

Les Grenats Du volcanisme vosgien

Dr. Alain ABREAL

1. Introduction

La présence de roches volcaniques due à la remontée de péridotites à grenats ainsi que l'apparition de skarn a permis de faire d'importantes découvertes de grenats dans le massif des Vosges.

Les récoltes les plus renommées ont eu lieu dans la carrière de la Meilleraie, à Raon-l'Étape, entre 1974 et 1976. Des cristaux isolés avec des arêtes dépassant les 4 centimètres ont pu être découverts en relative abondance, par intermittence, après des tirs de mines.

Les skarns de Rothau et, surtout, du gîte ferrifère de Framont – Grandfontaine, ont fourni de jolis grenats grossulaires. Dans la halde de la galerie de recherche du BRGM, creusée en 1961, on peut encore récolter de jolis petits cristaux (atteignant exceptionnellement 1,5 centimètre) qu'il faut souvent dégager à l'acide chlorhydrique de la calcite qui les englobe. Une jolie occurrence de petits cristaux de grossulaire est signalée à Soultzbach-les-Bains.

Enfin, et c'est par ces derniers que nous commencerons, il y a plusieurs affleurements de péridotites à grenats. D'anciennes lherzolites à pyrope se sont métamorphosées jusqu'à donner de la serpentine, mais il est possible néanmoins, de trouver encore de ces péridotites dans le sud du massif.



Figure 1 : Vosges : Exemple de péridotite à grenats

2. Géologie des Vosges

2.1 Carte géologique simplifiée

Cf ci-après

2.2 Rappel sur la genèse du massif des Vosges

L'histoire géologique des Vosges s'inscrit dans le cadre de l'évolution de la chaîne hercynienne.

Le cycle orogénique hercynien appartient à l'ère primaire : il débute au dévonien (- 400 Ma) et se termine au permien (- 250 Ma). Il fait suite à l'orogénèse calédonienne, l'ensemble constituant l'épisode varisque. Ces déformations prennent ainsi naissance après le long contexte distensif du paléozoïque inférieur. La chaîne hercynienne résulte de la collision de deux plaques continentales : l'ensemble Laurentia- Baltica et le Gondwana.

Ainsi, la chaîne hercynienne était une grande chaîne de montagne de la Pangée qui s'étendait sur plus de 6000 kilomètres de long et 1000 kilomètres de large des Appalaches au Caucase.

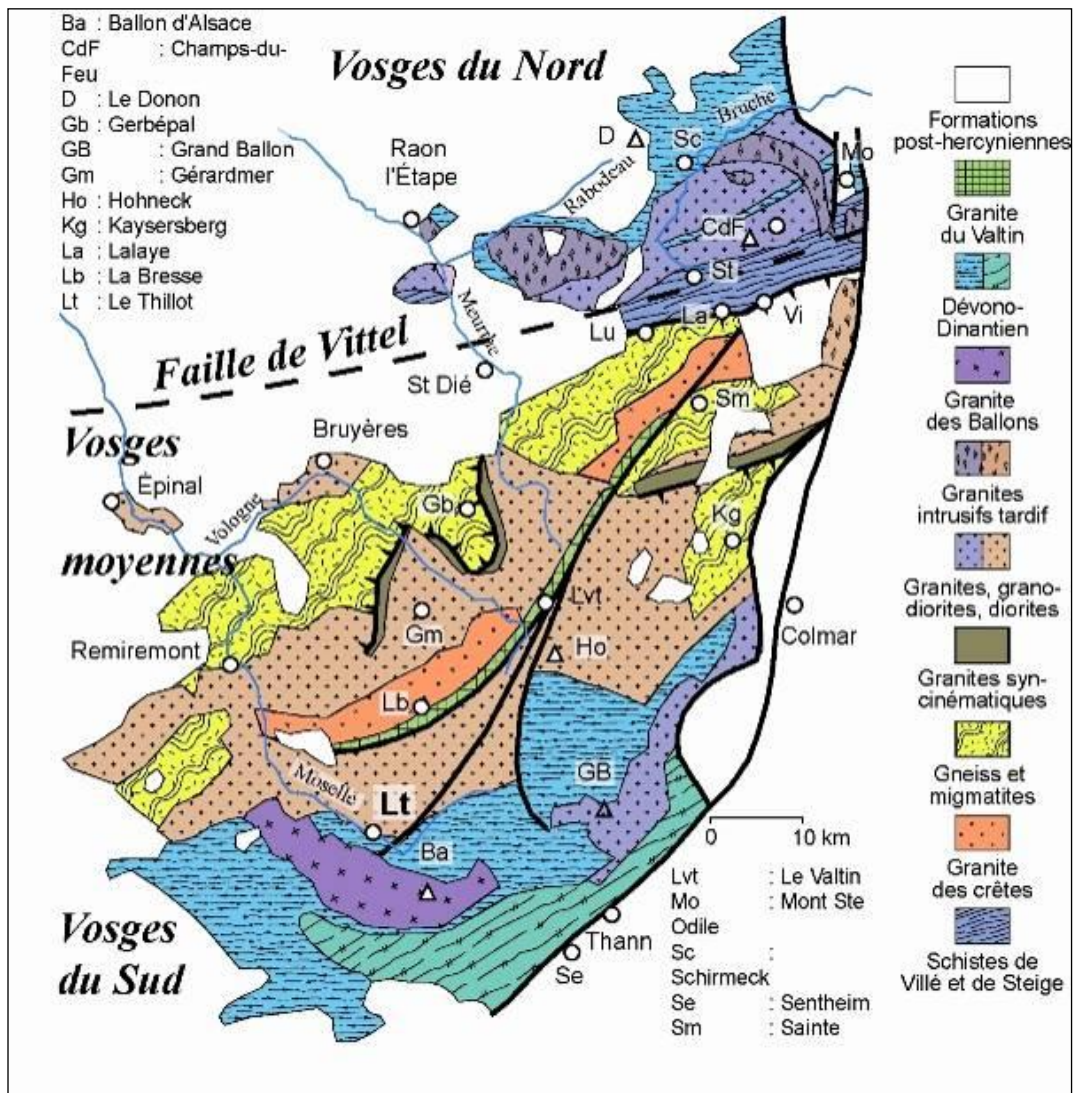


Figure 2 : Vosges : carte géologique simplifiée

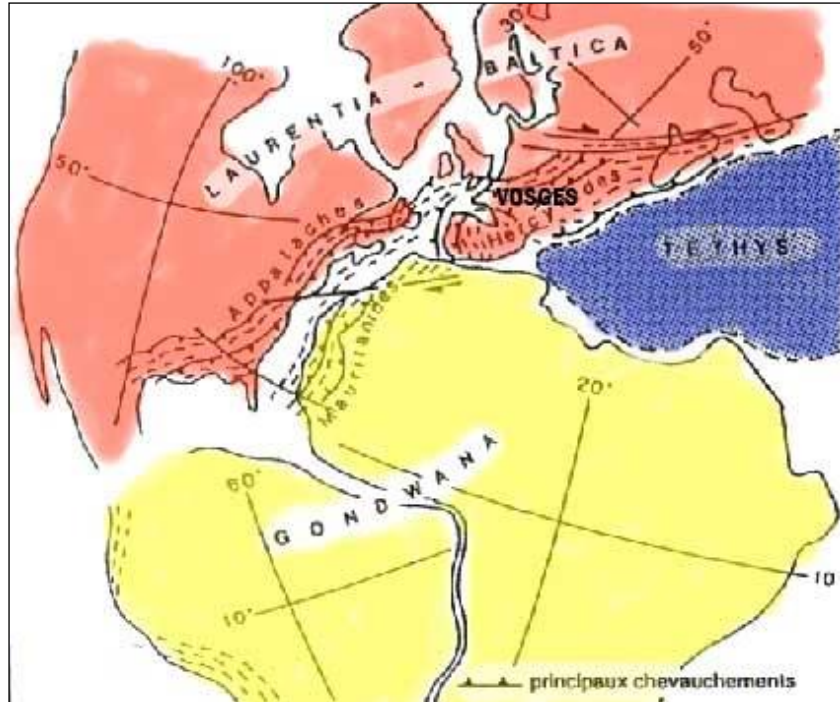


Figure 3 : Vosges : Configuration des continents à la fin du carbonifère [d'après Matte]

Elle a ensuite été disloquée lors de l'ouverture de l'Atlantique et ses reliefs ont été arasés, avant le Trias, il y a 250 Ma.

Une grande partie de cette chaîne de montagne est actuellement masquée par les bassins sédimentaires secondaires ou tertiaires ou reprise dans la chaîne alpine. En Europe, elle forme une chaîne de plus de 3000 kilomètres depuis le sud de la péninsule Ibérique jusqu'au massif de Bohême.

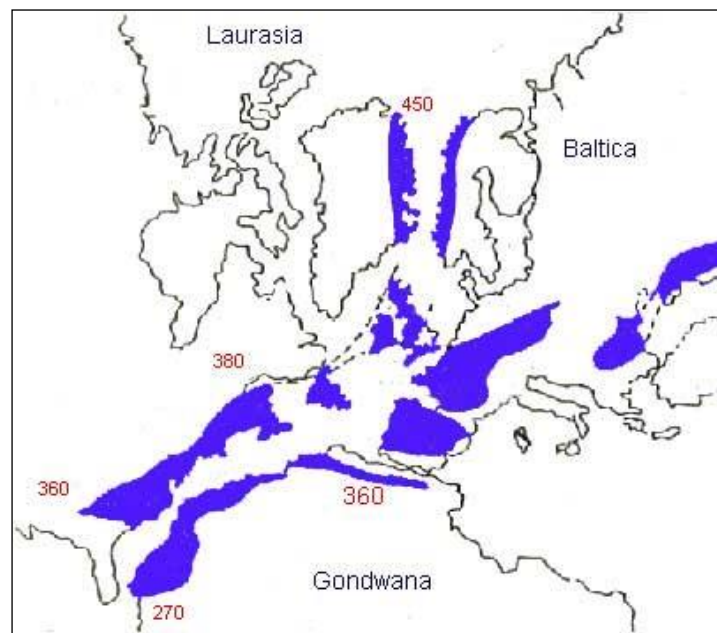


Figure 4 : Vosges : chaînes plissées d'âge primaire de part et d'autre de l'Atlantique [d'après Lemoine 1990 modifié]

Les Vosges ne sont qu'une partie de cette immense chaîne de montagne qui, il y a 400 Ma devait être comparables aux grandes chaînes de montagnes actuelles (Alpes, Himalaya)

2.2.1. Les temps anté-hercyniens du Paléozoïque inférieur (avant - 400 Ma)

Au début du paléozoïque inférieur, l'océan Téthys occupait la région des Vosges. Cette mer recouvrait alors d'anciens gneiss que l'on retrouve à Climont et à Saintes-Marie aux Mines. Les fonds marins de l'océan Téthys étaient peuplés d'éponges. Les schistes de Villé sont le reflet de cette sédimentation marine qui occupait la bordure septentrionale du Gondwana. Un bras de mer donnera naissance aux schistes de Steige.



