

# 1. GRENATS DU MASSIF DE QUERIGUT

## 1.1 Introduction

Naoto TAKENO a écrit que nombreuses occurrences de skarns sont connues autour du complexe granitique hercynien de Quérigut (Pyrénées Orientales). A la suite de l'étude d'ensemble effectuée par Toulhoat (1982), Cyril Durand, dans sa thèse s'est arrêté sur trois secteurs, ceux de Boutadiol (skarn à magnétite), de la lisse d'Embarre (skarn à scheelite), et de Soucarat (skarn rubané, près de la lisse d'Embarre).

Ainsi, dans le skarn rubané de Soucarat, il a montré que l'idocrase est primaire et le grenat secondaire. Cette interprétation pétrographique est confirmée par la géochimie, et expliquée par des considérations thermodynamiques : en condition de sous-saturation en quartz, l'idocrase est stable sur un large domaine, y compris à haute température. Le potentiel chimique de SiO<sub>2</sub> calculé dans le calcaire et dans le skarn rubané est assez bas pour expliquer l'apparition de l'idocrase dans ces roches.

A Boutadiol, deux types de skarns alumineux, appelés intérieurs, à protolithe calcaire, et extérieurs à protolithe granitique, ont été distingués. Les différences significatives observées entre grenat associé à amphibole et grenat banal sont attribuées à des différences de niveau de potentiel chimique de CaO. Il a montré comment le coefficient de partage de Fe<sup>3+</sup> entre grenat et épidote est fonction de la teneur en almandin du grenat, et a proposé une estimation des conditions de formation des skarns alumineux: 470°C sous 0,22 GPa.

Cyril Durand a présenté des skarns rubanés (cf. photo). Ces derniers se caractérisent par une zonation marquée avec alternance de niveaux à calcite + diopside, grenat + vésuvianite + calcite + diopside et épidote + feldspath potassique + quartz.

Ces différentes paragenèses impliquent des températures élevées de l'ordre de 400 à 600°C et des fluides riches en H<sub>2</sub>O pour faire apparaître des paragenèses à wollastonite et vésuvianite (XCO<sub>2</sub> < 0,1).

## 1.2 Géologie

Le pluton granitique de Quérigut d'une surface de 250 km<sup>2</sup> affleure dans la Zone axiale, à la limite des Pyrénées ariégeoises, audoises et orientales (Laffont, 1971 ; Pons, 1971 ; Leterrier, 1972 ; Marre, 1973 ; Aparicio, 1975 ; Fourcade et Allègre, 1981 ; Ben Othman et al., 1984 ; Fourcade et Javoy, 1991 ; Roberts et al., 2000). L'intrusion de ce pluton, de forme elliptique allongée en E-W, dans un complexe métasédimentaire d'âge cambro-ordovicien à carbonifère, est maintenant bien datée à 307 ± 2 Ma (Westphalien) (Roberts et al., 2000). Il est donc synchrone de la phase majeure hercynienne D2 (Zwart, 1979, 1986).

Ce complexe est principalement constitué de granitoïdes calco-alcalins, à légère affinité sub-alcaline, typiques du magmatisme hercynien prédominant dans la Zone Axiale (Debon et al., 1995). Ces granitoïdes présentent une zonation concentrique normale sensiblement dissymétrique, où l'on distingue trois unités majeures :

- au cœur du pluton, un monzogranite leucocrate légèrement peralumineux à biotite ± muscovite (35 km<sup>2</sup>);
- une couronne de monzogranite à biotite nettement métalumineux (89 km<sup>2</sup>), de moins en moins porphyroïde en s'éloignant du cœur
- une bordure sud et ouest de granodiorites et tonalites foliées à biotite ± hornblende.

Ce pluton est en outre caractérisé par la présence de nombreux corps dioritiques de tailles variables (de l'enclave microgranulaire jusqu'au stock kilométrique), principalement localisés dans la moitié sud du pluton. Enfin, de nombreux septa métasédimentaires, alignés parallèlement à la foliation des unités magmatiques, affleurent principalement le long de la bordure granodioritique sud. Les études structurales réalisées dans le pluton à partir d'observations de terrain (Marre, 1973) et de mesures de pétrofabriques au microscope (Pons, 1971), montrent que les structures planaires fluidales (liées à l'écoulement du magma) sont globalement concentriques, respectant la forme du pluton et des contacts pétrographiques. Ces structures sont allongées selon une direction moyenne N100°E, parallèle à la direction de la schistosité hercynienne majeure S2 de l'encaissant métasédimentaire.

