

Livre 11 - Autres sites grenatifères

1. GRENATS AUTRICHIENS DU GRANATKOGL

Le Tyrol fournit de très beaux grenats qui proviennent essentiellement de deux régions différentes :

- celle du Zillertal, où les cristaux sont de taille moyenne, mais trop souvent prisonniers d'une gangue micaschisteuse résistante, qui conduit à procéder à leur dégagement par la méthode du sablage, opération qui détériore le minéral.
- celle de l'Ötztal, où la qualité et surtout la taille des échantillons dépasse de beaucoup celles du Zillertal.



**Figure 415 : Granatkogel : Vue sur le glacier Gaisbergferner et son évolution et le Granatkogel à gauche
« les grenats sont si gros qu'on les repère d'ici »**

Le Gaisbergferner est un glacier situé au sud-est de Obergurgl, Tyrol. Lors du dernier « petit » âge glaciaire du XIX^{ème} siècle, il a atteint une longueur de 3,8 km avant de commencer à se résorber. En 2009, il ne mesurait plus que 2,5 km environ.

La très vieille photographie de E. Laramy, le montre peu après son expansion maximale. La moraine terminale de cette époque apparaît entre les deux hommes de la photo de 1872. Sur la photographie de 2009, une autre moraine terminale est visible à la moitié de la distance du front actuel, elle date du début du XX^{ème} siècle.

Nous pouvons également observer sur ces photos qu'en 1872, les zones d'accumulation du Gaisbergferner atteignaient les sommets de 3300 m, mais que ce n'est plus le cas en 2009.

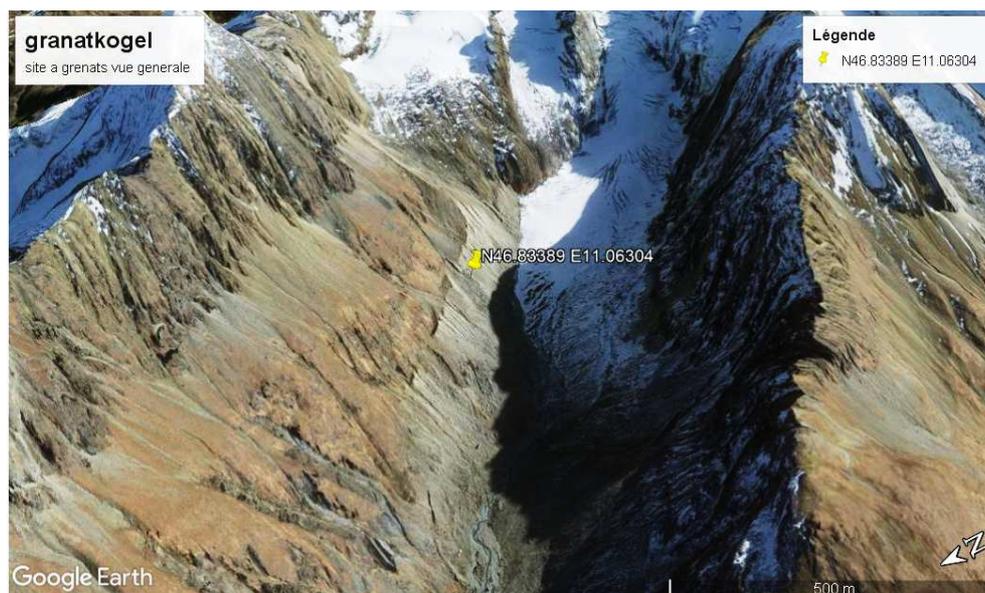


Figure 416 : Granatkogel : Vue de satellite du site

1.1 Géologie

La région d'Ötztal est traversée dans sa totalité par une masse cristalline qui se compose de gneiss, granodiorite et amphibolites ainsi que de micaschiste (hornblende (au sud de la zone), mica (Alpes d'Ötztal méridionales) et de marbre derrière Obergurgl. Insérées dans la série des amphibolites, on peut également rencontrer des lentilles d'éclogite.

Sinon, la roche est pauvre en minerais, les minéraux ne se trouvant qu'au-dessus du Sulztal et sur le Granatkogel.

Le massif des Alpes d'Ötztal s'est développé dans le sud et a été déporté par la pression exercée lors de l'orogénèse alpine. Une partie de cette région d'Ötztal a ainsi été remodelée il y a 450 millions d'années, l'autre partie a, quant à elle, été modifiée plus récemment, il y a environ 300 millions d'années.

La météorologie et les roches schisteuses de cette région sont telles que sa végétation en fait le plus haut alpage permanent des Alpes orientales.

La région la plus en arrière de l'Ötztal, au-dessus d'Obergurgl est géologiquement la zone la plus intéressante. Il s'agit ici de gneiss anciens avec des strates de roches calcaires ferritiques. Il en a résulté la formation de fameux grenats d'Ötztal, que l'on va ramasser sur le Granatkogel dans le Gaisbergtal.

En outre, nous traversons pour accéder au site de grenats, la vallée rabotée en U par les glaciers du Gaisbergferner.

1.2 Itinéraires

1.2.1. Obergurgl

Les grenats se trouvent aux coordonnées suivantes : N46.83389 E11.06304, elev. 2 650 m.

D'autres grenats ont été trouvés aux coordonnées : N 46.83734 E11.06249 et N 46.83449 E11.04512.

