

# 1. GRENATS DE FUMEROLLES ET PHONOLITES A GRENATS

## 1.1 Introduction

On imagine généralement la croissance de cristaux par l'apport et la mise en place d'éléments structuraux des minéraux (ions, molécules, atomes) dans un bouillon magmatique ou d'eaux chaudes hydrothermales. Mais la science du XXe siècle a permis la création de cristaux de haute pureté grâce notamment à la technologie des dépôts chimiques en phase vapeur. Ainsi, il est possible de former des cristaux non pas seulement en milieu liquide, mais également en milieu gazeux.



Figure 1 : Fumerolles : Monocristaux de saphir, criceram 1990

Figure 2: Fumerolles : cristaux de soufre et de salmiac de fumerolles, Thionville

Depuis Miashiro dans les années 70, on sait que les domaines d'existence des grenats couvrent toutes les valeurs de pression, dès que la température dépasse les 400°C. En particulier, il est possible de récolter des grenats à Flamanville (50), dans des cornéennes, faciès de faible pression.

Par conséquent, il n'y a pas de contradictions physiques à ce que des dépôts gazeux puissent produire des grenats.

Et en effet, bien qu'exceptionnels, des fumerolles peuvent être le vecteur des éléments chimiques constituants des grenats qui peuvent venir cristalliser près de la surface, lorsque la température chute.

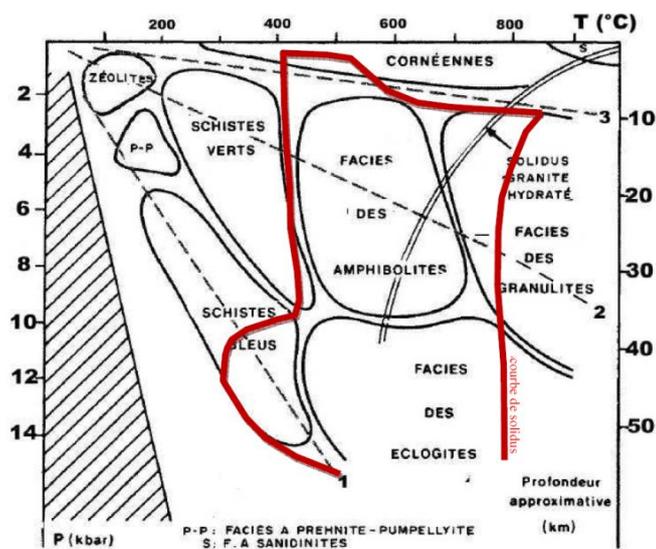


Figure 3 : Fumerolles : Domaine d'existence des grenats dans les faciès métamorphiques

## 1.2 Rappels

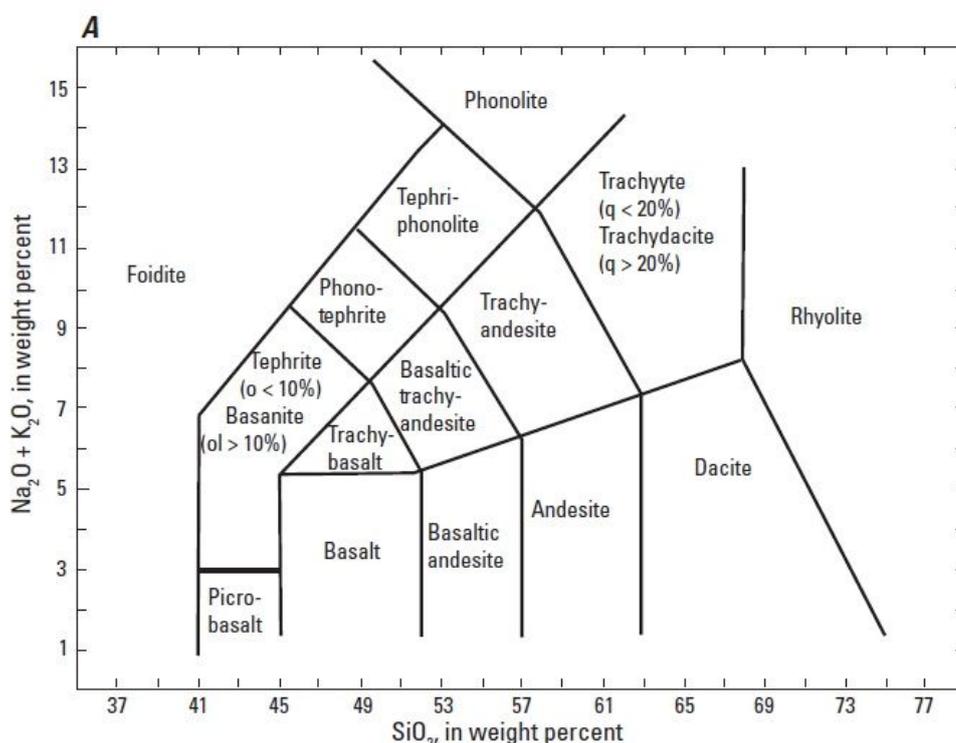


Figure 4 : Fumerolles : Tableau de classification TAS (Total alkali vs. silica) des roches ignées proposé par Le Maitre 2002

### 1.2.1. Trachyte [wikipedia]

Un trachyte est une roche volcanique effusive riche en feldspaths alcalins et à teneur en silice assez élevée. Les trachytes appartiennent de ce fait au groupe des roches felsiques.