Figure 5 : Vosges : Les schistes de Steige

2.2.2. Les prémices de l'orogénèse hercynienne : le siluro-dévonien (- 400 Ma)

Dès la fin du Silurien (- 400 Ma), la plaque Gondwana et la plaque Larussia se rapprochent sous l'effet de subduction.

Les traces de cette subduction sont marquées par **les trapps basaltiques de Raon l'Étape**, reflet d'un volcanisme calco-alkalin explosif, jusqu'au début du Carbonifère. Ces trapps ont été affectés par le plissement hercynien qui a suivi, si bien que les couches sont quasiment verticales.

Le terme de trapps, tout à fait impropre ici, désigne généralement des coulées horizontales de basalte tholéitique (issu des dorsales), donnant par érosion, un aspect de marches d'escalier. Or le basalte de Raon l'Étape n'est ni tholéitique, ni en coulées, ni en position horizontale. Toutefois, on continue à le dénommer ainsi.

La surface du front de taille où reposent les premiers dépôts sédimentaires, (datés du Permien) est très ondulée : ce qui nous montre une discordance. L'histoire de cette région est donc la suivante :

- mise en place des Basaltes lors de la subduction correspondant à la disparition de l'océan Téthys
- plissement de ces basaltes avec métamorphisation par la surrection de la chaîne hercynienne
- Erosion puis dépôt en discordance des sédiments du Permien (donc largement postérieurs).

3. GRENATS DES PERIDOTITES VOSGIENNES

3.1 Géologie

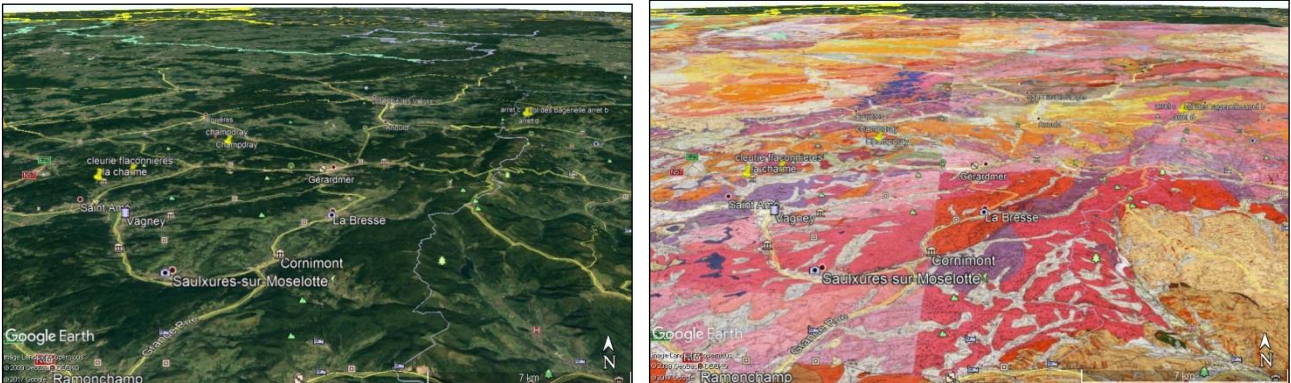


Figure 6 : Vosges : Localisation des affleurements de péridotites à grenats

3.2 Les grenats de la vallée de Cleurie

N'appartenant pas stricto sensu aux rodingites, les grenats de la vallée de Cleurie dans les Vosges, s'apparentent néanmoins à leur genèse.

Des péridotites formées dans le manteau à 50 km de profondeur ont été apportés en surface, où elles ont été partiellement serpentinisées.

Les grenats de ces péridotites sont donc des grenats de haute pression : il s'agit de pyropes.

3.2.1. Localisation du site



Figure 7 : Vosges : Affleurement de Flaconnières en bord de route

L'affleurement de Flaconnières se trouve sur la petite route parallèle à l'axe de Saint-Amé à Gérardmer. Au "Rond-point des Granitiers" (têtes sculptées en granits) prendre la direction Saint-Amé, traversé le pont, puis prendre la première à droite. Remonter la vallée de la Cleurie sur environ 4 kilomètres. L'affleurement se trouve en bord de route, côté ouest. Il est très visible, l'aspect de surface étant très sombre, la roche est bien contrastée par rapport à l'environnement. L'affleurement mesure à peine 5-6 m de long à découvert mais se prolonge vers le nord sous la végétation du talus. J'ai demandé l'autorisation de faire quelques prélèvements à la maison d'en face, autorisation qui m'a été donnée avec sympathie. J'ai donc légèrement défriché le talus, de manière à récolter deux pièces de péridotite à grenats, surtout sans endommager la partie visible de l'affleurement représenté sur la photo.



Figure 8 : Vosges : Grenats dans peridotite, et dans serpentine où seule subsiste la structure des grenats

3.2.2. Péetrographie

L'affleurement de flaconnières est principalement constitué de serpentine de couleur vert sombre, formée par l'hydratation des minéraux de la péridotite d'origine, sur laquelle on peut trouver par endroits des couches fines (quelques millimètres) de péridotite. Cette péridotite apparaît de couleur orangée caractéristique de l'altération de l'olivine de la péridotite. L'élément le plus abondant de la péridotite semble être la forstérite de couleur vert émeraude typique à vert clair, très apparente à la binoculaire, après un sérieux brossage pour éliminer la roche altérée. La présence d'orthopyroxène, entstatite, ne peut être mise en évidence avec mes moyens limités.

Sa caractéristique la plus remarquable dans le cadre de cette étude est la présence de grenats millimétriques à centimétriques.

En surface, l'altération différentielle nous offre un spectacle radicalement différent : de couleur ocre, la roche présente de nombreux "bubons" ou "brimbelles" au fort relief : ce sont les grenats.

3.3 Les grenats de La Charme

3.3.1. Localisation

Le site de La Charme se trouve sur le versant est du Massif du Fossard, au fond d'un vallon qui entaille le bord nord de la vallée de la Cleurie. Les péridotites y affleurent parmi les migmatites, en partie masquées par des dépôts glaciaires.

L'affleurement de péridotites à grenats se situe en sous-bois juste au-dessus de la ferme ruinée de La Charme.

À partir du rond-point des granitiers au Syndicat (intersection D417 et D43), se diriger vers le centre de St Amé. A 150 m, prendre à droite la D43d en direction de Cleurie. 1,3 km après le panneau "Cleurie", prendre à gauche le chemin des Feumeux, en face d'un "point tri". Monter sur environ 600 m, prendre à droite la rue du Pré Claudine, puis 100 m plus loin à gauche le chemin de La Charme.

Traverser le hameau Germainxard, et 200 m plus loin prendre à gauche vers La Charme dans un virage en épingle. Aller à l'extrémité des pâtures jusqu'à la ruine de la ferme de La Charme, où le stationnement est possible.

À pied, monter quelques dizaines de mètres pour parvenir sur les premiers affleurements (les plus spectaculaires) du massif de péridotite à grenat.

Coordonnées (Projection Lambert II étendu / NTF) : X = 921,510 km ; Y = 2348,120 km ; Z = 641 m

Attention :

Le site est en cours de classement par le [Conservatoire d'espaces naturels de Lorraine](#) (CEN Lorraine). Il est donc fortement recommandé de ne pas échantillonner directement sur les rochers. Eventuellement on pourra accepter un ramassage raisonnable de quelques fragments parmi les très nombreux blocs en contrebas.

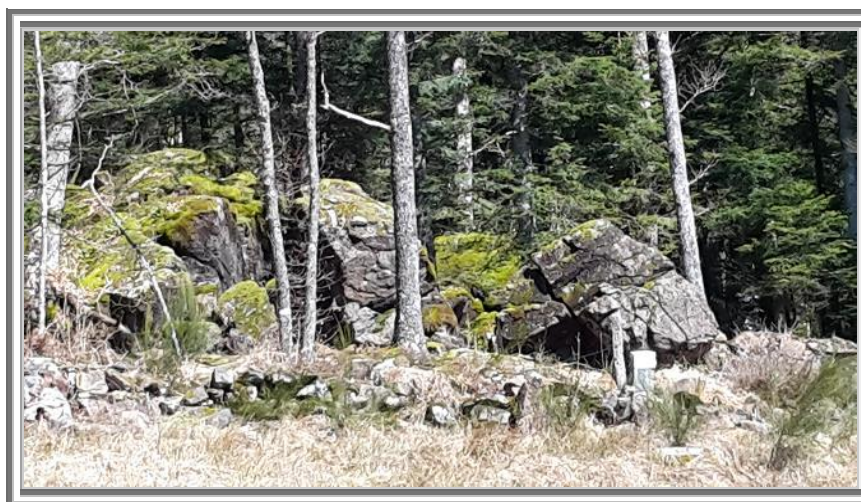


Figure 9 : Vosges : Rochers formés de péridotite à grenats (3-4 m de haut)

3.3.2. **Pétrographie**

L'affleurement est constitué de plusieurs barres rocheuses bien identifiables et accessibles, en faisant ainsi un site de choix pour une utilisation pédagogique. Les très nombreux fragments en contrebas permettent un échantillonnage aisé sans utilisation du marteau. A noter que cette roche a été utilisée pour édifier des murets autour des champs et dans la construction de la ferme aujourd'hui en ruine.