- (1) Depuis Obergurgl on peut accéder par le téléphérique de Hohe Mute tronçon I et II. Il est préférable de prendre les deux tronçons pour la montée et le tronçon I pour regagner Obergurgl, en fin d'après midi (fermeture à 16h).

- (2) De là, on va par les sentiers N°29 puis N°27a du parcours 1 en direction du Gaisbertal (1h30), puis on continue à longer la langue du glacier Gaisberferner par la droite (est) en suivant le sentier N°26 du parcours 6 (1h30) (non ! ce n'est pas compliqué, c'est juste incompréhensible comme les flèches placardées d'ici delà : En haut du téléphérique, près de l'auberge, il faut commencer à descendre sur la droite, prendre la petite porte pour se trouver... sur le bon sentier alors que l'on souhaite aller en haut à gauche).
- (3) Le sentier N°6 correspond à un grand mur de moraines. Il est difficile, et cache des plaques de glace....



Figure 417 : Granatkogel : Remontées mécaniques incluant le téléphérique de Hohe Mute
En rouge le taje de montée à pied, en jaune la redescente

- (4) Il existe un autre site. A partir du téléphérique, suivre le tire fesse jusqu'au sentier N°30 en direction du KIRCHENKOGL. Dans l'ascension du Kirchenkogl, on trouve des micaschistes avec de beaux grenats insérés.
Depuis le Mutstl, on peut aussi monter jusqu'au Gaisberferner et de là atteindre la zone en dessous de la parois du Granatenwand.
- (5) La descente se fait à pied (2h environ) en suivant le sentier N°26 jusqu'au tronçon I du téléphérique (ajouter 30 minutes pour rejoindre Obergugl à pied)

1.3 Sites

1.3.1. Granatkogel versant autrichien

Selon son expérience d'alpiniste, ET selon son équipement, les recherches seront effectuées soit dans l'éboulis, soit sur le flanc du Granatkogel.

Attention : Les zones indiquées sont dans un territoire haut alpin et doivent être seulement visitées par des montagnards aguerris. Les règles de sécurité doivent être scrupuleusement respectées en particulier prudence sur le glacier.

Pour les amateurs, il est préférable de se contenter de l'éboulis et du lit du ruisseau de montagne issu du glacier.

Du côté est de la moraine, vous trouverez aisément dans les éboulis des cristaux de grenats, parfois désolidarisés de leur gangue, ainsi que des blocs de micaschiste bien cristallisés truffés de cristaux de grenats et de hornblende.

Les cristaux peuvent atteindre les 10 centimètres. Toutefois, ils sont en général de « quelques » centimètres.

Les grenats sont beaucoup plus faciles à dégager ou à extraire des chloritoschistes bien verts, un simple canif suffit, que des schistes blancs pour lesquels le percuteur ou la sableuse s'avèrent nécessaires.

1.3.2. Granatkogel versant italien

La série des micaschistes riches en grenats s'ouvre aussi dans le flan Est du Granatenkogel du côté Italien. Ces zones de recherches sont moins visitées que du côté autrichien. On peut les atteindre en traversant le Timmeljoch depuis le virage le plus au Sud de la route qui conduit au Parc de Timmeljoch. De là en montant sur un sentier vers le sud jusqu'au Seeweralm, puis plus loin le long du ruisseau vers le lac du Seewersse (2056m) et de là ensuite en montant plus loin sur le versant Nord-Est du Granatenkogel. On trouve dans les blocs le long de la pente des zones particulièrement riches dans le territoire des sommets entre le Granatenferner et le Seewerferner jusqu'au delà de 3000m.

Toutes ces zones de recherche, que ce soit en Italie ou en Autriche, ne peuvent être visitées que par des alpinistes chevronnés et hautement confirmés

1.3.3. Sulzal

Le Sulztal commence dans une prairie de l'Ötztal vers l'Est. Dans une courbe de la route on atteint le lieu appelé GRIES à 1569m d'altitude. A partir du chemin marqué N° 18 on atteint, en premier vers le sud, ensuite vers l'Ouest le NISSLALM en exploitation. De là on va en montant en direction du GAMSJOGL qui culmine à 2300m. On le quitte en direction du Sud vers la gauche à peu près parallèlement au MILCHENKAR.

Dans le KAR on trouve des amphibolites, du marbre. En particulier dans sa partie orientale on trouve du gabbro faiblement métamorphisé ainsi que quelques lentilles d'éclogites.

Les minéraux se trouvent dans tout le domaine du KAR entre 2200 et 2600 m ainsi que dans les éboulis.

Les marbres contiennent une variété de minéraux intéressants, bien que parfois relativement dissimulés telle que grenats, diopside en grains vert, phlogopite en plaques brunes, ainsi qu'une variété d'olivine verte qui se rapproche de la forstérite, le plus souvent serpentinisée et enfin, des octaèdres minuscules de spinelle et de la scapolite en cristaux allongés.

Dans les amphibolites on trouve aussi souvent de grosses inclusions de pyroxènes cristallisés ainsi que de la clinzoisite de couleur brune en cristaux allongés. Dans les gneiss qui se trouvent à environ 2200m on trouve souvent des pseudomorphoses de micas qui ont tendance à évoluer vers la cordiérite appelée pinite.

1.4 Les grenats

1.4.1. Gîtologie

La découverte de ces cristaux n'est pas récente ; certains sont exposés dans divers musées. Nous citerons, pour mémoire, les remarquables échantillons ramenés par l'équipe Bertrand-Poullen en 1973, certains de ces grenats mesurant jusqu'à 8 centimètres.