Les trachytes sont des laves très visqueuses formant surtout des dômes et des protrusions

Sur le plan de la composition chimique, comme l'indique leur position dans le diagramme de classification TAS, les trachytes présentent une teneur pondérale en silice au moins supérieure à 58 % mais toujours inférieure à 69 %. La teneur en minéraux alcalins est supérieure à 7 %.

Leur structure est principalement microlithique mais la présence de phénocristaux est habituelle.

Sur le plan minéralogique, les feldspaths alcalins sont le plus souvent représentés dans les trachytes par de la sanidine mais il peut s'agir aussi d'albite ou d'anorthite (feldspaths plagioclases). La silice peut parfois s'exprimer sous forme de quartz mais à un taux toujours inférieur à 10 %. Des cristaux de feldspaths plagioclases, de la biotite, des amphiboles sont occasionnellement présents. La roche magmatique plutonique équivalente est la syénite.

### 1.2.2. Phonolite [wikipedia]

Une phonolite est une roche ignée extrusive, roche volcanique, rare, de composition chimique intermédiaire entre felsiques et mafiques, avec une texture allant d'aphanitique (grain fin) à porphyritique (mixte et gros-grain fin).

Le nom phonolite vient du grec ancien signifiant « Pierre de consonance » en raison du son métallique qu'elle produit lorsqu'on frappe une plaque non fissurée; d'où son nom anglais « clinkstone ».

### 1.3 Grenats de Menet (Cantal)

#### 1.3.1. Site de Menet



**Figure 5 : Menet, Cantal : Puy de Menoyre et lac de Menet  
On peut apercevoir au centre du dôme, la carrière de Liocamp**

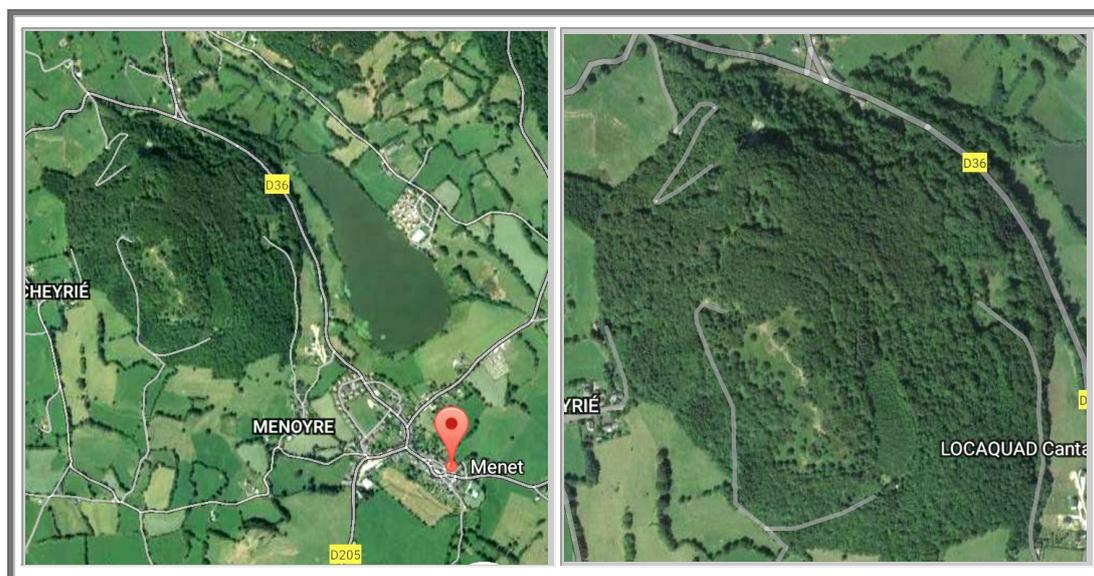
La région de Menet est parcourue par les chercheurs de pierres précieuses, à la recherche du bleu des saphirs maintes fois répertoriés dans la littérature. Les micromonteurs peuvent également trouver de nombreux minéraux divers. Sur Mindat, sont présentés notamment les zircons de Vensac, Brocq-en-Menet, ainsi que les titanites du Puy d'Augoules.

Mais la zone la plus intéressante pour les grenats est le Puy de Menoyre. Il s'agit d'un dôme de trachyte de 800 m de diamètre, s'élevant à 911 m d'altitude. Le trachyte est l'hôte d'un grand nombre d'enclaves magmatiques, dont la composition varie de des diorites (feldspath plagioclase, hornblende et mica) au syénites (feldspath alcalin, biotite et hornblende), ainsi que des blocs de gneiss anatectique sous-jacents.

Mindat indique la présence de nombreux minéraux dont : Aegirine-augite ?, Albite, Oligoclase, Almandin, Andradite, Anorthite?, 'Anorthoclase', 'Apatite', Augite, 'Biotite', Saphir, Diopside, Enstatite, Hematite, Kaersutite, Magnetite, Opale, Sanidine, Sillimanite, Spessartine, Spinel, Titanite, Tridymite, Zircon.

Une série de carrières abandonnées sont toujours accessibles sur le flanc nord et ouest du dôme. Toutefois, il est nécessaire de faire très attention aux éboulis récents.