La roche à patine brune laisse apparaître des grenats nettement en relief du fait d'une altération différentielle marquée. Ce sont majoritairement des péridotites de type lherzolite (à olivine, clinopyroxène et orthopyroxène) plus ou moins serpentinées, avec des grenats millimétriques à centimétriques partiellement ou complètement déstabilisés en kélyphites.



Figure 10 : Vosges : Péridotite à grenats de La Charme.

a) À gauche, surface altérée où les grenats sont en relief ; à droite une cassure fraîche.



Figure 11 : Vosges : Péridotite à grenats de La Charme.

Plaques de grenats pyropes émergeant de la péridotite

A la binoculaire on distingue très bien des grains verts de péridotite forstérite ainsi que des grains rouges, probablement de l'orthopyroxène enstatite

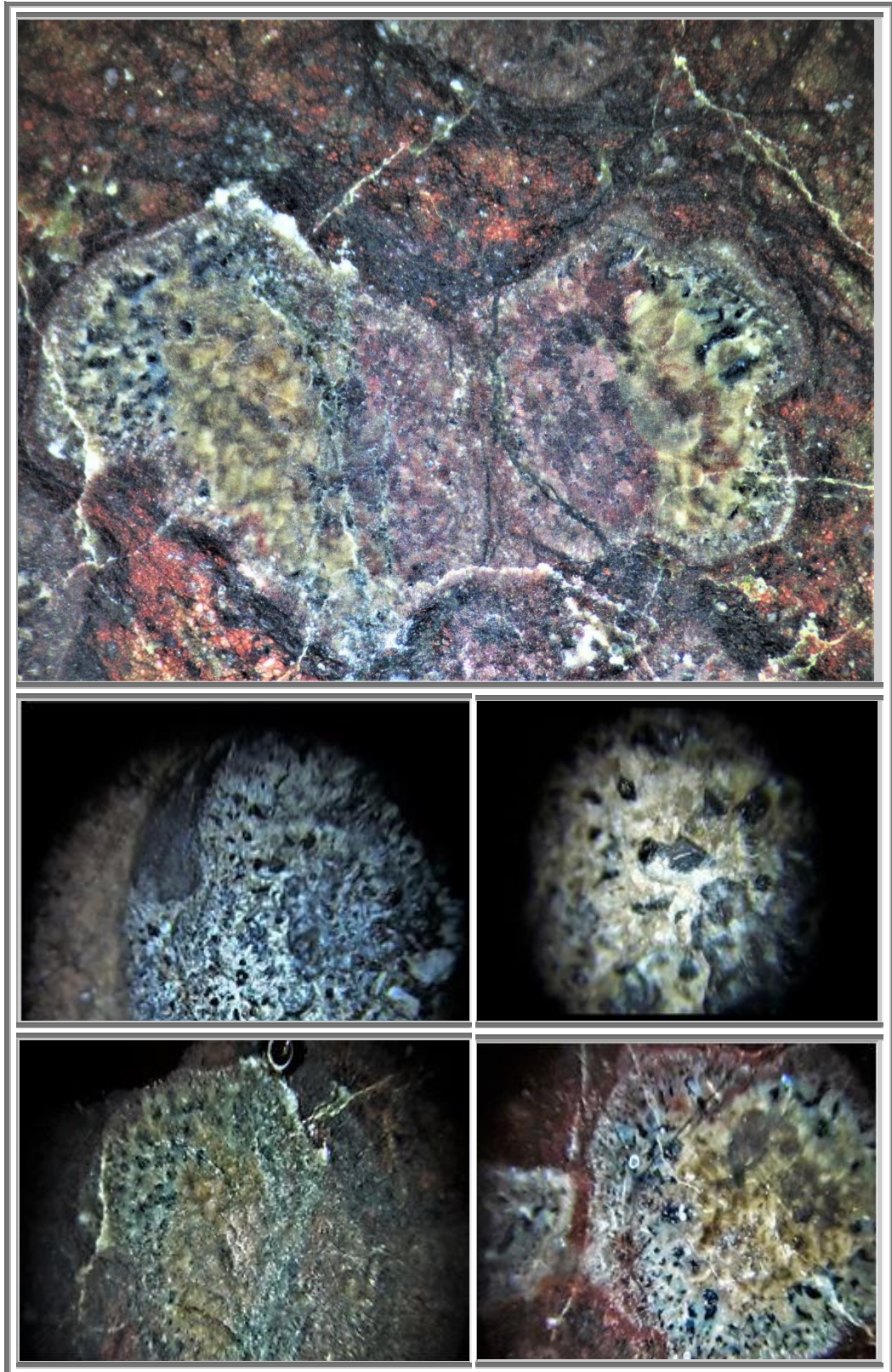


Figure 12 : Vosges : Péridotite à grenats de La Charme, cœur d'un pyrope.

Les pyropes sont zonés du cœur vers la surface avec successivement une zone verte probablement constituée de pyrope quasi pur, puis une zone riche en cristaux inclusifs dont des spinelles $MgAl_2O_4$ et enfin la surface kélyphitisée

3 vues du haut : coupe polie des péridotites faisant apparaître des grenats zoné

2 vues de bas surface de grenats érodés



**Figure 13 : Vosges : Péridotite à grenats de La Charme.
A gauche bloc de 250 mm – a droite coupe polie issue du bloc précédent**

3.4 Péridotite à grenat de Champdray

3.4.1. Localisation

La commune de Champdray se situe dans le département des Vosges entre Bruyères et Le Tholy, sur un plateau qui domine la vallée de la Vologne.

Depuis le centre du village, prendre vers le sud-est la D50, sur environ trois kilomètres, jusqu'au lieu dit Champ de Laxet. L'affleurement se trouve dans les prés à l'ouest des fermes. Pour y accéder, au niveau du calvaire, prendre la petite route qui traverse le hameau et part vers le sud-ouest. À environ 300 mètres, couper à travers les prés vers le nord.

3.4.2. Pétrographie

La péridotite affleure dans les prés sous la forme de blocs épars, plus ou moins en forme de boule.

La roche à patine brune présente une surface parsemée de nodules mis en relief par l'érosion. Cette péridotite, à l'origine composée essentiellement d'olivines, est fortement serpentinisée (hydratation des minéraux d'origine).

Les nodules sont constitués d'amphiboles et pyroxènes provenant du métamorphisme (rétrométamorphisme) de grenat (kélyphitisation, voir kélyphite). La forme et la composition chimique totale sont celles d'un grenat riche en magnésium, le pyrope. Ce minéral se met en place à partir de 20 kbar, l'équivalent de 70 kilomètres de profondeur, dans le manteau. En remontant, le minéral est déstabilisé et se transforme en un mélange d'amphibole et de pyroxène.



Figure 14 : Vosges : La péridotite : patine brune et nodules (photo BRGM)

À la surface, l'olivine serpentinisée s'altère en argile. La péridotite à grenat donne une terre d'altération de couleur fauve, bien visible dans les taupinières : leur examen permet de trouver les limites spatiales de cet affleurement de péridotites.

3.5 Grenats du col des Bagenelles

3.5.1. Localisation

Arrêt a : Péridotite à grenats de La Charme (cf paragraphe correspondant)

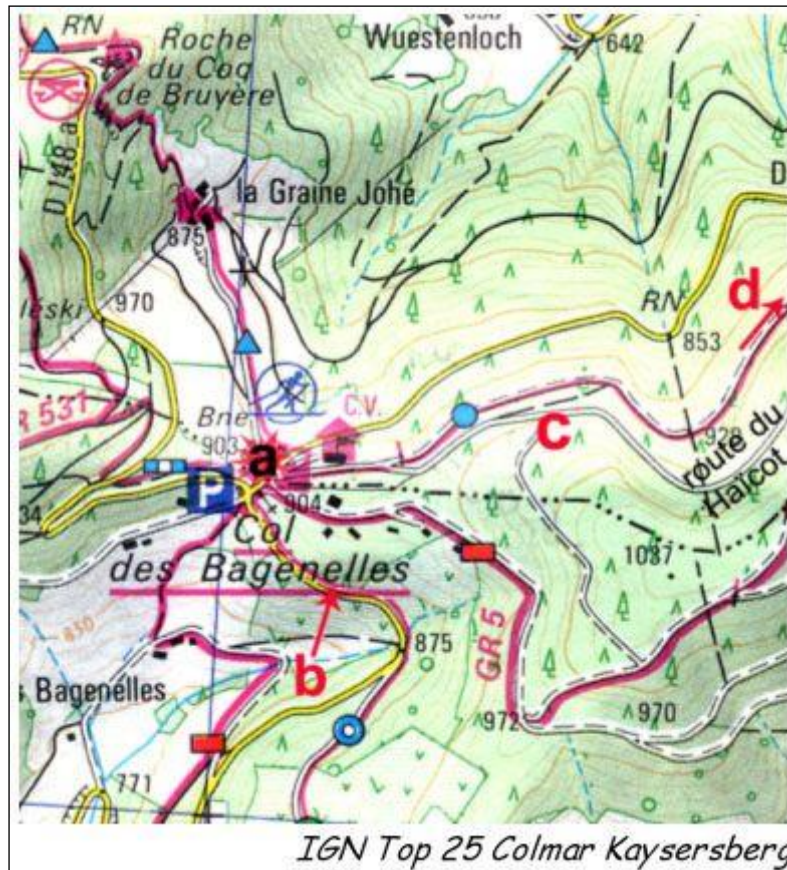


Figure 15 : Vosges : La péridotite : carte des affleurement au col des Bagenelles

3.5.2. Péetrographie arrêt b

Affleurement situé à 300m du parking du col, le long de la D48 vers Le Bonhomme (au niveau du panneau arrêt du « circuit géologique »).

Le talus de la route offre des affleurements rafraîchis de péridotite et de roches de type granulite.

La péridotite

C'est une roche sombre. A la cassure elle apparaît brune.

Les minéraux ne sont pas identifiables à l'œil nu.

Elle peut être recouverte d'une pellicule de serpentine de coloration vive verdâtre résultant de l'altération le long des diaclases de la roche. Le long des fissures fines la couleur rouge est due à la présence d'iddingsite, produit d'altération des olivines.