Dans le Granatwand, les cristaux sont nombreux et se présentent:

- soit isolés après érosion et décomposition de la roche mère, ils sont cependant incomplets dans bien des cas
- soit prisonniers de la roche encaissante, dont la dureté peut être variable selon qu'il s'agit de micaschistes ou de chloritoschistes.
La présence de quartz dans les micaschistes rend difficile, voire impossible, le dégagement des grenats dans de bonnes conditions.

Au contraire, les chloritoschistes, plus homogènes, de coloration vert foncé, sont constitués d'abondantes paillettes et n'ont qu'une faible dureté. De ce fait, un grattage précautionneux permet d'obtenir d'excellents résultats.

1.4.2. Composition

a. Composition typique des almandins

La composition typique d'un almandin (grenat réel et non pas pôle chimique) est constituée de 36 à 38% de SiO₂, 20 à 22% d'Al₂O₃, 30 à 36% de FeO, 1 à 5% de MgO, 1 à 7% de MnO.

Fe : 30-36 % Al : 20-22 % Si : 36-38 %
 Mn : 1-7 % Mg : 1-5 %
 Ca :

b. Almandins du Zillertal

Il s'agit de grenats essentiellement almandin, de couleur brun rouge qui, parfois presque gemmes, sont alors nommés « escarboucles ».

Une analyse des grenats du Zillertal par De Kobell a donné les résultats suivants, sous formes d'oxydes (basé sur 24 atomes d'oxygène) :

Fe : 32,68 % Al : 21,08 % Si : 39,12 %
 Mn : 0,80 % Mg :
 Ca : 5,76 %.

Les grenats du Zillertal répondent donc à la formule typique des grenats avec du calcium à la place du magnésium. Le pôle grossulaire remplace donc le pôle pyrope dans le grenat.

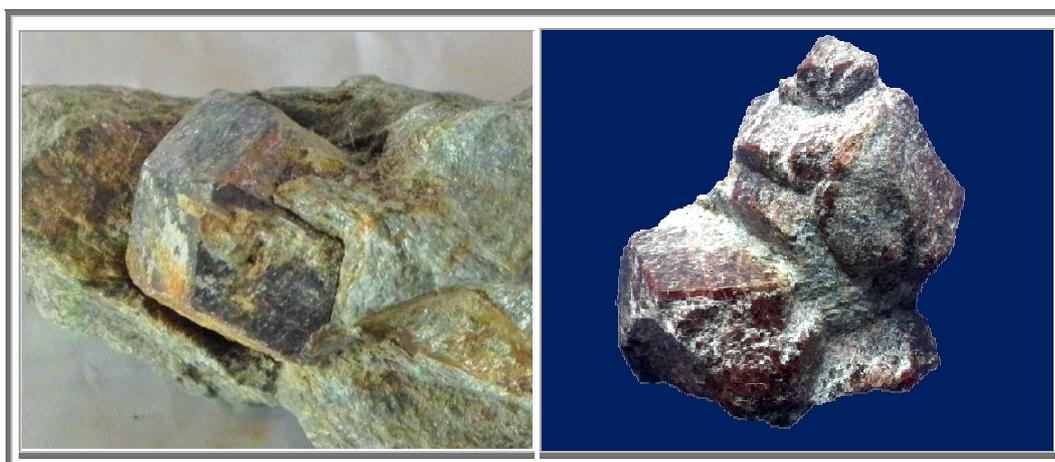


Figure 418 : Granatkogel : Zillertal : Grenat almandin
Figure 419 : Granatkogel : Ötztal : Grenat almandin (août 2018) - arête 30 mm

c. Almandins de l'Ötztal

Il s'agit de grenats essentiellement almandin, de couleur brun rouge à rouge clair qui peuvent être gemmes. Les grenats typiques d'Obergugl sont rouges clairs et noyés dans un chloritoschiste gris-vert.

Les analyses à la microsonde électronique de grenats issus d'amphibolites de la région de Ötztal-Stubai représentées dans le tableau ci-après fournissent comme composition moyenne des grenats, sous forme d'oxydes (basé sur 24 atomes d'oxygène) :

Fe : 28,54 % Al : 23,12 % Si : 36,64 %
 Mn : 1,73 % Mg : 2,89 %
 Ca : 7,38 %

Ce qui correspond à :

Almandin :	63,4 %
Pyrope :	11,4 %
Spessartine :	4,2 %
Grossulaire :	20,8 %

Les grenats de l'Ötztal sont donc bien des almandins.

Toutefois, par rapport à des almandins typiques, ceux-ci sont quelque peu enrichis en grossulaire.

Ce qui est parfaitement en relation avec leur genèse à partir de l'intrusion de calcaire ferritique dans des roches gneissiques.

1.4.3. Morphologie

La forme cristalline est le rhombododécaèdre.

De plus, il arrive fréquemment que les grenats reposent sur une base formée par leur face $\{-10-1\}$, fracturée. Ce qui confère aux cristaux volants, un aspect de prisme hexagonal avec une pyramide constituée de trois faces parallélogrammes $\{10-1\}$, $\{01-1\}$ et $\{-110\}$, et un sommet formé par l'intersection de ces trois faces. De plus, avec la couleur rouge très prononcée de ces almandins, on pourrait les confondre avec des gros cristaux de rubis, qui de même, à partir de rhomboèdres forme des hexagones.