Le pluton développe un métamorphisme de contact (Cavet, 1957, 1960), superposé au métamorphisme régional HT-BP, dont l'intensité augmente vers le dôme gneissique de l'Aston-Hospitalet (Zwart, 1979 ; Wickham et Oxburgh, 1986), allant de l'anchizone près des contacts nord jusqu'au faciès schiste-vert, voire amphibolite, au sud-ouest du pluton. De nombreuses études ont décrit l'encaissant (Cavet, 1960 ; Aparicio, 1975 ; Raymond, 1986 ; Raymond et Marre, 1988 ; Bon et al., 1994). A partir de la base, il s'agit :

- des séries grésopélitiques ordoviciennes (séries d'Evol et de Jujols) ;
- des schistes noirs siluriens ;
- de puissants calcaires dévoniens et (iv) d'un flysch carbonifère au sommet. Tous ces terrains ont été déformés lors des phases hercyniennes puis alpines.

Les schistes siluriens auraient servi de surface de décollement à un chevauchement hercynien précoce (D1) à vergence sud (Raymond, 1986), superposant deux séries carbonatées dévoniennes hétéropiques au nord du pluton. Les granitoïdes se seraient précocement injectés au niveau de cet accident, maintenant fossilisé par la ceinture de septa dans la granodiorite (Raymond et Marre, 1988). Ces terrains sont structurés par l'événement majeur D2, créant la schistosité régionale S2, orientée N080°E à N110°E, plan axial d'un plissement isoclinal P2 à axes sub-horizontaux, qui se moule localement autour du pluton. Les septa associés au granite sont affectés par D2 (Marre, 1982). Les plis P2 sont affectés par un plissement P3 de plan axial N060°E, à axes redressés, qui s'inscriraient lors d'un continuum de déformation au cours de D2 (Aparicio, 1975 ; Raymond, 1986). D'autres auteurs attribuent D3 à un régime transcurrent senestre tardi-hercynien (Soula, 1982 ; Messaoudi et al., 1993). Toutefois, le décrochement senestre du col des Fillols au nord du pluton serait alpin, puisqu'il implique des dépôts permo-triasiques (Raymond, 1986). Enfin, la faille hercyno-alpine de Mérens jouxte la bordure sud-ouest granodioritique du pluton, tectoniquement foliée dans cette zone (Leterrier, 1972). Certains voient dans cette mylonitisation les racines des grandes zones de déformation alpines, d'autres y voient un épisode principalement hercynien, faiblement repris à l'Alpin (Soliva et al., 1991).