Au microscope, ou en section polie, la roche se révèle essentiellement composée d'olivine altérée et de quelques pyroxènes. Les cristaux d'olivine sont entourés d'un feutrage de serpentine. La roche est parsemée

de globules nombreux de 1 à 2 mm : ce sont des grenats transformés en kélyphite, un assemblage de spinelle et de fibres microscopiques d'amphibole et de pyroxène.

Les granulites

Il s'agit de roches claires blanc rosé, d'aspect massif ou folié (aspect de gneiss).

Elles sont visibles de part et d'autre de l'affleurement de péridotite.

Minéralogie, au microscope : quartz, orthose, plagioclase, grenat, et parfois un peu de biotite, de pyroxène ou de sillimanite. Ces roches ont subi un métamorphisme de très haut degré qui les fait entrer dans le « faciès granulite ». On se trouve ici dans la partie inférieure de la croûte continentale.

Remarque : les granulites ont été reconnues et décrites pour la première fois en France au col des Bagenelles par Jung puis étudiées par Von Eller.

Nota

D'après la carte géologique, les corps de péridotites apparaissent sous forme de copeaux allongés de taille variable, toujours associés aux granulites. Cette disposition se rencontre ailleurs dans les Vosges (péridotite associée aux migmatites de Gerbépal par exemple). Selon certaines interprétations, il s'agit d'écaillés de manteau insérées tectoniquement dans les racines crustales de la chaîne, lors de la collision hercynienne. La remontée ultérieure de l'ensemble a entraîné la rétro-morphose des roches et parfois la fusion partielle des granulites (à l'origine des migmatites).

3.5.3. Pétrographie Arrêt c : Péridotite de la route du Haïcot

D'autres affleurements de péridotites sont visibles le long de la route du Haïcot, à 300 - 400m du col. Cette petite route à très faible circulation permet de faire des observations sans danger.

La roche visible dans le talus est identique à celle de l'affleurement décrit en b : c'est une péridotite serpentinisée noire.

Le long de la route, on peut voir des blocs épars de granulite.

3.5.4. Pétrographie Arrêt d : Granulite

Emprunter la route du Haïcot sur 200 m, puis à gauche un chemin forestier à l'horizontale sur 1400m jusqu'à un affleurement rocheux dans un virage à droite (d sur le plan)

L'affleurement permet de faire une bonne observation des granulites et d'échantillonner. On y observe une granulite « claire » blanc-rosé, et une granulite « sombre » gris verdâtre, qui alternent en bandes contrastées.

- Granulite claire à orthose, plagioclase, quartz, grenat et parfois sillimanite
- Granulite sombre à orthose, plagioclase, quartz, grenat, biotite et pyroxène. La teinte sombre est due à une coloration en masse des quartz et feldspaths.

3.6 Les péridotites

3.6.1. Généralités

Les péridotites ne sont ni des roches magmatiques ni des roches plutoniques.

Les péridotites sont des roches essentiellement formées de péridots, minéraux dont le représentant le plus commun est l'olivine, $(Mg,Fe)_2[SiO_4]$, qui leur donne sa couleur verte, et de pyroxènes (minéraux sombre à noirs).

Elles se forment dans le manteau, au-delà de 40 kilomètres de profondeur sous l'écorce terrestre

Les péridotites sont le principal constituant du manteau terrestre dont elles représentent près de 80% du volume. Mais du fait de leur localisation mantellique, elles ne sont visibles que sur de rares affleurements.

Les péridotites sont issues d'un refroidissement lent du magma, en profondeur, les cristaux ont donc tout le loisir de se former puis de croître, conférant ainsi aux péridotites, une structure grenue.

3.6.2. Composition

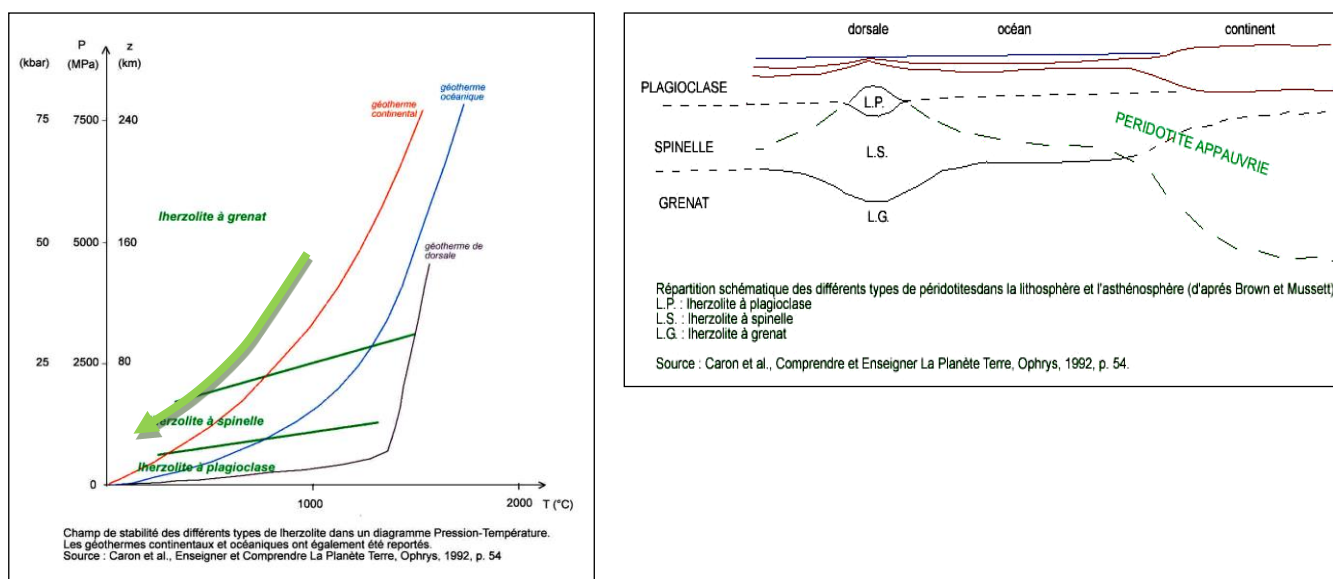
La minéralogie des péridotites change en fonction de la profondeur. Les péridotites sont des roches du manteau qui ne cessent de monter et descendre avec des changements minéralogiques en fonction des conditions P-T qu'elles subissent.

Un exemple d'analyse chimique d'une **herzolite** à grenats (dont fait partie la roche mère des péridotites à grenats des Vosges), en éléments majeurs donne comme composition en pourcentages massiques d'oxydes (J.M. Caron et al., Comprendre et Enseigner La Planète Terre, Ophrys, p. 53) :

- | | | |
|----------------------------|---|----------------------------|
| • SiO ₂ : 45,3% | • Al ₂ O ₃ : 3,6% | • MnO : 0,1% |
| • MgO : 41,3% | • CaO : 1,9% | • Na ₂ O : 0,2% |
| • FeO : 7,3% | • TiO ₂ : 0,2% | • K ₂ O : 0,1 |

En fonction de la profondeur où les péridotites se trouvent, le minéral dans lequel leur aluminium entre le plus facilement est (valeurs de pression extraites de Bernard Bonin, *Pétrologie Endogène*, Dunod, p.55) :

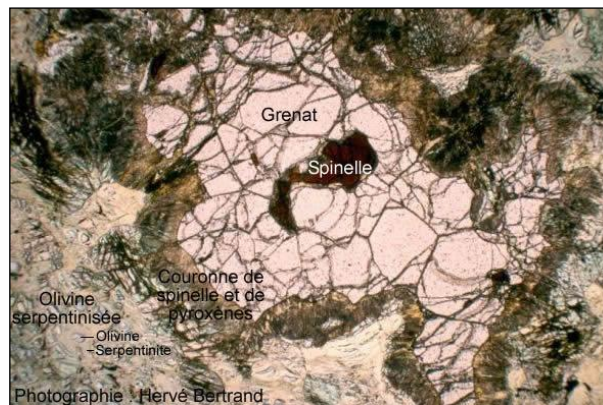
- le **feldspath plagioclase** (CaAl₂Si₂O₈) de 0 à 10 kbar (=1 GPa), soit de 0 à 30-40 km ;
- un **spinelle**, minéral non silicaté, intermédiaire entre un pôle magnésien (MgAl₂O₄) et un pôle magnésio-ferreux ([Mg, Fe] Al₂O₄), de 10 à 20 kbar (=2 GPa), soit de 30-40 à 60-70 km ;
- le **grenat** pyrope (Mg₃Al₂[SiO₄]₃) au delà de 20 kbar (=2 GPa), soit au-delà de 60-70 km.



**Figure 16 : Vosges : péridotite : Domaines de stabilité des différentes péridotites
Trajectoire supposée des péridotites au sein du manteau**

Il est possible d'observer dans certaines péridotites les traces de leur passage dans les différents champs de stabilité, comme pour les péridotites de La Charme :

Sur cette lame mince de péridotite observée en lumière polarisée non analysée, le spinelle (brun-rouge) est entouré de grenat (incolor), lui-même entouré d'une couronne (brune) composée d'un assemblage de pyroxènes et de spinelle (= couronne de kélyphite). Cette péridotite à spinelle est passée dans le champ de stabilité des péridotites à grenat, puis est revenue dans celui des péridotites à spinelle. C'est au cours de ce dernier trajet que la réaction $olivine + grenat \leftrightarrow orthopyroxène + pyroxène + spinelle$ a conduit à la formation de la couronne de kélyphite. L'olivine serpentinisée est bien visible dans le coin inférieur gauche de la photographie.



**Figure 17 : Vosges : péridotite : Péridotite du Bois des feuilles (Monts du Lyonnais), LPNA
Droits réservés - © 2003 Hervé Bertrand**

3.6.3. Sites

On trouve des péridotites dans plus d'une centaine de volcans du Massif Central, ce sont les plus "fraîches" car elles ne sont absolument pas serpentinisées.

On en trouve aussi, plus ou moins serpentinisées :

- dans les ophiolites alpines
- dans les ophiolites hercyniennes, que l'on trouve un peu partout sous forme d'affleurements dispersés dans le Massif Armoricain, dans le Massif Central, dans les Vosges, dans les massifs cristallins externes des Alpes
- le long de la Faille Nord-Pyrénéenne, dont le fameux gisement de Lherz qui a donné son nom à la lherzolite.