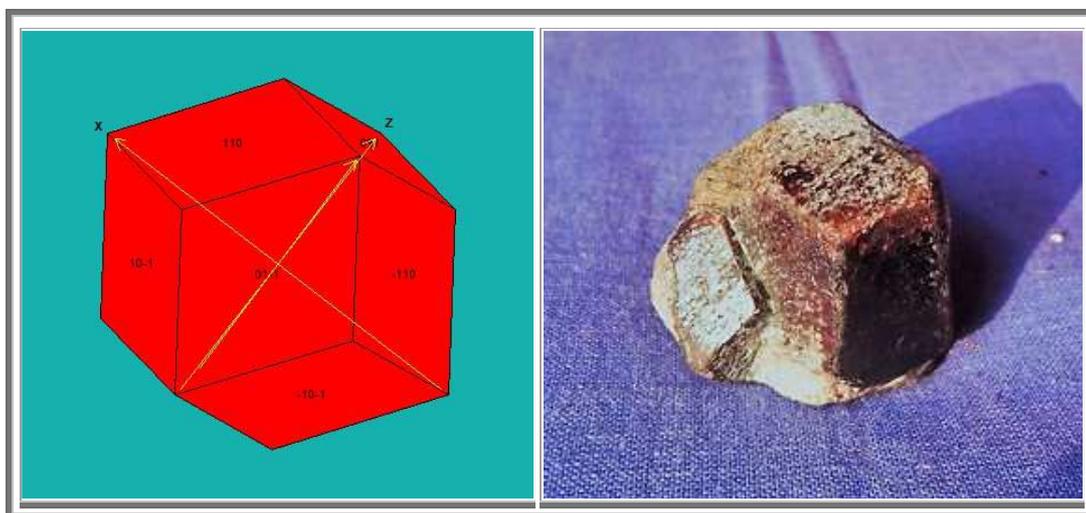


Figure 420 : Granatkogel : Grenats rhombododécaédriques dont le faciès rappelle la structure hexagonale du rubis

1.4.4. Couleur

Deux couleurs dominant parmi les grenats de l'Ötztal, le brun sombre et le rouge, clair à sang vif.

L'une des particularités des grenats autrichiens est cette tendance à former des almandins de couleur rouge très prononcée.

Dans leur publication pour la promotion de la spectroscopie Raman (lumière incidente du domaine du visible), Ganetsos et al ont présenté les spectres de deux grenats tyroliens, dont la différence est précisément la couleur rouge de l'un des deux.

Il apparaît sur le spectre du grenat non spécifié, des pics supplémentaires à 250, 420 et 600 cm^{-1} et l'intensité des pics est écrasée par rapport au pic à 910 cm^{-1} du spectre du grenat rouge.

En fait, si l'on reporte ces informations, sur le spectre Raman de Serov, Shelementiev et Mashkina, on s'aperçoit que le spectre du grenat tyrolien 2, correspond en fait au spectre de l'almandin, bien sûr, mais avec également la superposition du spectre du grossulaire.

La première information est donc que les grenats rouges sont des almandins purs ou quasi purs.

Une question subsiste néanmoins. Est-ce que la pyrite intervient dans cette coloration ou pas ? En effet, que ce soit au granatkogel ou bien dans les mines de fer telles que Diélette, Moissac Vallée française, Le Bournaix, tous présentent une coloration rouge très intense. De surcroît, depuis les travaux de E. MARCOUX, E. LEBRUN et E. BAGES (2012), nous savons qu'à Diélette, les grenats sont des grossulaires avec 10 à 30 %

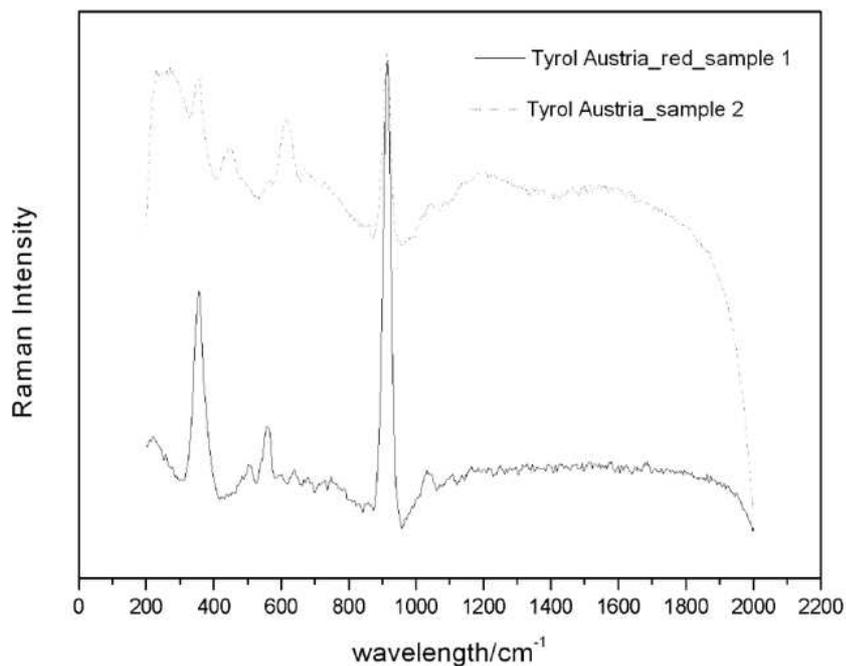


Figure 421 : Spectres raman de deux grenats du Tyrol

Comparaison entre les grenats almandins bruns et rouge

Dans le deuxième spectre, déconvolution et soustraction pour faire apparaître en vert, le spectre des minéraux responsables de cette coloration rouge

