19 x 12 mm. Les Ferrières d'Agay. Photo P. Chollet.



Photo 12 : Andradite « démantioïde ». Champ : 16,25 mm. Les Ferrières d'Agay. Photo P. Chollet.



Photo 13 : Andradite « démantioïde ». Champ : 10,7 mm. Les Ferrières d'Agay. Photo P. Chollet.



Photo 14 : Andradite « démantoïde ». Spécimen : 17,2 x 11 mm. Les Ferrières d'Agay. Photo P. Chollet.



Photo 15 : Andradite « démantoïde ». Champ : 3,7 mm. Les Ferrières d'Agay. Photo P. Chollet.



Photo 16 : Andradite « démantoïde ». Champ : 3,55 mm. Les Ferrières d'Agay. Photo P. Chollet.



Photo 17 : Andradite « démantoïde ». Champ : 3,5 mm. Les Ferrières d'Agay. Photo P. Chollet.

une variation de composition chimique allant du centre vers la périphérie. Dans certains cas, les cristaux sont bicolores : de couleur brune à la périphérie, ils présentent un cœur vert jaunâtre clair. Le passage d'une couleur à l'autre se fait sans transition et évoque deux phases de cristallisation distinctes.

La taille des andradites est généralement comprise entre 2 et 4 mm de diamètre mais certains cristaux peuvent être centimétriques. Les sédiments détritiques meubles (sables, terres) qui résultent de l'altération de la roche encaissante sous l'effet des agents atmosphériques ont livré, par ailleurs, quelques fragments qui témoignent de grenats atteignant jusqu'à 2 cm.

L'éclat est vitreux, quelquefois très vif lorsque les cristaux sont transparents (qualité gemme), d'autres sont translucides, quelques uns opaques.

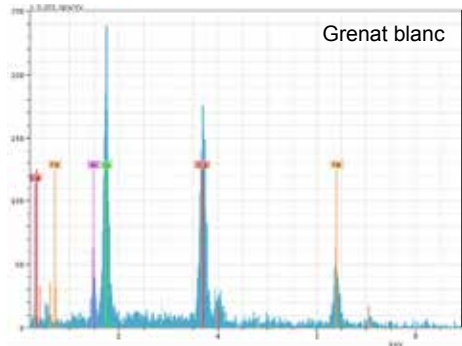
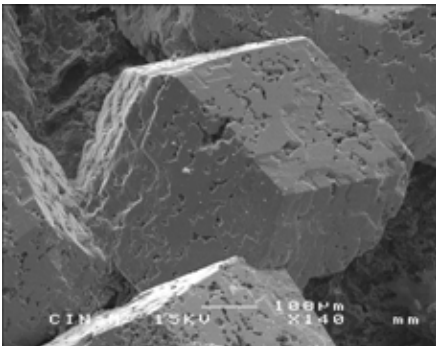
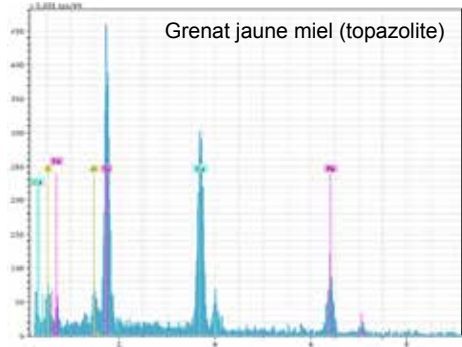
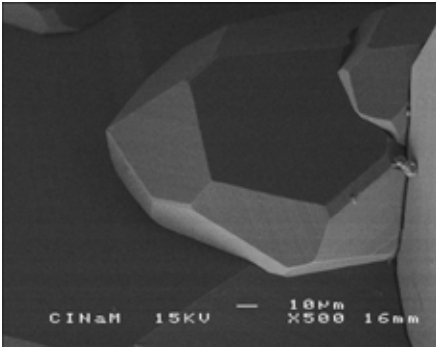
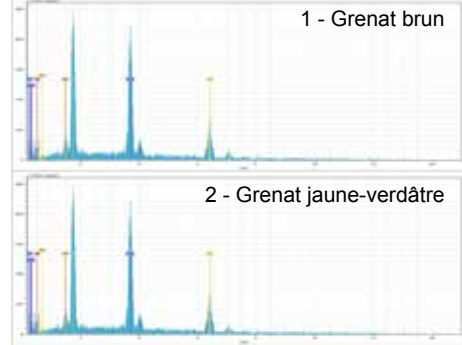
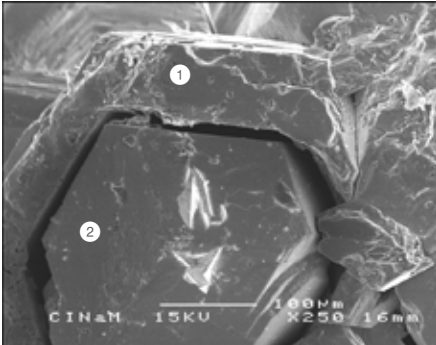
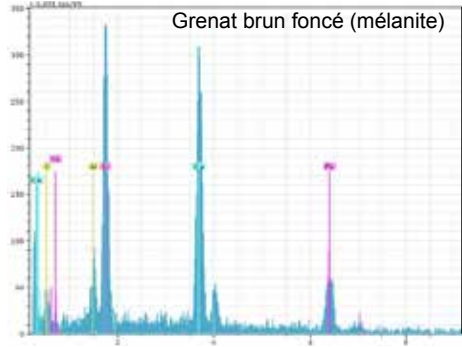
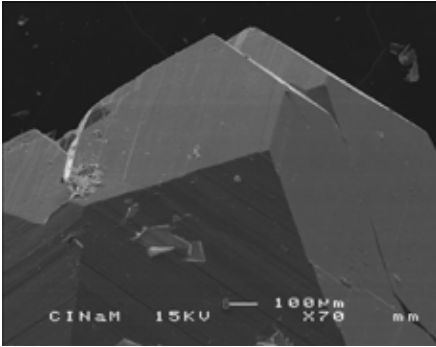
Les andradites des Ferrières sont magnétiques.