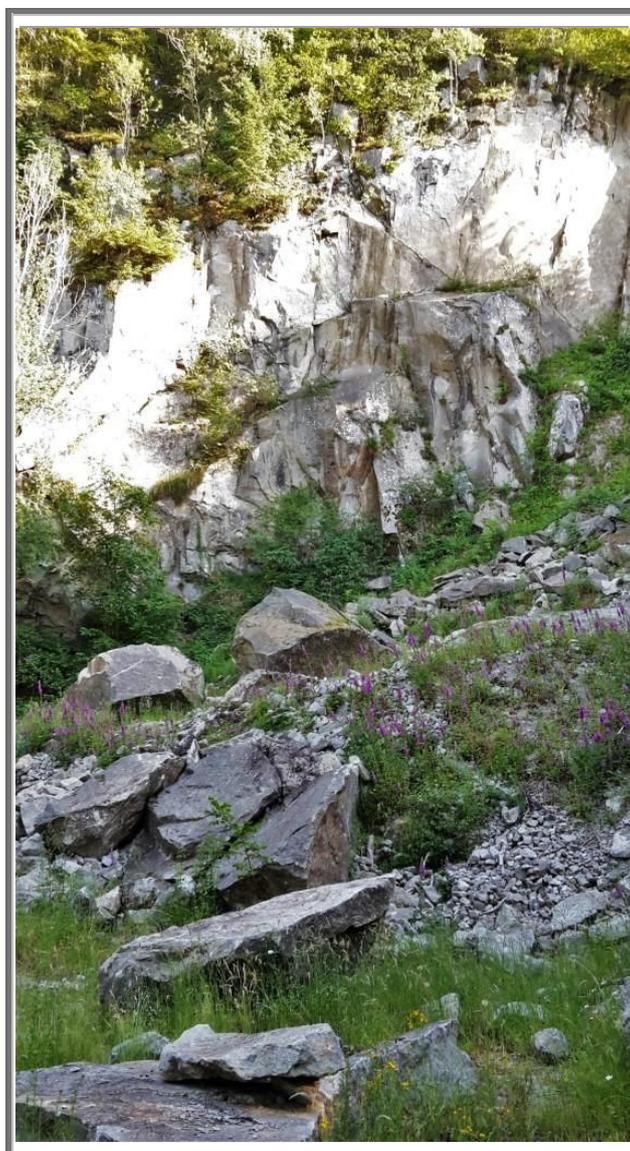
Les grenats ont été trouvés par CANTALOU (merci à lui) dans les blocs anciens de la carrière.



**Figure 6 : Menet, Cantal : Puy de Menoyre et lac de Menet,**



**Figure 7 : Menet, Cantal : carte géologique**  
**Figure 8 : Menet, Cantal : vue sur la carrière du cheyrier, avril 2017**



**Figure 9 : Menet, Cantal : vue sur la carrière du Liocamp (juin 2017)**  
**Au premier plan les gros blocs dont ont été extraits les pièces présentées dans cet exposé**

### 1.3.2. Grenats en deux dimensions

Les grenats cristallisent dans le système cristallin cubique  $4/m\bar{3}2/m$ . Leurs formes de base sont donc, soit le rhombododécaèdre  $\{110\}$  dit « grenatoèdre », soit le tétragonotrioctaèdre  $\{211\}$ . Les andradites du Menet (15) cristallisent en rhombododécaèdres.

Toutefois, les grenats des fumerolles peuvent cristalliser, non pas seulement à l'intérieur de fissures qui leur fournissent un espace suffisant pour leur permettre une croissance normale, mais également sur des surfaces de rochers qui leur servent de stratum. Ces grenats « hydrothermaux » de Menet n'ont pu se développer que dans 2 dimensions (celles de la fracture) et ont donc la forme de plaquettes hexagonales (la plus grande section d'un rhombododécaèdre est un hexagone).