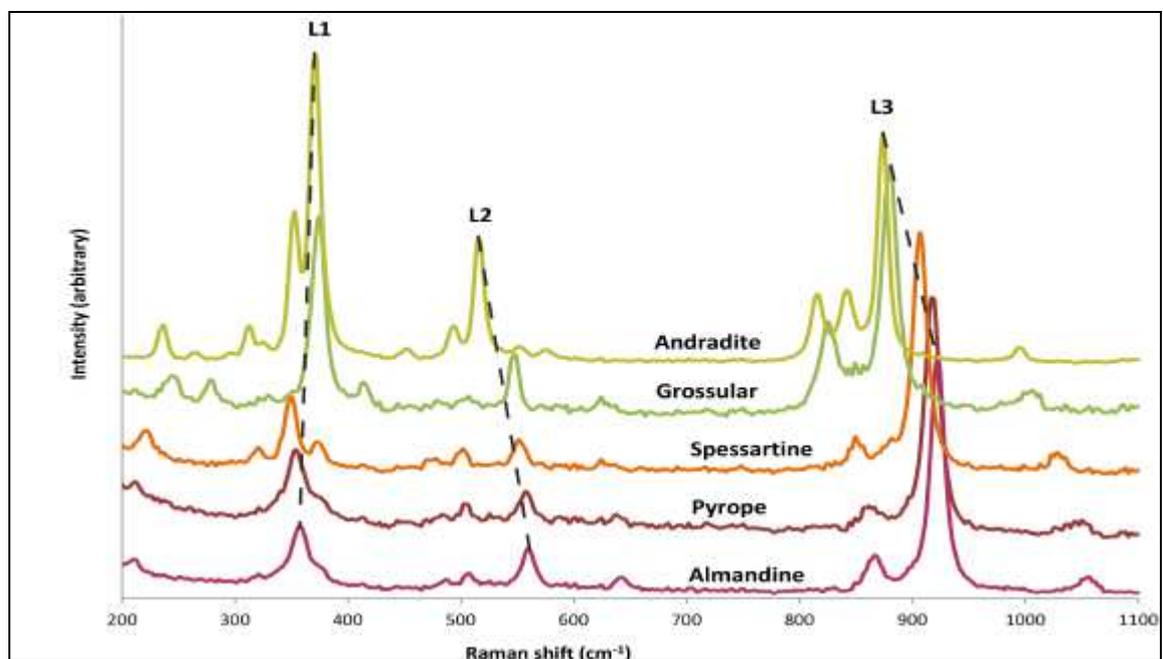


Figure 422 : Spectre Raman de différents grenats, Serov, Shelementiev et Mashkina

Les spectres Raman des grenats contiennent trois lignes les plus intenses autour de 350, 550 et 900 cm^{-1} , liées à l'étirement (si-o), à la flexion (si-o) et aux vibrations de R (SiO_4) 4-rotation, respectivement (Kolesov et Geiger, 1998). Ces lignes sont sensibles à la composition chimique du grenat.

Le déplacement des raies dans le spectre Raman des membres finaux vers les membres de la solution solide peut donner la possibilité de calculer la composition chimique approximative du grenat en utilisant les positions des raies dans le spectre Raman.

d'andradite. Donc la coloration des grenats de Diélette n'est pas due à des compositions proches du pôle almandin.

La coloration des grenats a plusieurs origines (cf livre la couleur des grenats et article la couleur des minéraux). Il se pourrait que ce soit dû à :

- La modification de l'environnement pseudo-cubique du FeII dans l'almandin (ou Ca dans le grossulaire), par les ions S_2^{2-} , peut-être en formant une structure de ligands en plan carré (structure qui produit une couleur rouge).
- La création d'une liaison ionique avec le FeII (ou Ca dans le grossulaire) par les ions S_2^{2-} , tels Cr^{3+} dans le rubis.

Mais ces théories sont peu probables car complexes. La bonne solution est souvent la plus simple.

Il est possible que la coloration rouge soit en fait due à de la pyrite intra-grenat (qui a été décelé dans les grenats d'Ötztal. En effet, les grenats de ma collection dont la couleur est le rouge sang, ont tous la particularité de provenir de mines de fer et d'être associés à la pyrite (Diélette, Moissac Vallée française, Le Bournaix).

Et, lorsqu'on dégage les grenats de couleur sanguine d'Ötztal, il y a justement formation d'une poudre très noire composée de micro-pyrite. Ce qui n'est pas le cas pour les grenats bruns.

1.4.5. Zonation - Formation

Plusieurs centaines d'analyses ont été pratiquées sur des grenats. Un récapitulatif des principaux résultats est présenté dans le tableau suivant.

Les grenats analysés sont composés selon les pôles limites des grenats de :

Almandin :	15-80 %
Pyrope :	4-32 %
Andradite :	0-12 %
Spessartine :	0,1-15 %
Grossulaire :	6-30 %

Les grenats du sud est de l'Ötztal, dont fait partie le granatkogel, sont caractérisés par une faible teneur en pyrope par rapport aux grenats des autres régions, centre et NO de l'Ötztal.

Le grenat le plus riche en pyrope a été prélevé dans une amphibolite à grenat diablastique à Milchenkar, Ötztal central. L'échantillon MK-6 contenait pas moins de 32,29 mol% de pyrope.