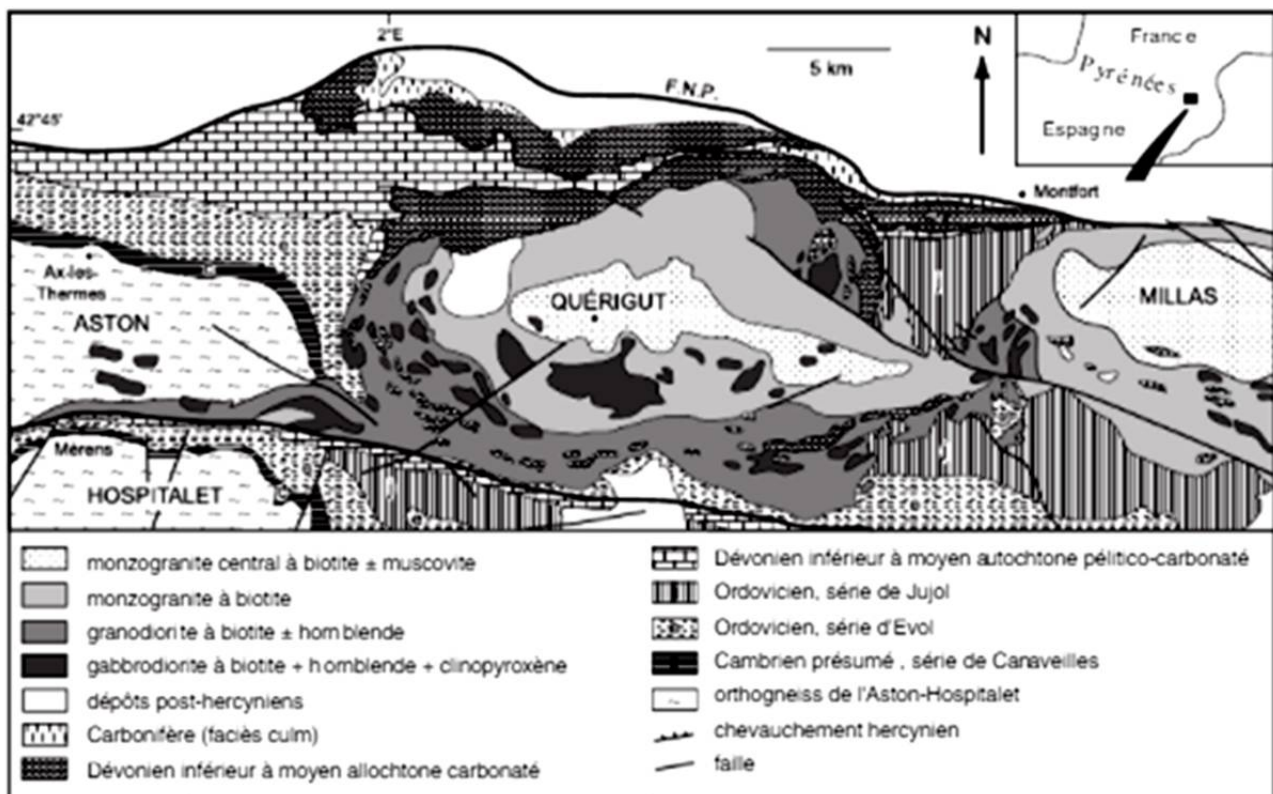


Figure 1 : Quérigut : Carte géologique, d'après Debon et al (1995)

## SKARNS RUBANES Soucarat

	Toulhoat (1982)	Takeno (1994)
zone 1 calcaire	Cal ± Di ± Mc ± Grt ± Wo ± Ves	Cal ± Grt ± Cpx
zone 2 Grt + Cpx	Grt + Cpx ± Ves (1) Grt + Wo + Cpx + Ves ; (2) Cal + Qtz + Prh	Grt + Cpx ± Ves ± Qtz ± Cal (1) Ves + Wo ; (2) Grt + Cpx + Wo ; (3) Prh + Cal + Qtz
zone 3 Czo + Cpx	Czo + Cpx	Czo + Cpx ± Sph ± An ± Prh ± Cal ± Qtz (1) Ves + An + Cpx ; (2) Czo + Cpx ; (3) Prh + Cal + Qtz
zone 4 pélite	Mc + Czo ± Ms ± Cm ± Sph	Bt + Ms + Kfs ± Ilm ± Czo ± Cm
zone 5 pélite	Mc ± Bt ± Ms ± oxydes ± Cm	
compo Grt	Adr <sub>8-12</sub>	
compo Cpx	Hd <sub>30</sub>	Hd <sub>30-60</sub>
P (Gpa)	0,1 - 0,2	0,2
T (°C)	520 - 650	500-700
X CO <sub>2</sub>	< 0,15	

## SKARNS MINERALISES Boutadiol

	Toulhoat (1982)	Takeno (1994)
zone 1 Cpx	Cpx + Po ± Grt (1) Cpx ; (2) Po + Grt	Cpx + Grt + Po ± Ep ± Amp (1) Cpx ; (2) Grt + Po + Amp ; (3) Ep
zone 2 Mgt	Mgt + Grt ± Cpx ± Ap ± Chl (1) Cpx ; (2) Mgt + Grt ; (3) Chl	Mgt + Grt ± Cpx ± Chl
zone 3 skarn alumineux	Cpx + Ep + Grt + Amp + Cal + Qtz ± Sph (1) Cpx + Pl ; (2) Ep ; (3) Grt + Amp ; (4) Ep	Grt + Ep + Cpx ± Amp (1) Ves + An + Cpx ; (2) Czo + Cpx ; (3) Prh + Cal + Qtz
compo Grt	grossulaire à andradite	Grs <sub>28-75</sub> Adr <sub>8-75</sub> Prp <sub>10-46</sub>
compo Cpx	hedenbergite	Hd <sub>100-50</sub> Di <sub>0-50</sub>
compo Amp	ferropargasite	ferropargasite
P (Gpa)		0,22 ± 0,04
T (°C)		470 ± 40