Composition chimique (% poids)

Les andradites ont été analysées au CINaM (O.G.) par microscopie électronique à balayage. L'instrument est couplé à un dispositif d'analyse élémentaire par émission de rayons X en dispersion d'énergie (Fig. 3 à 7). Le tableau 2 mentionne la moyenne des résultats obtenus.

	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃
Grenats bruns	8,548	47,025	28,599	15,828
Grenats jaune clair	5,108	45,889	29,491	19,512
Grenatite jaune clair	3,665	45,785	30,042	20,508
Grenats verts	2,426	33,129	36,428	28,017
Grenats blancs	4,266	36,106	34,872	24,756

Tableau 2 : Composition chimique moyenne (% poids)



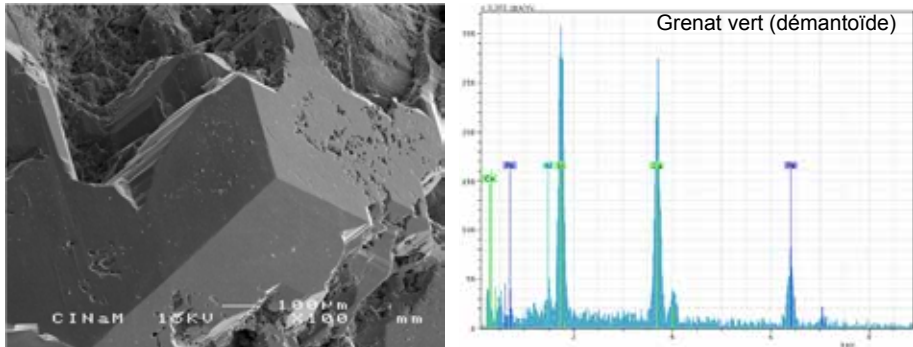


Fig. 3 : Spectres EDX des diverses variétés d'andradites des Ferrières d'Agay.

Les andradites des Ferrières ne sont pas pures elles contiennent un petit pourcentage de grossulaire (variété hessonite). En l'absence de chrome, la teinte verte de la variété démantoïde doit être attribuée au fer ferrique.

Essai au chalumeau

Sous l'action du chalumeau, les andradites des Ferrières fondent sans difficulté en donnant un globule noir fortement magnétique.

Paragenèse

Les cristaux d'andradite sont parfois recouverts d'une mince pellicule d'argile noire manganésifère. Exceptionnellement, ils sont accompagnés d'épidote et de silice sous forme de quartz (hyalin, améthyste) et/ou de calcédoine. Les oxydes de manganèse sont fréquents dans la gangue sous forme de dendrites.

Conclusion

Aujourd'hui, seule la carrière des Grands Caous reste active et son accès est formellement interdit au public. Parmi celles qui ont été abandonnées, les unes ont été envahies par les eaux et abritent de petits lacs, d'autres ont été comblées et ont fait l'objet d'aménagements (campings, lotissements) enfin quelques unes généralement envahies par la végétation voire des débris de toutes sortes restent, non sans risques, accessibles et constituent un champ de recherches qui n'a pas encore livré tous ses secrets.