Les grenats présentent un profil de zonation. Ceux du complexe Schneeberg (SW-165) (HOINKES et PURTSCHELLE, R 1979; HOINKES, 1978, 1980, TESSARDI, 1981) ont des zonations qui montrent une structure annulaire typique bien prononcée avec un épuisement en Mn et Ca du cœur vers la surface. Ce zonage est conforme à celui de Hollister (1966) et suggère une croissance continue du grenat au cours d'un seul épisode métamorphique.

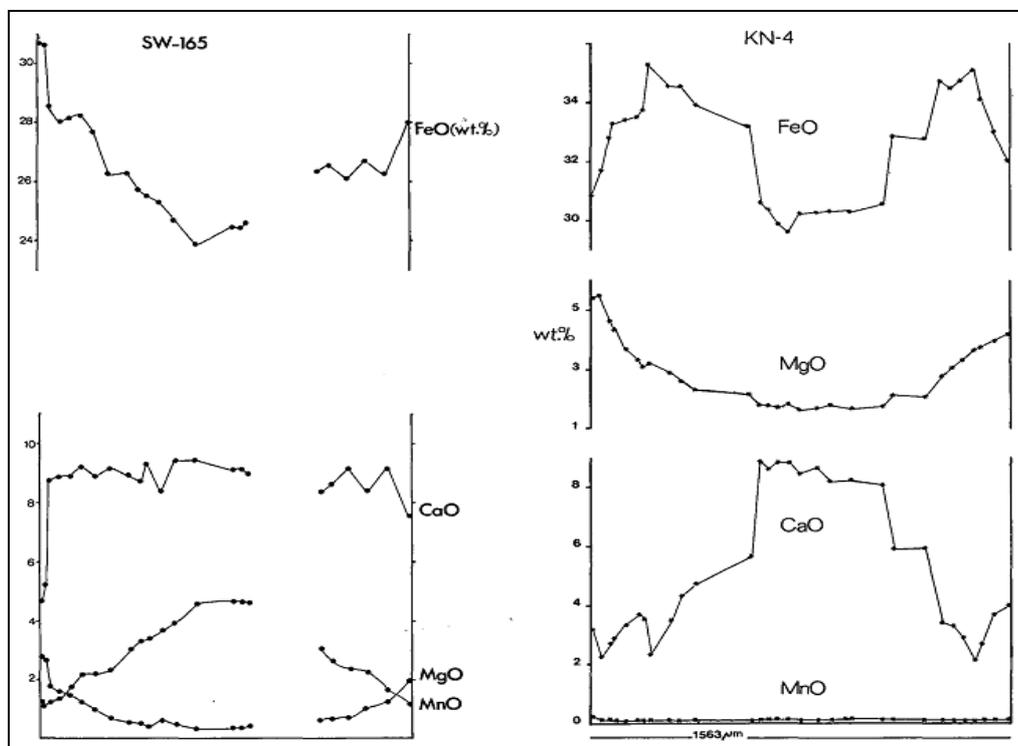
En revanche, la zonation des échantillons KN-4 et P-21 est le reflet d'une croissance intermittente au cours d'un métamorphisme pluriphasé (Atherton & Edmunds, 1966).

PURTSCHELLER & SASSI (1975) ont proposé comme histoire géologique du complexe Ötztal-Stubai, la succession d'événements suivante :

- Orogenèse calédonienne
 - o magmatisme de base
 - o métamorphisme HP
 - o plutonisme granitoïde (probablement de -486 à -415 Ma)
 - o phase rétrograde (datation non confirmée)
- activité tectonique
- Orogenèse hercynienne
 - o métamorphisme BP (autour de 300 -Ma) et anatexie connexe post cinématique hercynienne

	KN-4		P21		SW-165		Mk-6
	rim	core	rim	core	rim	core	
SiO ₂	37.66	37.18	34.46	34.80	38.10	37.61	39.10
TiO ₂	0.03	0.15	0.06	0.55	0.00	0.17	0.03
Al ₂ O ₃	23.34	22.60	24.99	24.53	21.60	21.35	22.91
FeO	30.88	29.70	26.59	27.70	30.18	26.18	18.74
MnO	0.36	0.10	3.11	2.60	1.21	3.82	0.53
MgO	5.45	1.83	2.37	2.59	3.58	1.49	8.28
CaO	3.21	8.83	9.06	7.59	5.69	9.91	9.10
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.02	0.03	0.02	0.00	0.02	0.04	0.53
Total	100.95	100.42	100.66	100.36	100.38	100.57	99.22
Atoms per formula unit based on 24 Oxygens							
Si	5.8563	5.8778	5.4655	5.5253	6.0076	5.9665	5.9592
Al ^{IV}	0.1402	0.1042	0.5272	0.4084	0.0000	0.0130	0.0373
Al ^{VI}	4.1374	4.1068	4.1441	4.1818	4.0141	3.9789	4.0779
Ti	0.0035	0.0180	0.0072	0.0663	0.0000	0.0205	0.0035
Fe	4.0157	3.9265	3.5268	3.6779	3.9796	3.4732	2.3885
Mn	0.0474	0.0134	0.4178	0.3496	0.1616	0.5133	0.0684
Mg	1.2630	0.4311	0.5602	0.6128	0.8412	0.3523	1.8806
Ca	0.5348	1.4957	1.5396	1.2912	0.9613	1.6845	1.4860
K	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Na	0.0060	0.0092	0.0062	0.0000	0.0061	0.0123	0.1566
Total	16.0043	15.9827	16.1946	16.1133	15.9715	16.0145	16.0580
Alm	68.52	66.93	58.35	62.01	66.95	57.54	41.01
Andr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	0.00
Pyr	21.55	7.35	9.27	10.33	14.15	5.87	32.29
Spess	0.81	0.23	6.91	5.89	2.72	8.55	1.17
Gross	9.13	25.14	25.47	21.77	15.89	27.61	25.52
Uvarov	0.00	0.35	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00
Mg/Fe	0.3145	0.1098	0.1588	0.1666	0.2114	0.1014	0.7874
Mg/(Mg+Fe)	0.2393	0.0989	0.1371	0.1428	0.1745	0.0921	0.4405