## SKARNS : GRENATITES ET GRENATO-PYROXENITE

	Toulhoat (1982)	Takeno (1994)	Aubry (1999)	Monnot (1999)
assemblage minéralogique	Grt + Cpx	Grt + Cpx + Qtz + Czo	Grt + Cpx + Qtz + Cal + Ep + Wo	Grt + Ves + Cpx + Pl + Ep + Zo + Cal + Qtz
compo Grt	Grs <sub>34-37</sub> Adr <sub>10-12</sub> Alm <sub>9-7</sub>	Grs		
compo Cpx	salite	Hd <sub>40-60</sub> Di <sub>60-60</sub>	Di	Di
P (Gpa)	0,1 - 0,2		0,1 - 0,2	< 0,24
T (°C)	750		470 - 560	415 - 510
X CO <sub>2</sub>			0 - 0,1	

Table 1 : Quérigut : Résumé des assemblages minéralogiques dans les différents skarns présents sur le massif de Quérigut, d'après Toulhoat (1982), Takeno (1994), Aubry (1999) et Monnot (1999)

L'ordre d'apparition des phases minéralogiques est indiqué : (1) phases primaires, (2) phases secondaires, (n) phases énièmes

Sont également indiquées la composition chimique de certaines phases minéralogiques ainsi que les conditions de pression et température de formation des skarns et la composition de la phase fluide.

La carrière de Soucarat présente des skarns rubanés, épais de plusieurs dizaines de mètres, qui représentent le contact entre l'encaissant sédimentaire et la granodiorite intrusive. Ces skarns rubanés apparaissent sous forme d'alternances centimétriques à décimétriques de niveaux minéralogiquement distincts. Ils ont fait l'objet d'études détaillées suite aux travaux de Toulhoat (1982) et Takeno (1994). Ces auteurs ont expliqué l'existence de ces skarns rubanés comme une alternance sédimentaire originelle avec des passages carbonatés et pélitiques dans lesquels se sont développés des skarns.

Les différents niveaux présents dans les skarns rubanés sont les suivants :

- Des niveaux riches en calcite. Ces niveaux sont toujours en contact avec des zones riches en grenat. Ils sont constitués en grande majorité de grains de calcite, de clinopyroxène avec de rares grains de quartz, de plagioclase et/ou de feldspath potassique. Des plages ou des grains de grenat d'ordre millimétrique peuvent apparaître au sein de cette zone.
- Des niveaux riches en grenat. Ces niveaux sont en contact avec les zones riches en calcite et les zones riches en clinozoïsite. Ces zones sont constituées d'un fond grenatifère à l'intérieur duquel apparaissent de la vésuvianite automorphe, du clinopyroxène, de la calcite, du quartz, du plagioclase et/ou du feldspath potassique. Quelques plages de quartz peuvent apparaître à l'intérieur du niveau à grenat. Le développement de clinozoïsite est limité. Ces plages à grenat apparaissent souvent très fracturées avec un remplissage des fractures par de la calcite.
- Des niveaux riches en clinozoïsite



**Figure 2 : PO66 : Quérigut : Echantillons de grenats**

**Grossulaire**  
Rieutord, Quérigut  
8,0 cm x 6,0 cm  
Collection : perso, n°965



**Grossulaire**  
Rieutord, Quérigut  
6,0 cm x 5,0 cm  
Collection : perso, n°966



**Grossulaire**  
Région de Rieutort près de Puyvalador  
Collection : kloklo81, Geoforum





**Grossulaire**  
**Massif de Quérigut**  
**Collection : klo klo81, Geoforum**



**Grossulaire**  
**Massif de Quérigut**  
**Collection : klo klo81, Geoforum**



**Grossulaire (zoom)**  
**Massif de Quérigut**  
**Collection : klo klo81, Geoforum**

### 1.3 Grenats du col de Pailhères

D'après les analyses présentées par Cyril Durand dans sa thèse, l'exoskarn est essentiellement constitué de marbre dont la composition est formée par plus de 85% de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ). Localement il peut y avoir enrichissement en silice, jusqu'à formation de quartzite (échantillon MaP02-29), ou bien cristallisation de grenats et de vésuvianite principalement. Il est toutefois surprenant que, dans le tableau de pétrographie, n'apparaît pas le diopside qui est indiqué sur la photo d'échantillon de col de Pailhères.