3.7 Pétrologie vosgienne

3.7.1. Formation

La roche mère de ces gisements de péridotites à grenats des Vosges était à l'origine une lherzolite à grenat du pôle pyrope.

Les études thermo-barométriques conduisent à des conditions initiales de températures comprises entre 1000 et 1200°C pour des pressions allant de 4 à 6 GPa, ce qui correspond à des profondeurs de l'ordre de 150 km.

Ces péridotites à grenats ne se trouvent en affleurement dans les Vosges que sous forme d'écaillés parfois associées à des roches crustales hautement métamorphisées, comme au col des Bagenelles. Elles sont le témoin d'une surrection verticale très importante des formations encaissantes qui s'est produit lors de l'orogénèse varisque (- 330 Ma). Un écaillage en contexte de collision a provoqué l'enclassement de ce petit fragment de péridotite mantellique sous-crustale.

Ultérieurement, à la faveur de compensation isostatique, d'érosion et de processus tectoniques plus récents, cette écaille a été mise à l'affleurement.

3.7.2. Serpentinisation de la péridotite

La plupart des échantillons récoltés présentent des traces explicites de cette surrection : diaclases et parfois des failles.

La péridotite a souvent été métamorphisée en serpentinite, sous l'effet de la chaleur et d'une hydratation importante (cf chapitre sur la subduction). Il s'agit donc de métamorphisme hydrothermal.

La péridotite à grenat serpentinisée de Flaconnières (notée "pi-g") est un petit affleurement (quelques mètres) inclus dans des roches migmatitiques (notées "M2") issues de la lithosphère continentale inférieure.

3.7.3. **Cristallisation des grenats**

Cet ouvrage ayant pour but de présenter autant que possible les grenats dans toute leur diversité, nous allons nous attarder quelque peu sur ces grenats des péridotites vosgiennes.

Ces grenats ont en effet la particularité d'être des pyropes, pôle magnésien des pyralspites.

Les pyropes purs ne contiennent aucun élément chimique de la série des éléments ayant des couches électroniques d ou f incomplètes, ils n'ont donc pas de coloration idiochromatique, et sont naturellement incolores.

Mais, comme présenté dans le livre relatif à la couleur des grenats, les pyropes ne sont jamais réellement purs, et quelques pour cents d'almandin à l'intérieur des pyropes leur confèrent très rapidement une couleur allochromatique rouge à pourpre.

Dans les Vosges, les pyropes ont une teinte jaune à vert. Ils doivent donc avoir une composition proche du pôle magnésien pur des pyralspites : $Mg_3Al_2[SiO_4]_3$. En l'absence de bibliographie sur cette composition, nous en resterons là.

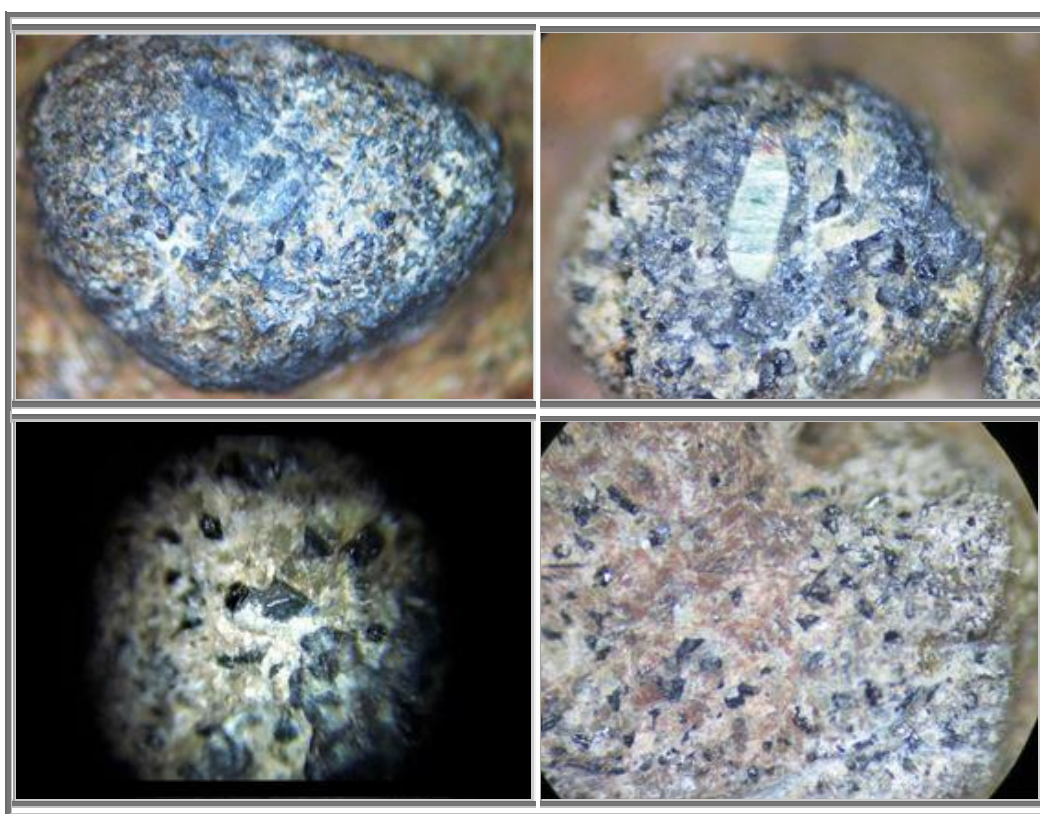


Figure 18 : Vosges : Péridotite à grenats de La Charme.

Les grenats pyropes présentent une zonation très marquée avec en surface des feldspaths plagicolases et surtout des spinelles de couleur noire. Il est à souligné que ces grenats ayant été partiellement érodés, la couche surfacique kélyphite a souvent été éliminée.

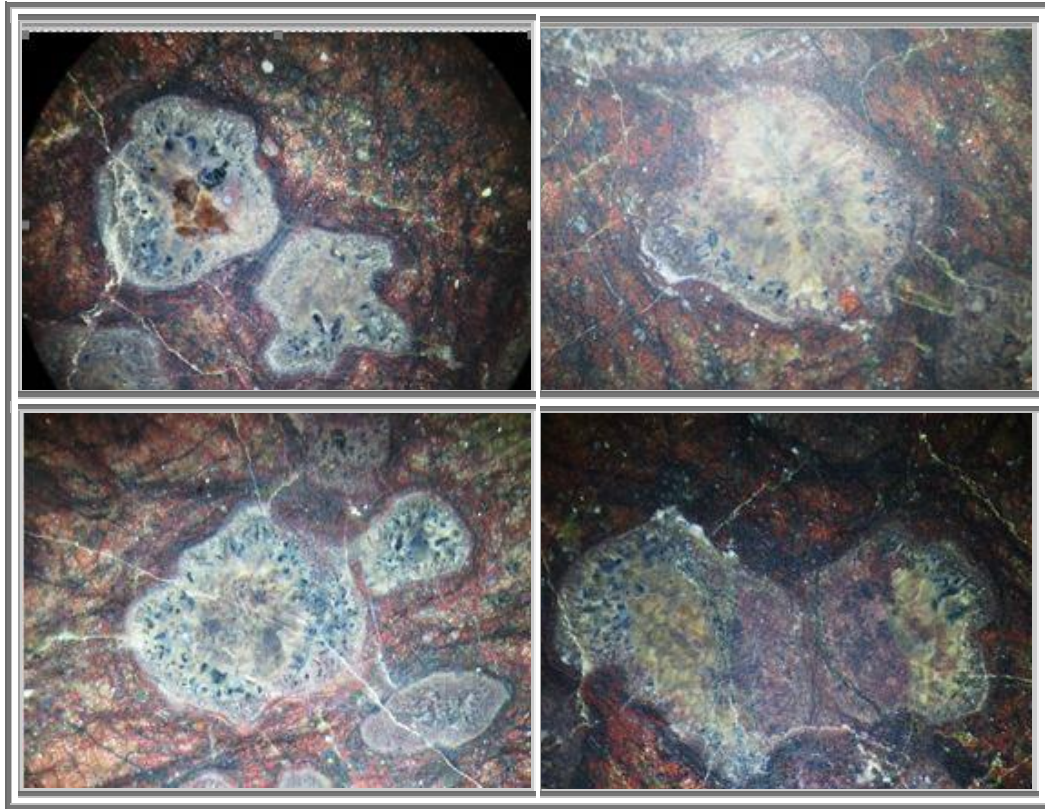


Figure 19 : Vosges : Coupes de péridotites à grenats de La Charme.

La zonation très marquée des grenats des péridotites vosgiennes montre clairement du cœur vers la surface, une zone jaune verdâtre de pyrope, puis une couche riche en spinelle, et enfin la couche surfacique kélyphitisée des grenats, qui apparaît en brun sur ces photos

Le paragraphe sur les péridotites a permis de visualiser les évolutions de profondeur que pouvaient subir une péridotite.

La bibliographie précise que les péridotites vosgiennes se sont formées à 150 km de profondeur : ce qui correspond au domaine de formation des grenats au sein des péridotites.

Toutefois, la structure des pyropes des péridotites vosgiennes présente une zonation très marquée avec en surface des feldspaths plagioclases et surtout des spinelles de couleur noire. Il est à souligné que ces grenats ayant été partiellement érodés, la couche surfacique kélyphitisée a souvent été éliminée, sinon cette couche est de couleur brune en coupe et verte au naturel.