Table 25 : Granatkogel : Analyses à la microsonde électronique de grenats Issus d'amphibolites de la région de Ötztal-Stubai



Exemples de zonation de grenats

- a) Grenat des amphibolites de Schneeberger zug : échantillon SW-165, montrant une forme annulaire de zonation, typique d'un métamorphisme progressif
- b) Grenat du Kaunertal : échantillon KN-4, montrant deux générations de croissance du grenat

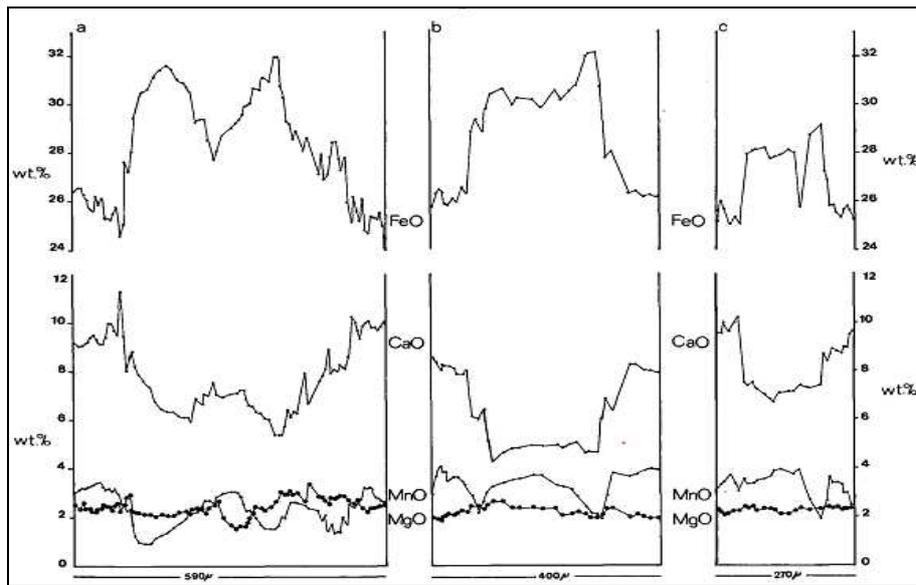


Figure 423 : Granatkogel : Zonations de différents grenats (Purtscheller et Mogessie,1986)
Exemples de zonation de grenats en fonction de la taille du cristal

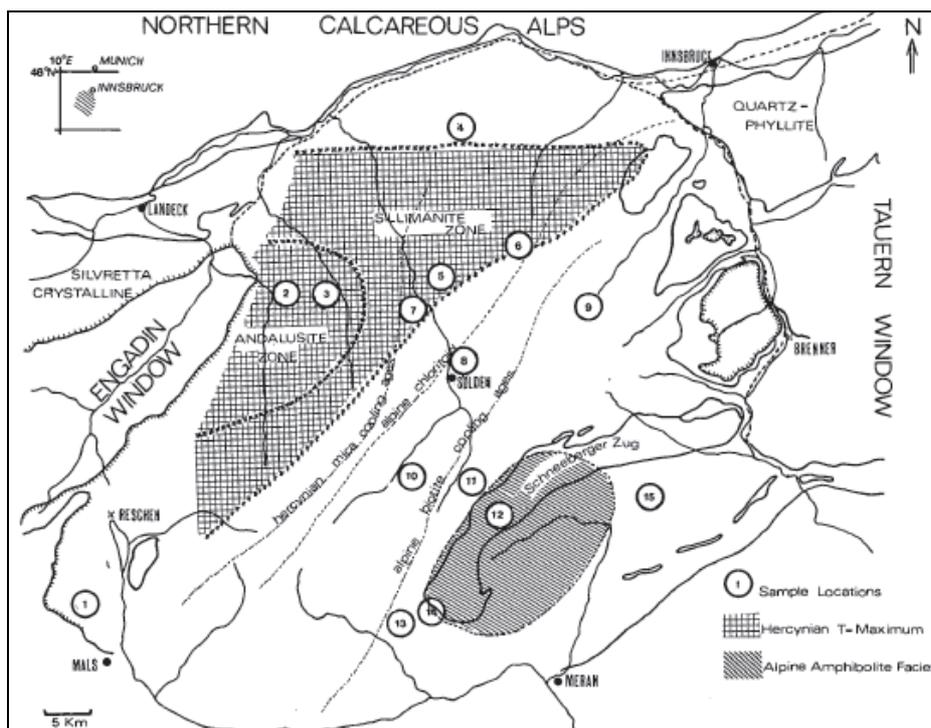


Figure 424 : Granatkogel : carte des zones d'études pétrographiques (Purtscheller et al)
La ville d'Obergugl se situe approximativement sur le marquage 10 et le Granatkogel entre les points 12 et 14