Figure 10 : Menet, Cantal : Grenats Andradite de fumerolles  
Pièce 120 x100 mm

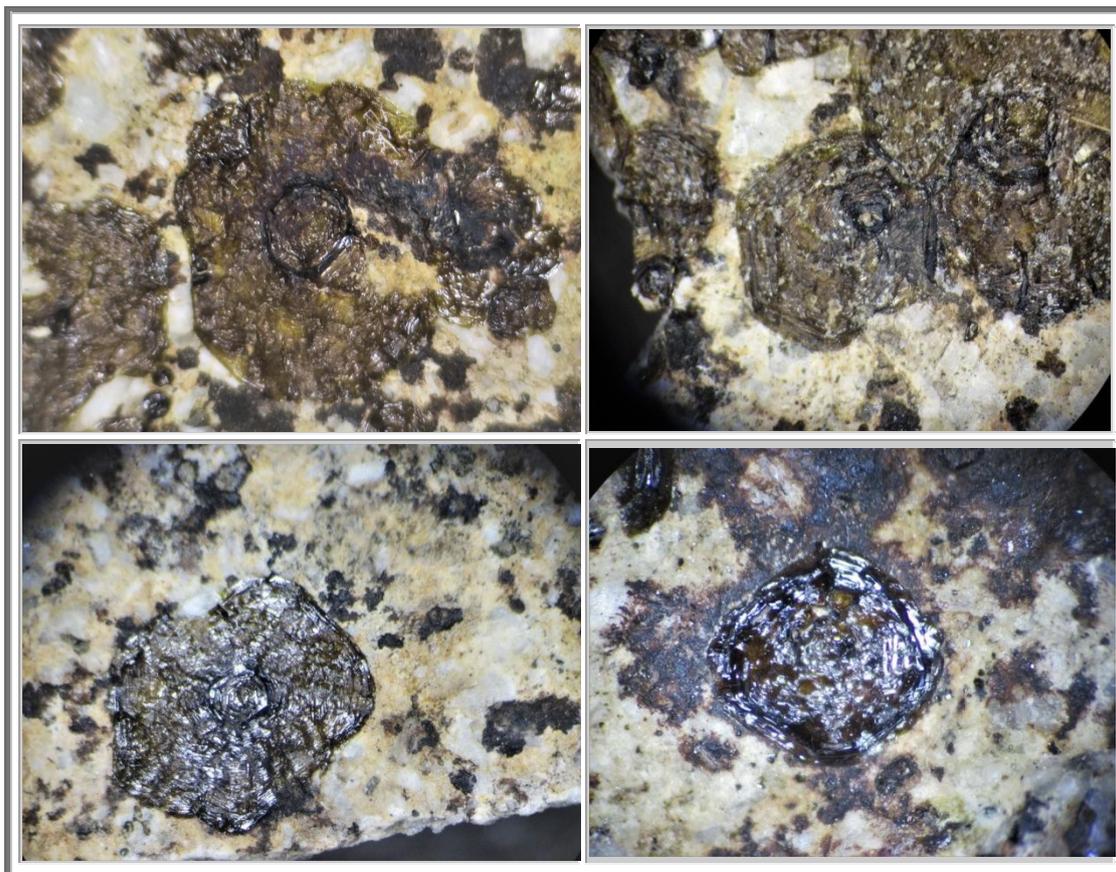


Figure 11 : Menet, Cantal : Structure hexagonale des projections selon l'axe c des cristaux d'andradite



**Figure 12 : Menet, Cantal : Grenats de fumerolles**  
La photographie montre que les grenats (marron sombre) ne sont présents que dans les fissures présentes dans le trachyte

### 1.3.3. Pétrologie

#### a. Théorie de Pierre Thomas

Aux débuts des années 2000, Pierre Thomas de l'ENS Lyon - Laboratoire des Sciences de la Terre, a proposé que la formation des grenats fumeroliens du dôme trachytique du Menoyre, sur la commune du Menet, dans le Cantal, s'est développée le long de fissures parcourant le dôme. De la vapeur d'eau surchauffée, chargée de CO<sub>2</sub> et autres gaz, auraient pu se charger en éléments chimiques tels que SiO<sub>4</sub><sup>4-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>.

A l'approche de la surface, la baisse de la température a provoqué la sursaturation de ces gaz, et par conséquent, le dépôt de ces éléments qui se sont assemblés pour former des grenats.

Dans une note de 2003 à l'ENS, Pierre Thomas a précisé que ces grenats étaient manganésifères (spessartine Mn<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>(SiO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>, knorringite Mn<sub>3</sub>Cr<sub>2</sub>(SiO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>). S'il a à l'origine, exagéré la concentration en manganèse de ces grenats, il n'en est pas moins vrai qu'il renferme une faible quantité de manganèse, ainsi que du titane, d'après l'analyse suivante.

La couleur de certaines andradites portant singulièrement sur le vert, tendrait également à révéler une faible quantité de chrome (quelques dixièmes de pourcents atomiques).

| Elément | % atomique |
|---------|------------|
| Ca      | 38.84      |
| Fe      | 27.91      |
| Ti      | 1.72       |
| Mn      | 1.33       |
| Si      | 30.20      |

**Tableau 1 : Menet, Cantal : composition obtenue par l'AJW d'une andradite du puy de Menoire**

#### b. Théorie de Jacques Varet

Cependant, trente ans auparavant, Jacques VARET du laboratoire de Pétrographie à l'université d'Orsay, a étudié les andradites des fumerolles sur ce site du Menoyre ainsi qu' Fant'Ale en Ethiopie. Pour J. VARET, s'il est indéniable que les grenats ont bien une origine fumerolien, puisqu'on ne les trouve que dans les fissures et non dans la masse du trachyte, l'observation des cavités montre néanmoins, qu'il ne s'agit pas seulement d'un dépôt surfacique. En effet, une auréole plus claire englobe les cavités dans lesquelles on trouve des andradites et de l'hématite. Il y a donc eu réaction entre les fumerolles et les éléments présents en surface du trachyte.