Ces couches successives permettent de définir le trajet des grenats :

- Phase 1 :
Les grenats ont une taille assez significatives (de 5 à 8 mm), ils ont donc eu le temps de nucléer puis de croître.
En revanche, la péridotite présente uniquement des petits grains : il y a donc eu davantage nucléation que croissance, la température ne devait pas être très élevée.
- Phase 2 :
La présence de spinelle indique que la pression auxquelles a été soumise les péridotites a diminué jusqu'à franchir la limite du domaine de stabilité grenat-spinelle. Les péridotites sont donc montées jusqu'à une profondeur de 60-70 km.
Comme il y a de nombreux cristaux de spinelle, il y a eu probablement nucléation importante en raison d'une surconcentration (cf livre sur les pegmatites), ce qui signifie que la montée des péridotites a été assez rapide et a atteint nettement dépassé la pression seuil de formation des spinelles.
La présence de quelques cristaux de feldspaths plagioclases, confirme que la pression minimale subie par les péridotites des Vosges est de l'ordre de 8 kbar soit une profondeur de 25 km environ.
- Phase 3 : surrection
La surrection a du être rapide puisque les plagioclases n'ont pas pu cristalliser.

4. LES GRENATS DE RAON L'ETAPE

4.1 La carrière

Carrière exploitée pour son trapp bleu (le terme désignait les roches foncées à pâte fine), et plus précisément d'andésite, il s'agit en fait d'une coulée volcanique interstratifiée.

Historique : Les carrières de Raon-l'Étape ont été ouvertes à la fin du XIX^{ème} siècle ; plusieurs sociétés vont, à partir de 1884, se succéder. La dernière est la *Carrière de Trapp* qui a rejoint le groupe *Nicolas* depuis 1999. C'est en 1974 que des échantillons de grenats d'une taille peu commune sont extraits, l'exploitation ayant recoupé un skarn. La découverte comprenant surtout des grenats grossulaire/andradite, brun clair, châtain, verts, ainsi que de l'épidote, de la préhnite, de l'apophyllite, de la datolite, de la wollastonite, de la pectolite, ou encore de la vésuvianite.

Depuis, malheureusement, aucune découverte équivalente n'a été faite.



Figure 20 : Vosges : Vue du ciel de la carrière de trapp de Raon l'Étape



Figure 21 : Vosges : Vues de la carrière de trapp de Raon l'Étape

La carrière de *trapp* fourni le ballast pour les voies du TGV.

4.2 Les inventeurs



Philippe Michelin en compagnie d'André Fays et Roberto Cois (en pull noir), la personne qui a découvert les grenats en 1974. Il aura fallu plus de 40 ans pour trouver une nouvelle poche à grenats.
<http://amethyst.centerblog.net/26-garnets-of-the-quarry-named-quarry-trapp-from-raon-etape>

4.3 Les grenats



65 x 40 mm
Collection & photo: Alain TUEL
Copyright: © Alain TUEL Photo ID: 294516
Type: Photo - 2287 x 1716 pixels (3.9 Mpix)



70 mm x 60 mm x 55 mm
Weight: 342 g
Découverte récente cf ci-avant
Copyright: © Philippe Michelin Photo ID: 707505
[Philippe Michelin Amethyst's](#)
Type: Photo - 1200 x 1200 pixels (1.4 Mpix)



40 mm x 35 mm x 30 mm
Copyright: © Philippe Michelin Photo ID: 707501
Uploaded by: [Philippe Michelin Amethyst's](#)
Type: Photo - 1200 x 1200 pixels (1.4 Mpix)



30 mm x 28 mm x 25 mm
Copyright: © Philippe Michelin Photo ID: 707504
[Philippe Michelin Amethyst's](#)
Type: Photo - 1200 x 1200 pixels (1.4 Mpix)

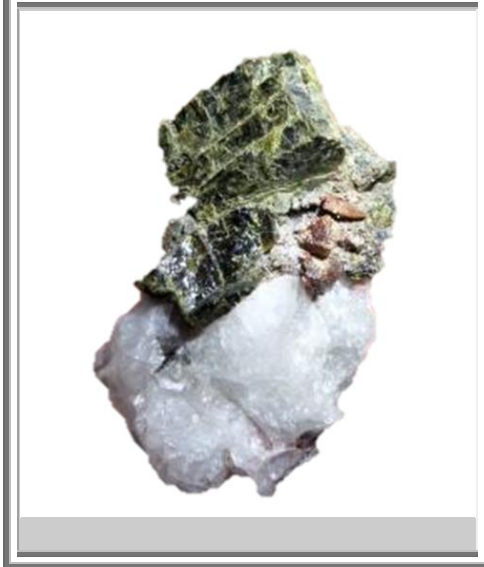


Dimensions: 110 mm x 95 mm x 75 mm

Weight: 937 g

Copyright: © Philippe Michelin Photo ID: 760540 [Philippe Michelin Amethyst's](#)

Type: Photo - 1280 x 960 pixels (1.2 Mpix)



Dimensions: 50 mm x 30 mm x 25 mm

Weight: g

Copyright: © Alain ABREAL
Grenat, calcite et epidote

Figure 22 : Vosges : Grenats de Raon l'Étape

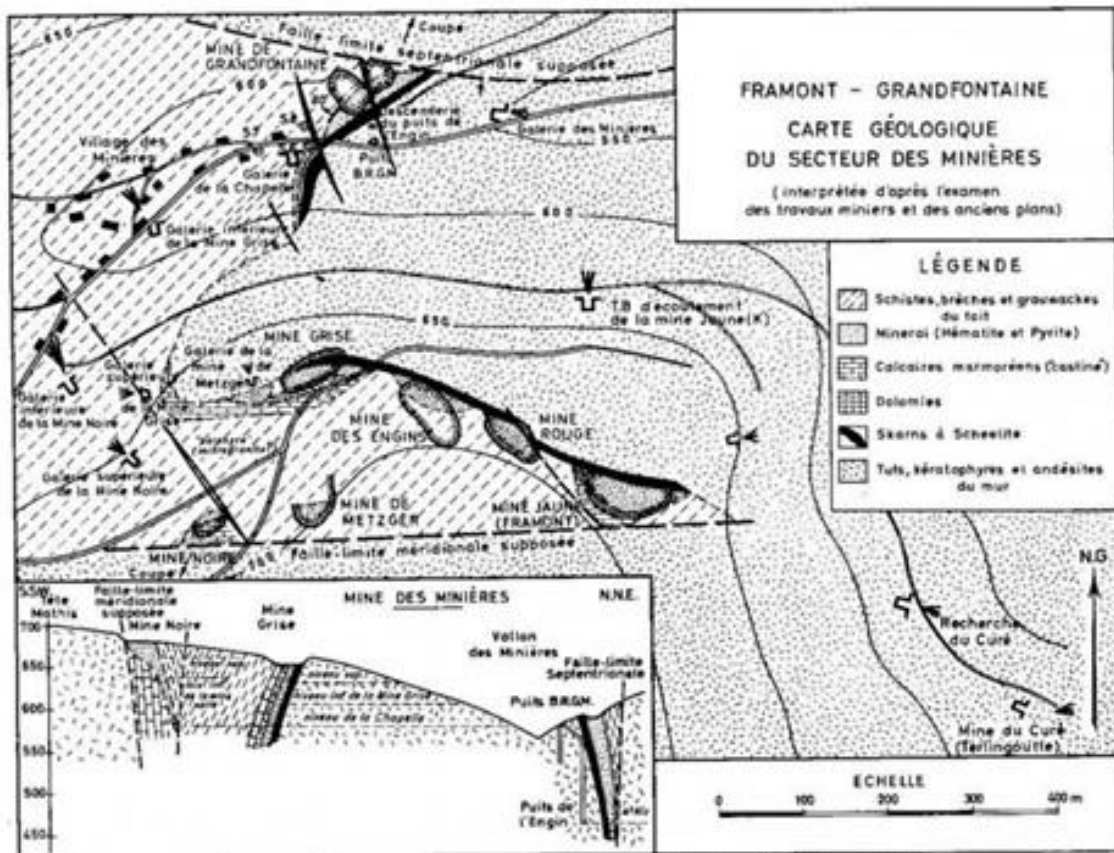
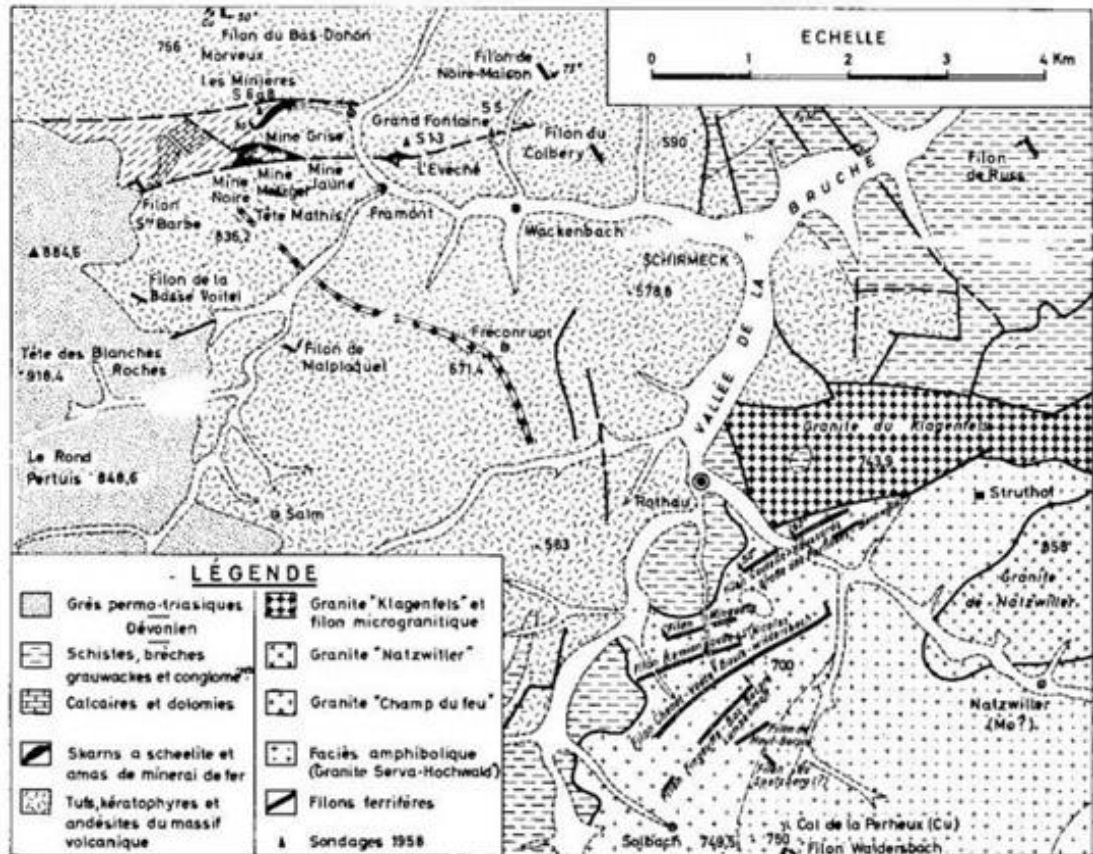


Figure 25 : Vosges : carte géologique de la région de Grandfontaine

5.1 Historique

Les travaux des minières sont constitués d'un grand réseau souterrain avec des skarns à grenat, scheelite et actinote ainsi qu'un amas de pyrite.