Remarques

Sauf mention particulière, les échantillons qui illustrent cet article ont été découverts par Jérôme Sic.

Le point coté 90,2 des anciennes cartes topographiques au 1/20 000^e correspond au point coté 90 des cartes au 1/25 000^e.

L'orthographe de certains noms de lieux est variable selon les documents consultés mais aussi, sur le terrain, au regard des panneaux de signalisation.

Remerciements

Nous tenons à remercier Pascal Chollet pour ses très belles photographies de grenats, Louis-Dominique Bayle pour celle relative à l'andésine, Patrik Brun pour l'infographie, Jean-Claude Peyrieux et Andrea Dalia pour nous avoir autorisés à présenter des

spécimens de leur collection, Mireille Blanchi, Michèle Garcin, Pierre Sic, Sarah Sic qui, sur le terrain, ont patiemment œuvré avec Jérôme pour dénicher les plus beaux échantillons, ainsi que Jean-Jacques Cochemé, Franck Denis, Jean-Dominique Giraud, Pierre Rolland et Pierre Rostan qui, à des titres divers, nous ont apporté leur concours.

Bibliographie

BACK M.E. (2014) – Fleischer's Glossary of Mineral Species. The Mineralogical Record Inc. Tucson.

BORDET P. (1951) – Etude géologique et pétrographique de l'Estérel. *Thèse*, Paris, 207 p.

BORDET P. (1966) – L'Estérel et le massif de Tanneron. Hermann édit., 114 p.

BOUCARUT M. (1971) – Etude volcanique et géologique de l'Estérel (Var, France). *Thèse d'Etat*, Nice, 487 p.

CARUBA – MARTIN C. (1971) – Les minéraux accessoires de l'Estérellite et de quelques roches acides et basiques de l'Estérel (Var). *Thèse 3^{ème} cycle*, Nice, 123 p.

COQUAND H. (1848) – Description des terrains primaires et ignés du département du Var. *Mém. Soc. Géol. Fr.* (2) t. III.

DOUBLIER, PANNESCORCE F. (1853) – Prodrome d'histoire naturelle du département du Var, 1^{ère} partie : minéralogie et géologie, Draguignan.

DRUGMAN J. (1925) – Note sur des types de macles dans les andésines du porphyre bleu de l'Estérel. *Bull. Soc. Fr. Minéral.*, t. XLVIII.

GIRARD J. (1919) – Nomenclature des richesses minières du département du Var. Draguignan.

GIRAUD J.-D. (1975) – Une intrusion calco-alkaline type : l'Estérellite. Position dans le contexte volcanologique tertiaire régional. *Thèse 3^{ème} cycle*, Nice.

GIRAUD J.-D. (1983) – L'arc andésitique paléogène des Alpes occidentales. *Thèse d'Etat*, Nice, 378 p.

LACROIX A. (1907) – Minéralogie de la France et de ses colonies, Paris, 1893 – 1907.

MARI G. (1979) – Mines et Minéraux de la Provence cristalline. Ed. Serre, Nice.

MICHEL – LEVY Alb. (1912) – L'Estérel. Etude stratigraphique, pétrographique et tectonique. *Bull. Soc. Géol. Fr.* n° 130, t. XXI, pp. 263-325.

MICHEL – LEVY Aug. (1896) – Sur quelques particularités de gisement du porphyre bleu de l'Estérel. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (3) t. XXIV.

MICHEL – LEVY Aug. (1897) – Mémoire sur le porphyre bleu de l'Estérel. *Bull. Soc. Géol. Fr.* t. IX, n° 57, p. 217.

QUIN J.-P. (1961) – Le zonage des plagioclases dans les estérellites du massif de l'Estérel (Var). *Thèse 3^e cycle*, Marseille.

ROSTAN P. (2003) – Une minéralisation originale à grenat et minéraux de béryllium au toit de l'estérellite du Drammont (Var, France). *Riviera Scientifique*, Nice, **87**, pp. 61-68.

TOUTIN – MORIN et al. (1994) – Carte géologique de la France au 1/50 000, feuille Fréjus – Cannes (1024) et notice explicative. Ed. BRGM, Orléans.

VILLENEUVE DE FLAYOSC (1856) – Description minéralogique et géologique du Var. Paris.

WALLERANT F. (1889) – Etude stratigraphique et pétrographique de la région des Maures et de l'Estérel. *Thèse*, Rennes.