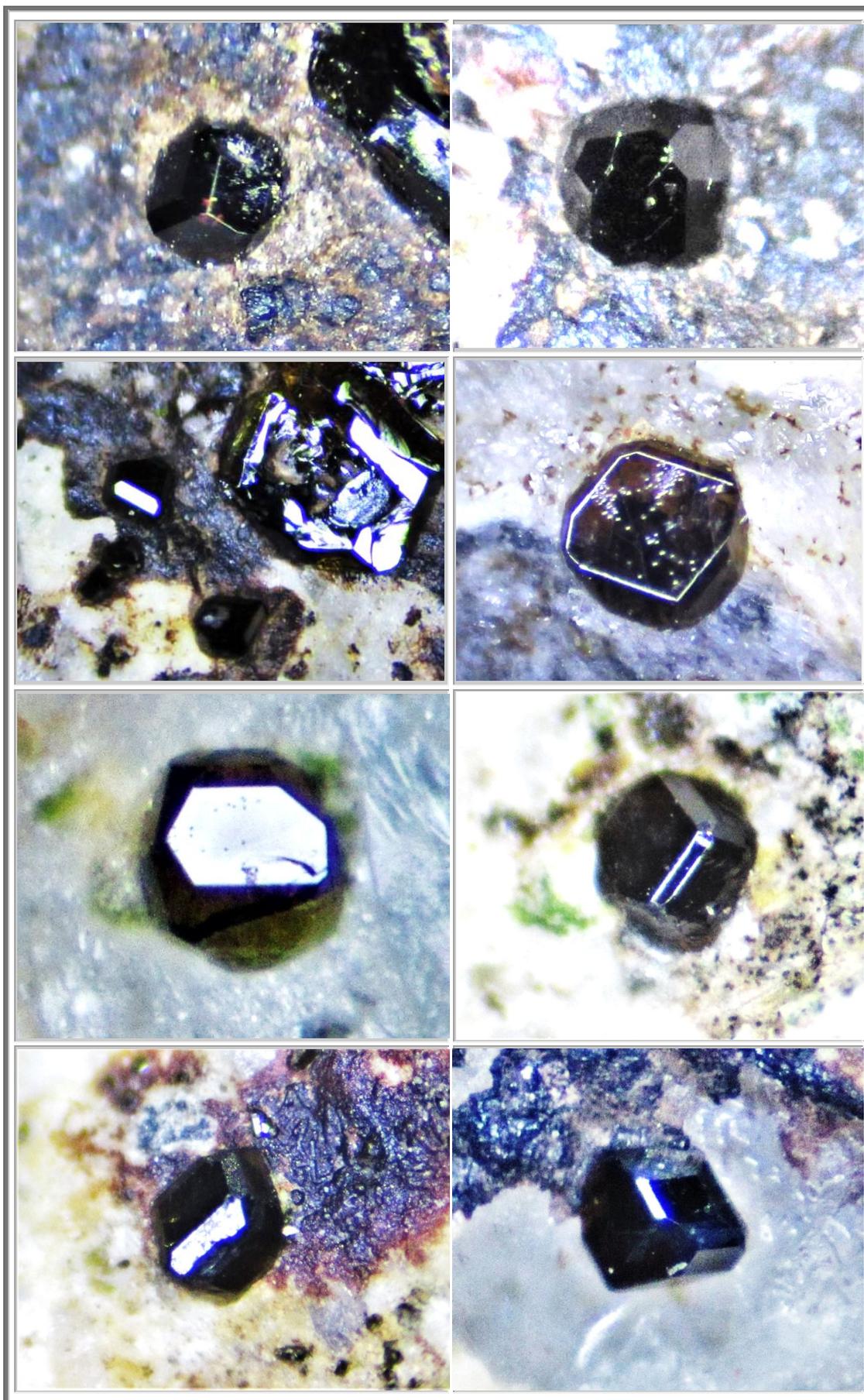


Figure 13 : Menet, Cantal : Cristaux d'andradite 3D (dimensions 0,1 – 0,5 mm)