Découvertes en 1260 à Framont, les mines de fer de Grandfontaine firent la fortune des Princes de Salm, possesseurs des lieux, qui purent les exploiter durant plusieurs siècles. (Exploitation du 12^{ième} au 18^{ième} siècles).

La Société des Forges de Framont fut dissoute en 1863.

Une portion du réseau minier est visitable.

On distingue plusieurs zones d'extractions :

la carrière de Grandfontaine, les travaux des minières, les travaux du BRGM, les travaux de la Chapelle, la mine grise, la mine des engins, la mine rouge, la mine jaune, les travaux du curé, la mine noire et la mine de Metzger.

- les travaux du BRGM eurent lieu en 1961 afin de déterminer si les minéralisations à tungstène étaient exploitables. Un puits de 40 m et une galerie de 200 m ne donnèrent pas de résultats positifs.
- les travaux de la Chapelle contiennent la même minéralisation que les travaux des minières.
- la mine grise est un amas minéralisé d'hématite rouge avec des géodes de cristaux de carbonates et de barytine. Le cuivre abondant y apporte de la chalcopryrite et des lentilles de bornite.
- la mine des engins contient aussi un amas d'hématite rouge.
- la mine rouge : hormis l'hématite, on y a trouvé une grande quantité de dolomie.
- la mine jaune : elle contient un amas de 140 m sur 7 m d'hématite brune. La grenatite y a fourni les phénacites et la bertrandite.
- les travaux du curé sont des filonnets avec remplissage de quartz et minéralisations à Cu, Pb, Bi, Te et Mo.
- la mine noire et la mine de Metzger sont des amas d'hématite terreuse avec oxydes de manganèse.

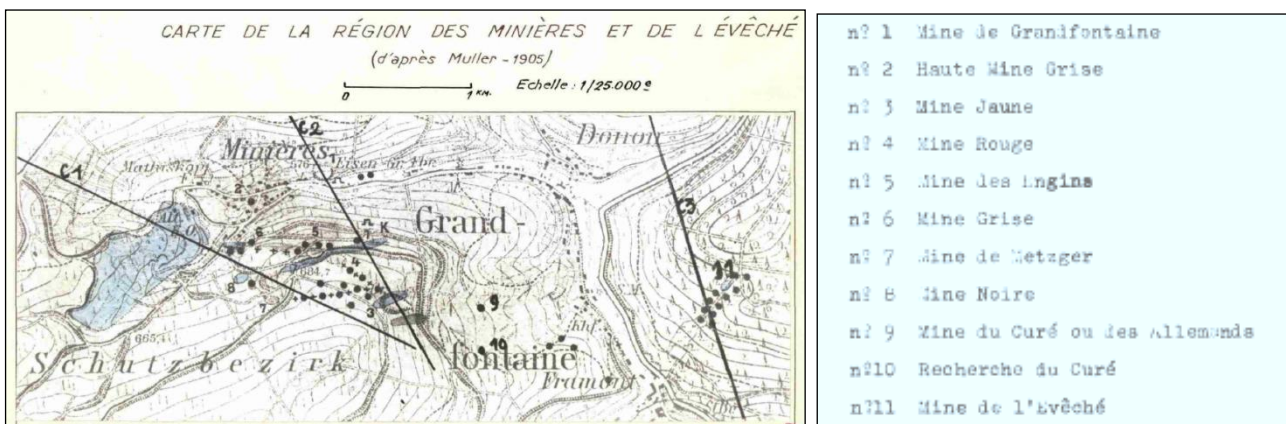


Figure 26 : Vosges : localisations et repères des mines de Framont Grandfontaine d'après Lucien Burnol, 29 mai 1954



**Figure 27 : Vosges : Localisation des mines des Minières et des gisements de grenatites (marron)
d'après Lucien Burnol, 29 mai 1954**



**Figure 28 : Vosges : Localisation de la mine de l'évêché
Située sur la colline en face des autres mines, comme la mine de Grandfontaine**



Figure 29 : Vosges : Vues sur la mine de Grand fontaine et la mine jaune

5.2 Pétrographie - Pétrologie

5.2.1. Les skarns

Les skarns à grenats sont essentiellement formés par de l'andradite en plages jointives idioblastiques ou hypidioblastiques de dimensions variables, les interstices entre les grenats étant occupés par de la clacite, de la chlorite, du quartz et souvent par du feldspath potassique et des minerais opaques. Mêmes dans ces roches non altérées, on observe presque toujours une tendance à la résorption des grenats par les minéraux intersticiels. Les plages de scheelitye sont généralement incluses dans le grenat. Elles renferment parfois des inclusions de grenat ou des apophyses profondes de ce minéral incomplètement englobées lors de la croissance. Mais il arrive que les parois de géodes à remplissage de calcite soient constituées à la fois par des cristaux idiomorphes de scheelite et de grenat. Il est donc probable que la scheelite et le grenat soient des minéraux contemporains.

Les skarns altérés sont les plus fréquents. Les silicates de première consolidation (pyroxènes et grenats) sont entièrement pseudomorphosés. Outre les substitutions sélectives des silicates, l'altération se manifeste surtout par l'intensité des phénomènes de remplacement qui intéressent les skarns de façon diffuse ou localisée. Les minéraux tardifs de remplacement sont surtout les minerais opaques, la fluorine, la calcite, le quartz, le feldspath potassique. Ces minéraux donnent tantôt l'impression d'imbibé finement la trame silicatée, tantôt ils se développent en taches et veines pénétrant et corrodant les minéraux antérieurs de nombreux microcanaux, formant des accumulations et des couronnes de remplacement autour du grenat et parfois de la scheelite. Le remplacement du grenat par le quartz, la calcite et le feldspath potassique est fréquent et peut être sélectif, limité à certaines zones concentriques d'accroissement. L'altération de certains skarns est si complète que l'on devine difficilement la nature de la roche originelle.

5.2.2. Pétrographie

De la pyrite et de l'hématite de Framont ont été extraites, en 40 ans au cours du XIXe siècle, 90 000 tonnes de minéral. La pyrite abonde encore de nos jours en « cubes » de plusieurs centimètres

La décomposition de la pyrite entraîne la formation de mélangite, le sulfate de fer, en croûtes fibreuses vert clair.

La paragenèse hydrothermale s'étant déposée en remplacement de lentilles de dolomie, les carbonates sont rares.

La minéralisation est très diverse : il y a eu formation de skarns puis, imprégnation hydrothermale La minéralisation est très diverse : il y a eu formation de skarns puis, imprégnation hydrothermale métasomatique de lentilles de dolomite par de l'hématite et de la pyrite.

Il a été ainsi possible d'identifier actinote, hornblende, hématite, magnétite, pyrite, ainsi que pyrrhotite, phénacite, bertrandite, mélangite, pyrolusite, manganite, calcite, barytine, fluorine, bornite, chalcopryrite, tétraédrite, tennantite, cuivre natif, cuprite, malachite, chrysocolle, langite, scheelite, ...

Et surtout concernant les grenats, grenat (grossulaire et almandin) : de 0,5 à 1 cm, pyroxène (hédénbergite) : en cristaux centimétriques et épidote : en prismes.

5.2.3. Pétrologie

Bouladon et al (1964) expliquent la genèse du gîte de la manière suivante.

Située dans la vallée de la Bruche, haut-lieu de la géologie régionale, la dépression de Grandfontaine est un domaine volcanique ancien, formé au Dévonien. Les laves ont été recouvertes ensuite par des dépôts sédimentaires qui ont été déformés par plissement et redressés presque à la verticale lors de la formation de la chaîne hercynienne vers la fin du Primaire.

Cette chaîne fut par la suite arasée par l'érosion et recouverte par des grès rouges au début du Secondaire, avant d'être à nouveau soulevée en bloc au Tertiaire.

L'effondrement du fossé rhénan eut pour conséquence le surcreusement des vallées qui, en entaillant les grès puis les roches du primaire, mit à découvert les terrains anciens.

Au-dessus de ces assises volcaniques se rencontre une couche discontinue de skarns, immédiatement surmontée par des lentilles de calcaire et surtout de dolomie, auxquelles est superposée une épaisse série sédimentaire de schistes et de grauwackes. Certains des constituants d'une grande partie de ces roches ont été recristallisés par élévation de la pression et de la température, sous l'effet de l'intrusion en profondeur d'un

magma granitique chaud (métamorphisme de contact). Bien que ce granit soit resté caché, il a apporté l'énergie thermique ainsi que des éléments métalliques tel le tungstène par infiltration et diffusion.

Puis, il y a eu une phase ultérieure de circulation d'eaux chaudes, chargées de fer dissout qui ont apporté les amas juxtaposés de pyrite et d'hématite, en remplacement partiel des dolomies (processus hydrothermal) et ont ainsi concentré de grandes quantités de minerais de fer, jusqu'à formé un gisement exploitable.

5.2.4. Formation des grenats

Isabelle Hugon dans son rapport de mars 2017, intitulé « Les grenats de Perpignan » a précisé au sujet des grenats des skarns du massif de Costabonne que de beaux cristaux idiomorphes (ou automorphes) ont pu croître librement dans les cavités du skarn.