#### 1.3.1. Les Grenats

Les grenats se présentent dans des blocs de quelques dizaines de centimètres en déport de la route sur plusieurs dizaines de mètres, faciles à ramasser.

D'après la composition de la roche, les grenats sont des grossulaires quasiment purs, avec quelques pour cents d'almandin.

Ils se présentent sous la forme de rhombododécaèdres aux arêtes peu nettes plurimillimétriques, bruns, opaques, brefs sans grands intérêts esthétiques. Avec les vésuvianites, ces grenats rappellent fortement les grossulaires du massif de l'Arbizon, en plus laids.

Comme pour les grenats de l'Arbizon, le meilleur moyen de dégagement reste l'acide dilué.

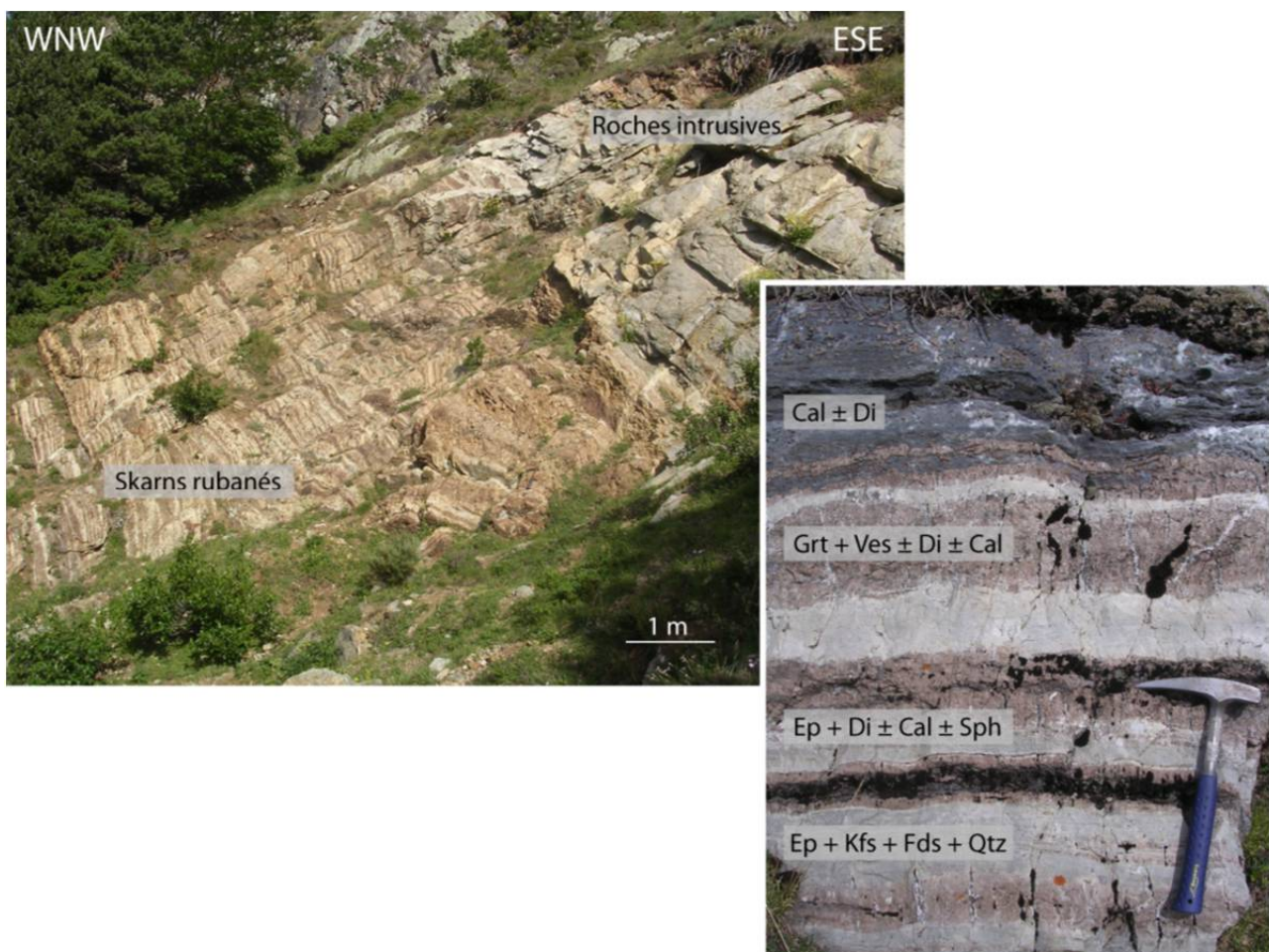


Figure 3 : Col de Pailhères : Skarns rubanés présents au lieu-dit Soucarat, entre Mijanès et le Col de Pailhères, Cyril Durand

type	Pailhères																
échantillon roche distance	MaP 02-25 matrice (Cc) 1925	MaP 02-26 veine (Cc) 1925	MaP 02-26 marbre 1925	MaP 02-27 marbre 1750	MaP 02-28 marbre 1750	MaP 02-29 quartzite 1625	MaP 02-33 marbre 1300	MaP 02-42 grenatite 200	MaP 02-44 marbre 200	MaP 02-45 marbre 200	MaP 02-48 marbre à Grt 200	MaP 02-52 marbre 275					
$\delta^{18}O_{\text{Calc}}$	12,4	12,0	9,3	13,7	15,7		19,5	13,8	21,4	15,3	12,9	18,0					
$\delta^{13}C_{\text{Calc}}$	0,14	0,47	-0,11	1,15	-1,53		1,92	-6,33	2,14	-3,30	-8,40	1,17					
$\delta^{18}O_{\text{wt}}$						13,4											
% Calcite			73,0	94,5	59,9	1,2	91,7	9,7	95,9	52,8	8,9	77,4					
Wt %																	
SiO <sub>2</sub>			13,50	2,47	17,54	48,07	5,27	39,70	1,54	23,97	41,54	9,16					
TiO <sub>2</sub>			0,18	0,12	0,37	0,97	0,11	0,73	0,03	0,41	0,71	0,17					
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			3,47	1,43	8,66	23,72	1,61	17,99	0,44	7,75	17,17	4,03					
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			3,69	0,80	4,66	7,89	0,49	4,63	0,49	2,80	6,45	3,83					
MnO			0,17	0,07	0,16	0,14	0,06	0,10	0,03	0,11	0,13	0,16					
MgO			2,49	1,06	1,67	3,16	0,48	0,94	0,39	1,26	1,96	0,99					
CaO			41,53	51,49	37,80	6,26	50,66	29,39	53,34	37,36	23,65	44,47					
Na <sub>2</sub> O			0,00	0,00	0,09	0,31	0,00	0,00	0,00	0,47	0,13	0,00					
K <sub>2</sub> O			0,03	0,05	0,19	4,06	0,21	0,16	0,01	1,56	2,67	0,73					
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			0,05	0,06	0,06	0,16	0,07	0,17	0,02	0,10	0,13	0,09					