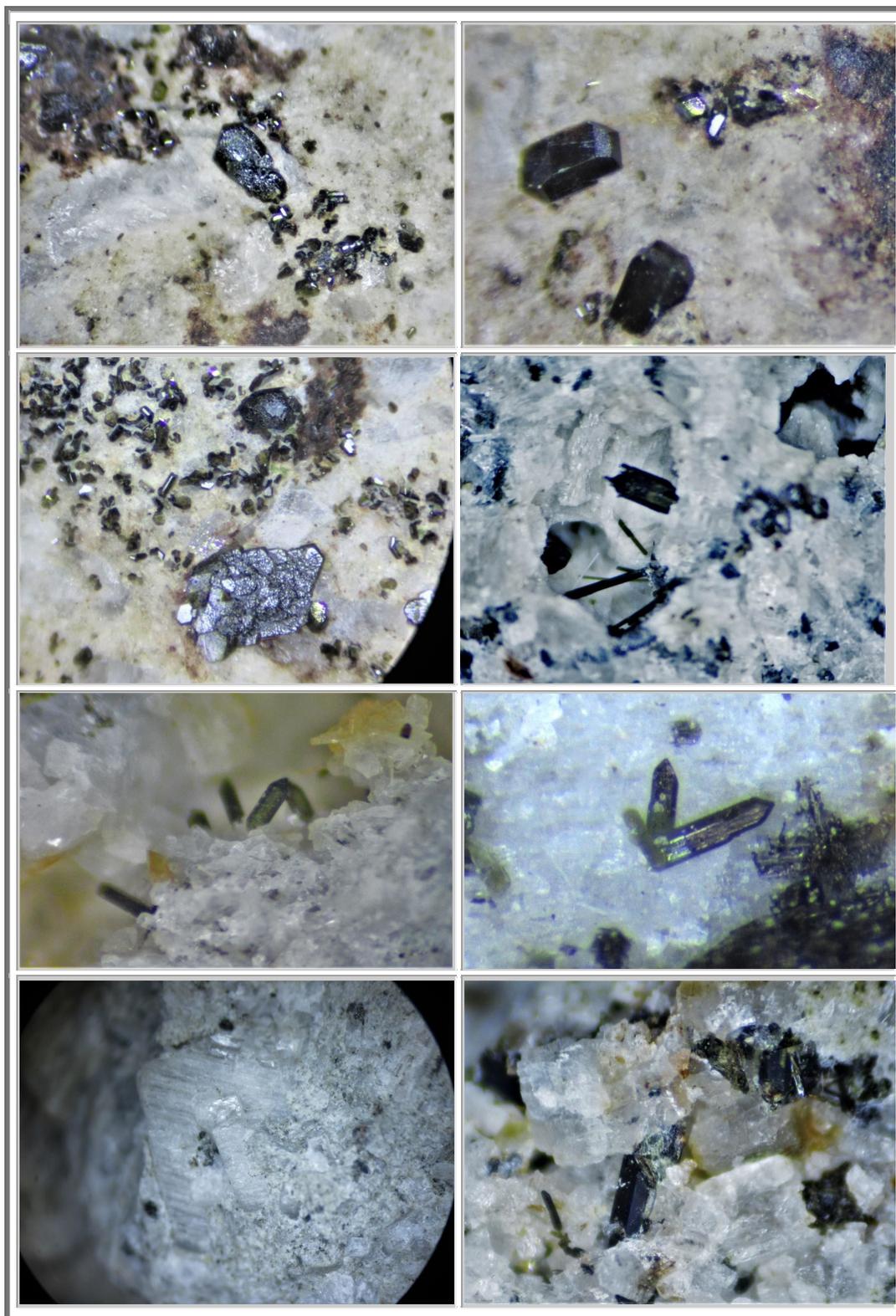


Figure 14 : Menet, Cantal : Pyroxènes et cristobalite, sanidine  
Les pyroxènes des photos 1 à 3 ont été prises à côté des andradites, les photos 4 à 8 ont été prises dans des vacuoles du tachyte

## 1.4 Grenats de l'île Ua Pou aux Marquises

### 1.4.1. Site de Ua Pou

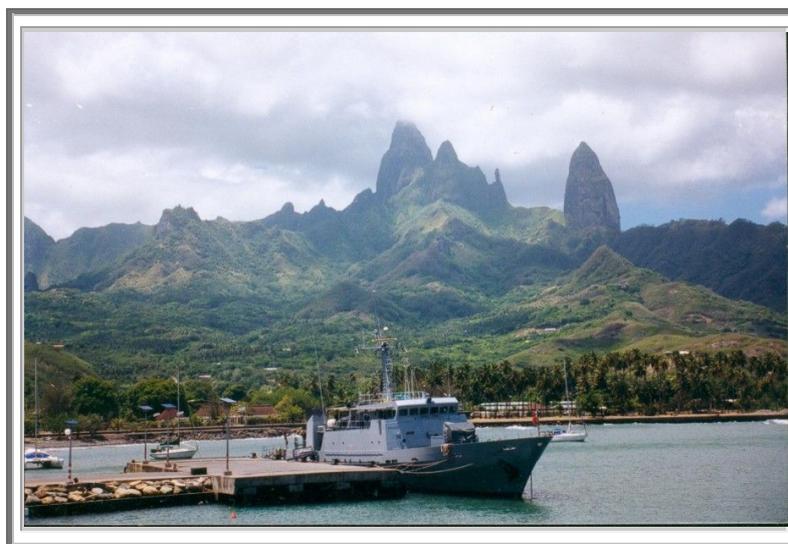


Figure 15 : Ua Pou : Port de l'île de Ua Pou avec vue sur les sucs

Vue sur les principales protusions phonolitiques au nord de Ua POU

Avec de gauche à droite : les aiguilles de Oave (1203 m), Matahuena (1028m), en arrière plan Poumaka (979 m), et Poutetainui (966m)

### 1.4.2. L'archipel des Marquises et l'île de Ua Pou [3-4]

L'archipel des Marquises repose sur une croûte océanique formée à l'axe de la dorsale Pacifique-Farallon entre 53 et 49 Ma et fortement épaissie sous la partie centrale de l'archipel où le Moho atteint des profondeurs de 15 à 20 km.

L'île de Ua Pou est connue de longue date pour l'abondance exceptionnelle de ses phonolites. Sa première cartographie systématique permet une estimation du volume de sa partie émergée (27,5 km<sup>3</sup>) incluant 18 km<sup>3</sup> de phonolites (65 %) mises en place en deux étapes distinctes, 2 km<sup>3</sup> d'autres laves intermédiaires et évoluées (8 %) et 7,5 km<sup>3</sup> de laves mafiques (27 %).