1.5 Autres minéraux du site

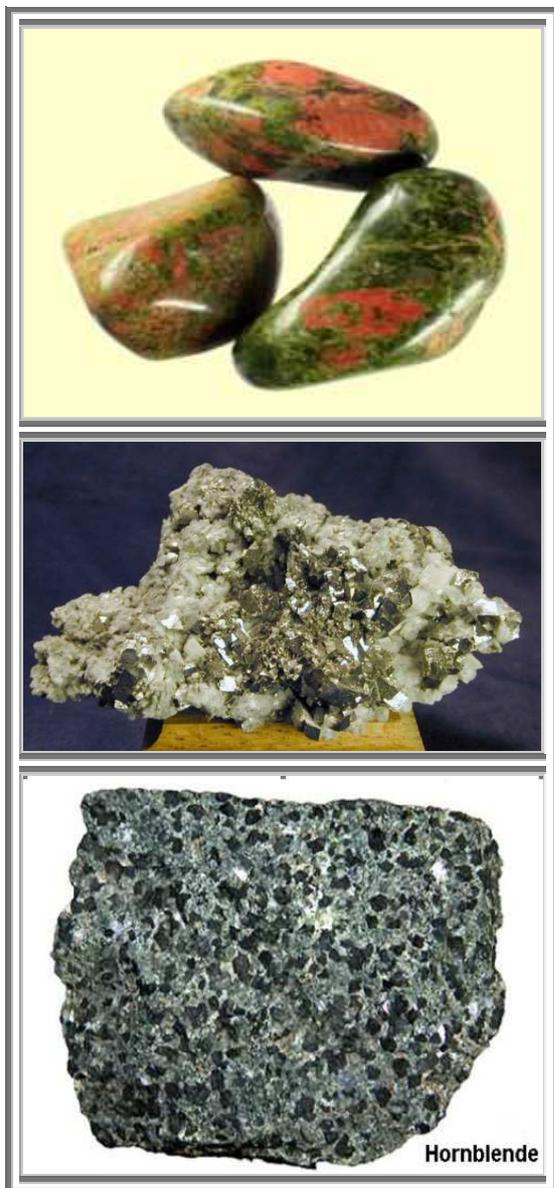
Aussi abondant que les grenats, on trouve de partout des hornblendes.

Les autres minéraux tels que épidote, et adulaire, sont très rares.

Comme il a été précisé au début de ce paragraphe, cette région de l'Ötztal est pauvre en minéraux, bien que paradoxalement elle soit mondialement connue pour ces grenats.



Figure 425 : Granatkogel : Grenats en association avec hornblendes



Épidote:

Trouvée dans les débris de la moraine au Gaisbergferner, il y a aussi des muscovites vertes sur gneiss.

Les épidote forment de petits cristaux millimétriques.

Adulaire:

très rare, petits cristaux sur plaques de mica.

Hornblende:

Surtout dans le mur en face de celui des grenats, le plus souvent à quelques centimètres à côté de petits grenats.

Figure 426 : Granatkogel : Autres minéraux du site



Almandin

Rouge sombre, probablement gemme
Cristaux : arêtes 12 mm
Avec hornblendes
Dans chloritoschiste vert sombre
Collection : perso

Almandin

Rouge clair, opaque
Cristaux : arêtes 20 mm
Dans micaschiste très dur
Collection : perso

Almandin

Rouge brun, opaque
Cristaux : arêtes 12 mm
Dans micaschiste
Collection : perso

Almandin

Rouge brun, opaque
Cristaux : arêtes 10-15 mm
Dans micaschiste et chlorite très dur
Collection : perso

Figure 427 : Granatkogel : Récoltes d'almandins août 2018



Almandin

En place dans micaschiste
Bruns, opaques
Cristaux 1,5 à 2 cm, 4 cm sur le verso
Collection : perso

Almandin

Rouge brun, opaques
Cristaux : arêtes 25-30 mm
Dans micaschiste
Collection : perso

Almandin

Rouge clair, opaque
Cristaux : arêtes 30 mm
Collection : perso

Almandin

Rouge brun, opaques
Cristaux : arêtes 15-30 mm
Enrobé de micaschiste
Collection : perso

Figure 428 : Granatkogel : Grenats

REFERENCES GRANATENKOGL

- (1) C. BAILLARGEAT, Un gisement de grenats en Autriche, La Granatenkogel, Monde des minéraux
- (2) Compte rendu sortie Autriche aout 1997
clubgeologiquedesptt.free.fr/Activites passees/1997/CR_Autriche 97.htm
- (3) Mindat : <https://www.mindat.org/loc-58562.html>
- (4) Granatenkogel | Wikiwand
www.wikiwand.com/de/Granatenkogel
- (5) <https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/%D6sterreich/Tirol/Imst%2C%20Bezirk/%D6tztal/Obergurgl/Granatenkogel%20%28Granatenwand%29>
- (6) T. Ganetsos, T. Katsaros, P. Vandenabeele, S. Greiff et S. Hartmann, Raman Spectroscopy as a tool for garnet analysis and investigation on samples from different sources, Intern. J. of Materials and Chemistry, 2013, pp5-9
- (7) Roman Serov, Yuri Shelementiev et Alevtina Mashkina, Identification of the garnet chemical composition and color causes by express raman and visible spectroscopy, gemological center, Moscow state univeisty