LOI			34,17	41,71	27,96	4,40	40,57	5,38	42,97	23,22	4,75	35,47					
CO <sub>2</sub>			32,12	41,58	26,35	0,53	40,33	4,25	42,21	23,21	3,91	34,07					
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00					
NiO			0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00					
TOTAL			99,28	99,25	99,17	99,17	99,53	99,22	99,27	99,02	99,32	99,09					
ppm																	
Nb			5,3	3,6	9,8	23,6	3,4	19,1	<1,0<	10	17	5,1					
Zr			58	44	76	179	41	118	50	109	149	49					
Y			19,7	11,9	22,5	20,4	13,9	32,2	2	21,4	31,2	14,2					
Sr			291	285	362	275	253	321	773	437	384	213					
U			<2<	<2<	<2<	<2<	<2<	<2<	<2<	<2<	<2<	<2<					
Rb			1,4	7,7	9,2	197,8	10,4	6,1	<1,0<	56,9	89,9	25,4					
Th			5	4	8	13	4	16	3	8	13	5					
Pb			11	4	3	<2<	<2<	4	<2<	4	11	7					
Ga			7	5	13	29	5	24	3	11	23	8					
Zn			58	34	69	76	12	60	12	78	122	40					
Ni			16	3	38	55	<2<	50	<2<	10	65	11					
Cr			22	12	48	134	12	114	5	48	128	23					
V			29	15	61	184	12	147	6	57	131	51					
Ce			23	10	32	89	9	76	<3<	32	78	16					
Ba			<9<	40	32	481	55	38	<9<	238	602	152					
La			17	10	25	48	15	47	<4<	21	43	11					
Profil	Col de Pailhères																
Echantillon	M26	M27	M28	M29	M33	M42	M42	M42	M44	M45	M48a	M48b	M48b	M48b	M52	M95	M96
Distance *	1925	1750	1750	1625	1300	200	200	200	200	200	200	200	200	200	275	875	625
Roche	marbre	marbre	marbre	quartzite	marbre	exosk	exosk	exosk	marbre	marbre	exosk	exosk	exosk	exosk	marbre	marbre	marbre
Zone						Grt+Ves	Cpx	Ep			Grt+Cpx	Ep+Qtz	Ep				
Epaisseur (cm)						>1	0,2	1 à 2				3	1	qq mm			
Minéralogie																	
Calcite	95%	99%	90%		80%	10% **	1%	2%	95%	60%	40%		1%	10%	90%	85%	85%
Quartz	5%	1%			15%	5% **	1%	2%	3%	20% ***		35% ***	1%		4%	10%	2%
Plagioclase								50% ?									
Feldspath K																	
CPX							95%	5% ?	1%	15%	25%		10%				
Amphibole										<1%				35%			
Biotite			1%														
Grenat						35%					15%			35%			
Vésuvianite						30%											
Wollastonite								50% ?									
Epidote			10%					40%	1%	5%	10%	35%	85%		3%		
Sphène						<1%		1%					<1%				
Allanite																	
Apatite																	
Micas blancs		1%			5%			<1%	<1%			3%			1%	5%	7%
Trémolite												25% ?	3% ?		1%		2%
Prehnite																	
Indéterminé						20% **					10%			20%			