L'activité aérienne de Ua Pou débute vers 4 Ma par la mise en place de tholéiites à olivine dérivant d'une source mantellique de signature HIMU jeune. Elle reprend vers 2,9 Ma avec la fusion partielle d'une source hétérogène à signature dominante EM II + HIMU jeune qui produit des liquides basanitiques primaires. Ces liquides se mettent en place à la fois en profondeur et en surface et évoluent par cristallisation fractionnée pour former les téphrites. En même temps, la refusion en profondeur de ce matériel basanitique produit des magmas téphriphonolitiques en laissant un résidu riche en amphibole. Ces magmas évoluent alors par cristallisation fractionnée pour former des liquides phonolitiques, lesquels peuvent subir une contamination par l'eau de mer. Alors que la production de ces deux types de phonolites continue de façon relativement synchrone avec la mise en place des basanites, de nouveaux processus fonctionnant en système ouvert apparaissent entre environ 2,6 et 2,4 Ma. Ils permettent la formation de téphriphonolites et de phonolites ayant assimilé du matériel de type plagiogranitique à signature HIMU et la genèse de phonolites extrêmement différenciées ayant incorporé du matériel de la croûte océanique à signature DMM. Ainsi, l'île de Ua Pou peut être considérée comme un exemple typique de série intraocéanique dans laquelle la prédominance des laves évoluées reflète leur origine par fusion partielle de précurseurs mafiques suivie de la contamination crustale plutôt que par cristallisation fractionnée et met en évidence l'existence de fortes interactions entre le panache marquisien et la lithosphère océanique Pacifique.

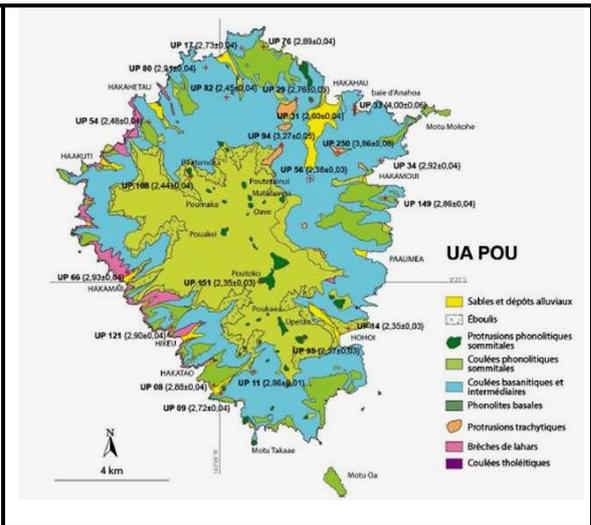
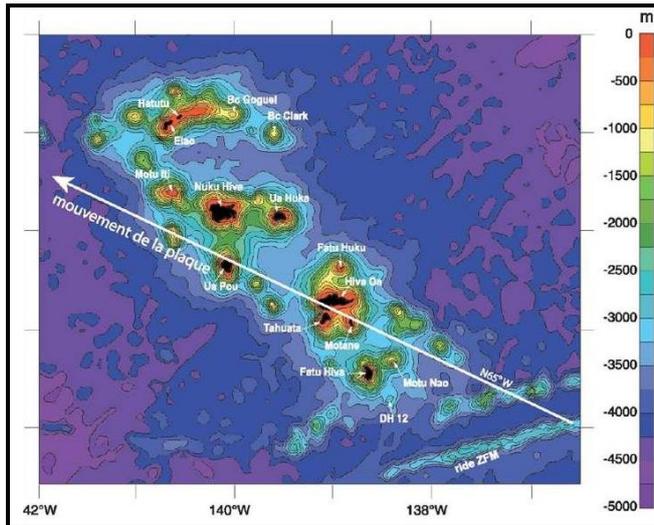


Figure 16 : Ua Pou : Carte bathymétrique des Marquises, établie d'après les données altimétriques de Smith et Sandwell (1997). L'orientation globale de l'archipel est N40°W. La ligne N65°W, qui correspond à la migration de la plaque Pacifique à la vitesse de 10,5 cm/an, sépare les deux groupes isotopiques d'îles identifiées (groupe de Ua Huka au NE, groupe de Fatu Hiva au SE). ZFM : Zone de Fracture des Marquises.

Figure 17 : Ua Pou : Carte géologique simplifiée de Ua Pou, d'après Guille et al.

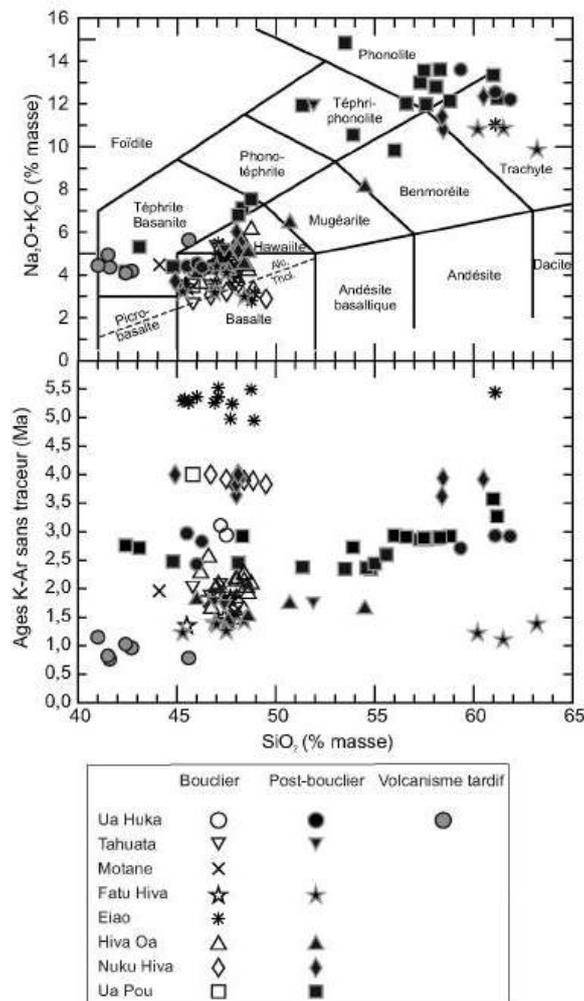


Figure 18 : Ua Pou : Diagrammes  $(Na_2O + K_2O)/SiO_2$  (TAS) d'après Le Bas et al. (1986) et âges- $SiO_2$  pour les laves datées des îles marquisiennes.