Table 2 : Col de Pailhères : Compositions des roches d'exoskarns et des grenats (Cyril Durand)



### 1.3.1. Macles de grenats

Matthew HEDDLE, minéralogiste écossais du XIX<sup>ème</sup> siècle a découvert un grenat avec des angles rentrants. Ce grenat a été présenté en 1901, puis répertorié par Goldschmid dans ses planches d'habitus sous le n° 80 de ses planches relatives aux grenats (cf. lexique).

Bien que très très rare, cette macle vient d'être récoltée, par Alex.TRE (pseudo Geoforum) et identifiée par Grenadof alias Guillaume Baudry sur quelques échantillons du col de Pailhères (66), en 2021. N'en déplaise à M. E. FRITSCH.

Bien que la cristallisation du grenat réponde aux symétries holoédres  $4/m\ 3\ 2/m$ , cet échantillon prouve néanmoins qu'il peut y avoir formation de macle.

Cette macle est très difficile à définir. Elle semble conjuguer différents aspects de macles :

- Les stries plus ou moins régulièrement espacés montrent qu'il s'agit d'une macle polysynthétique [100] et [211] comme celles que j'ai présentées précédemment dans cet ouvrage, avec notamment les macles responsables des irisations des andradites.
- C'est également une macle par interpénétration de deux individus rhombodocécaédriques avec rotation de  $120^\circ$ , très similaires aux macles des fluorines, avec apparition d'un axe sernaire, d'ordre 6 supplémentaire.
- C'est enfin une macle cyclique, qui semble être constituée de 6 individus. Mais sur ce point, je n'ai aucune certitude.