## 1.5 Présentation des phonolites à grenats

De tout l'archipel marquisien, l'île de Ua Pou est le seul endroit où l'on trouve une pierre considérée comme « magique » par les habitants eux-mêmes dont certains sont devenus maître dans sa taille. Différente d'une pierre normale, elle a la particularité de faire ressortir de minuscules « pétales » d'où son nom de « pierre fleurie ».

Les habitants de l'île d'Ua Pou la connaissent depuis des siècles, depuis-même le premier peuplement de ces îles lointaines. Le site Tahiti Héritage nous en dit un peu plus : « Le véritable nom de cette roche volcanique est Phonolite à grenats (les fleurs sont des grenats dégradés). On n'en trouve que dans deux endroits au monde : au Brésil et dans l'île de Ua Pou aux Marquises, et plus précisément dans deux vallées de cette île, la vallée de Hohoi et celle de Hakatao. » Selon les estimations, elle daterait de 2,9 millions d'années.

Il existe trois sortes de pierres fleuries. La première est composée de fleurs noires, la seconde ressemble à du silex dans lequel des formations jaunes auraient bourgeonné, puis la dernière étant la pierre fleurie rouge. Cette dernière est très difficile à trouver. Les rares chanceux la trouvent parfois sous forme de petits galets. Elle est très difficile à travailler car sa couleur est due à un composant minéral volcanique qui produit beaucoup de poussière (comme de la cendre) ; elle est très cassante mais donne un résultat très étonnant lorsqu'elle est polie.

Leur travail nécessite beaucoup de patience comme le précise Nodarref sur géoforum : « Effectivement, elle est dure à travailler mais avec de la patience, ce n'est pas si difficile. Je dégrossis d'abord ma pierre avec la meule sur la photo en lui donnant la forme désirée en prenant soin de la refroidir régulièrement dans l'eau. Ensuite, avec une pièce à main, j'émerise ma pierre avec du papier émeri du plus gros au plus fin : 120-180-220-240-360-400-500-600-800 et 1000 ensuite polissage à la poudre ponce 3/0 et ensuite je termine le polissage avec une pâte à polir bleue de bijoutier. ».



Figure 19 : Ua Pou : Phonolite à grenat fleurs jaunes gros plan sur les structures en pétales



Figure 20 : Ua Pou : sciages de phonolites verte et jaune, Nodarref



Figure 21 : Ua Pou : Phonolite à grenat fleurs jaunes gros plan sur les structures en pétales

## 1.6 Autres sites

Ces grenats si particuliers, sont extrêmement rares. Depuis Menet, J. VARET a également trouvé des grenats fumeroliens à Fantale en Éthiopie et publié la dessus "new discovery of fumarolitic garnets". De même, il existe un autre site de phonolite à grenats au Brésil.

## Références

- [1] Origin of Exceptionally Abundant Phonolites on Ua Pou Island (Marquesas, French Polynesia): Partial Melting of Basanites Followed by Crustal Contamination.  
C. Legendre, R.C. Maury, M. Caroff, H. Guillou, J. Cotton, C. Chauvel, C. Bollinger, C. Hemond, G. Guille, S. Blais, P. Rossi, D. Savanier, J Petrology (2005) 46 (9): 1925-1962
- [2] <https://www.mindat.org/loc-270893.html>
- [3] Géologie des Marquises : des volcans boucliers intra-océaniques effondrés issus d'un point chaud atypique  
Geology of Marquesas Islands: collapsed intra-oceanic shield volcanoes generated by an atypical hotspot  
René C. Maury (1), Gérard Guille (2), Hervé Guillou (3), Catherine Chauvel (4), Christelle Legendre (1), Philippe Rossi (5), Sylvain Blais (6), Carlos Pallares (7), Sébastien Deroussi (8), Anne-Marie Marabal (9)  
Geologie de la France, n° 1, 2014, p. 111-135, 13 fig., 2 tabl., 8 ph.
- [4] [http://www.tahiti-infos.com/Te-kea-pua-La-pierre-qui-fleurit-le-coeur-des-Marquisiens\\_a104540.html](http://www.tahiti-infos.com/Te-kea-pua-La-pierre-qui-fleurit-le-coeur-des-Marquisiens_a104540.html)
- [5] Pétrogenèse de laves différenciées en contexte intraplaque océanique et hétérogénéité géochimique au niveau du point chaud des Marquises (Polynésie Française) : étude des îles de Ua Pou et de Nuku Hiva  
Christelle Legendre
- [6] The origin of fumarolitic andradite at Menoyre, France and fant'Ale , Ethiopia  
J. Varet, Contr. Mineral. and Petrol. 27,321-332 (1970)
- [7] Les grenats de Menet – Cantal, Jean-Luc Designolle (AFM)  
Microminéralogie Association française de microminéralogie