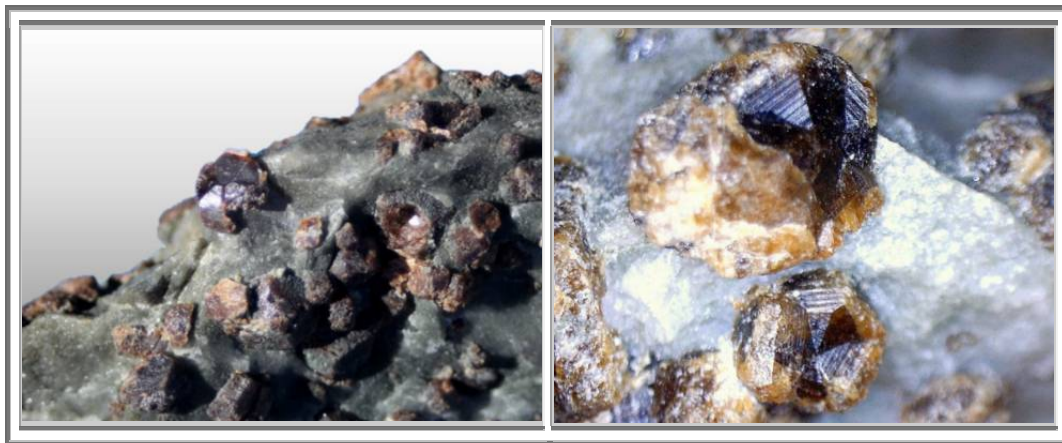


Figure 4 : Col de Pailhères : grenat maclé présentant une macle cyclique et polysynthétique présentant des angles rentrants, coll. et photo Geoforum, Alex.TRE

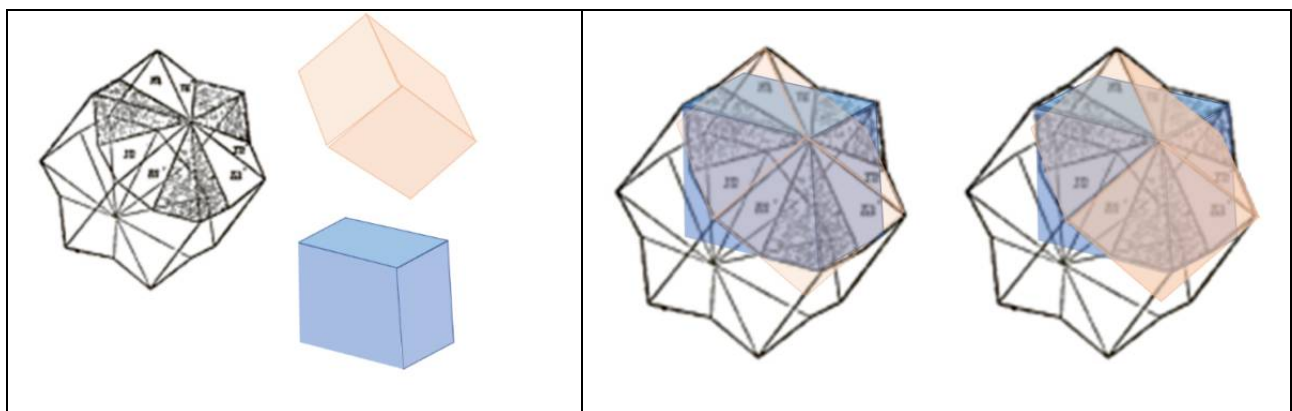


Figure 5 : Col de Pailhères : Proposition de macle de grenat par interpénétration et rotation de  $120^\circ$  :



Figure 6 : Col de Pailhères : Spessartine maclée, Nani Loliondo, Tanzanie, 0,80 g  
grande photo : grenat maclé d'origine inconnue

## Références

- (1) Naoto TAKENO, Contribution à l'étude des skarns du massif de Quérigut (Pyrénées Orientales, France). Chimie des éléments traces et modélisation des transferts de matière. Sciences de la Terre. Eco Contribution à l'étude des skarns du massif de Quérigut (Pyrénées Orientales, France). Chimie des éléments traces et modélisation des transferts de matière

- 
- (2) J.B. AUREJAC, G. GLEIZES, Hervé DIOT, Jean Luc BOUCHEZ, Jean-Luc, Le complexe granitique de Quérigut (Pyrénées, France) réexaminé par la technique de l'ASM : un pluton syntectonique de la transgression dextre hercynienne, Vol - 175, Bull. Soc. Géol. Fr.
  - (3) Cyril DURAND, Circulations fluides, transferts de matière et évolution minéralogique entre deux réservoirs à géochimie contrastée - Les septa carbonatés dans les granites du Quérigut (Pyrénées, France), thèse, UNIVERSITE DE FRANCHE-COMTE, Spécialité Sciences de la Terre