D'après les études et analyses effectuées par le BRGM dans les années 60, les grenats se sont formés en trois étapes successives, chacune d'entre elles conduisant à une composition différente :

- 1^{ère} génération : grenat proche du pôle andradite pur : $\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$
- 2^{ème} génération : grenat avec une tendance mixte grossulaire/andradite : $(\text{CaFe})_3(\text{SiO}_4)_3$
- 3^{ème} génération : grenat des cavités géodiques, grossulaire $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$

Dans le cadre des skarns vosgiens, il semble qu'il y ait une classification similaire. Comme j'ai pu l'écrire dans ce recueil, la couleur des grenats est bien corélée à leur composition, de même la forme des cristaux est assez bien représentative de leur genèse. A partir de ces corollaires, si la grenatite de base de la mine jaune est très certainement constituée d'andradite quasiment pure, les petites géodes observées dans les haldes devraient davantage être parsemées de cristaux de grossulaires $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ et d'almandins $\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$. Les auteurs, eux-mêmes ne sont pas unanimes sur la composition des grenats qui accompagnent les andradites ; certains document parlent d'andradite et de grossulaire, d'autres d'andradites et d'almandins. Pour ma part, je penche pour la présence des deux, selon si le calcium dolomitique a été ou non remplacé par le fer de l'hématite.

Références

Travaux de Cyrille DELANGLE <http://lesvosges.blogspot.fr/2006/10/affleurement-de-la-valle-de-cleurie.html>

HAMEURT J., 1967, Les terrains cristallins et cristallophylliens du versant occidental des Vosges moyennes, Mémoire du service de la carte géologique d'Alsace et de Lorraine, n°26 (à ne consulter que pour les aspects pétrographiques et chimiques des roches).

FLUCK P., 1978, 1979, 1980, Vue nouvelle sur la géologie des Vosges moyennes d'Alsace et son apport pour l'histoire de la chaîne varisque, condensé de la thèse de M.Fluck, Bulletin de la société d'Histoire Naturelle de Colmar 57e volume.

FLUCK P., PIQUE A., SCHNEIDER JL. et WHITECHURCH H., 1991, Les massifs anciens de France- II, Le socle vosgien, Sciences géologiques, Bull. 44, 3-4, page 207-page 235.

FLUCK P., PIQUE A., SCHNEIDER JL. et WHITECHURCH H., 1994, The Vosges massif, in Pre – Mesozoic geology in France and related areas, p416–425

Parc naturel régional des Ballons des Vosges, Guide pédagogique - La géologie du massif vosgien et du fossé rhénan, 2007.

<http://amethyst.centerblog.net/26-garnets-of-the-quarry-named-quarry-trapp-from-raon-etape>

Lucien Burnol, 29 mai 1954, Etudes des anciennes mines de Framont et de l'évêché (Bas-Rhin) et de leur minéralisation en tungstène

ALPHONSE TAESCH, Le gisement de fer de Grandfontaine la mine des minières, Anschrift des Verfassers: 152, route de Bischwiller, F-67300 Schiltigheim

Isabelle Hugon n° 812862 Rapport de diplôme mars 2017 « Les grenats de Perpignan »

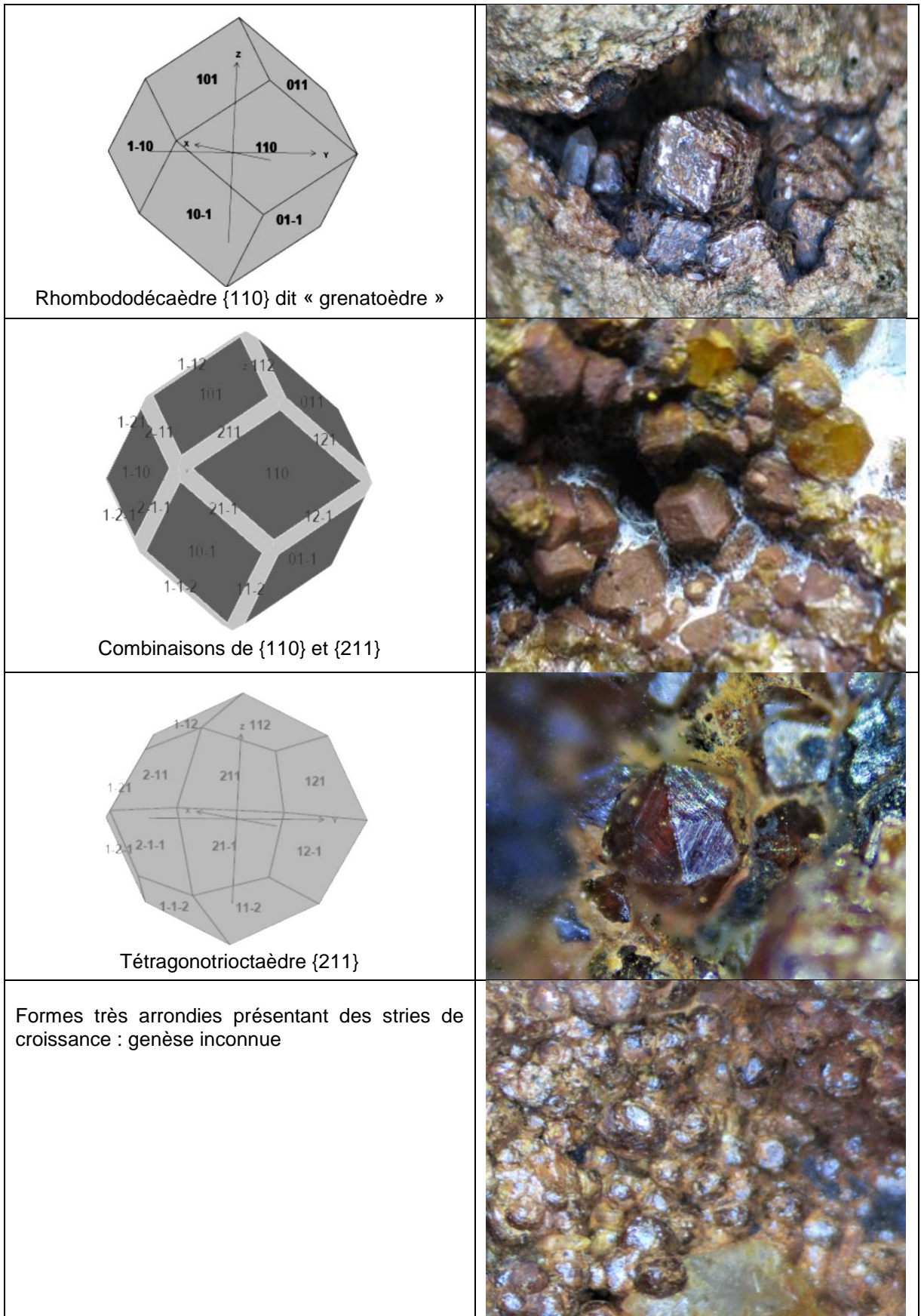
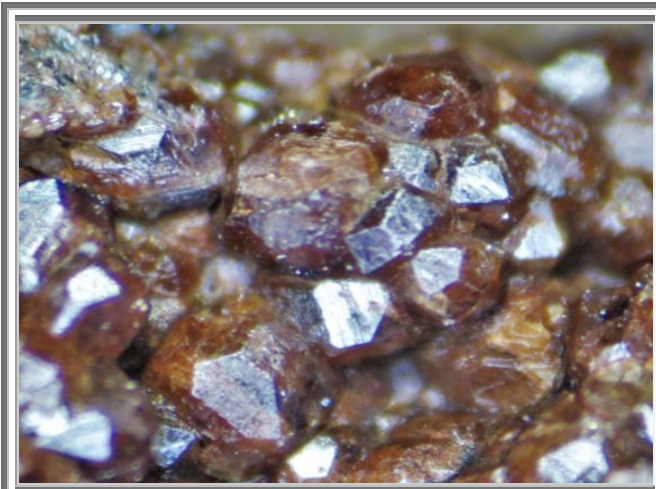
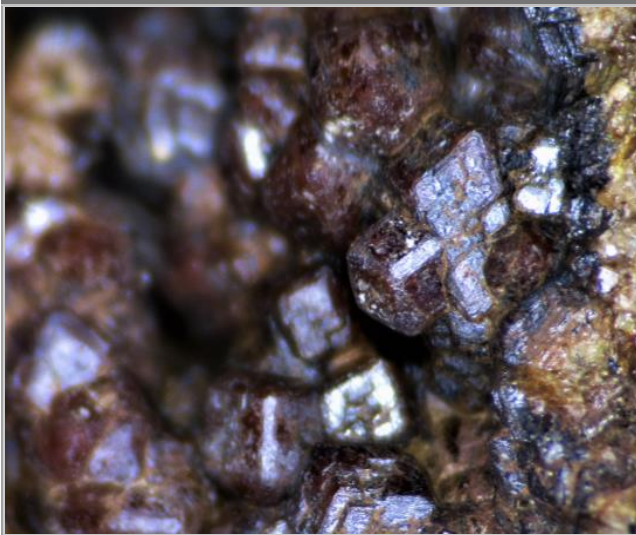


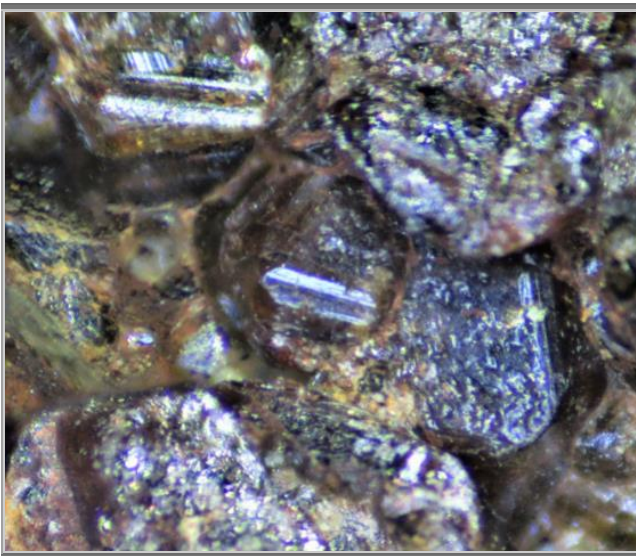
Figure 30 : Vosges : Formes des grenats de Framont Grand-Fontaine



Couleur orange, transparent
Abondante
Grand-Fontaine – Mine jaune des Minieres
Champ : 3 mm
Collection : perso

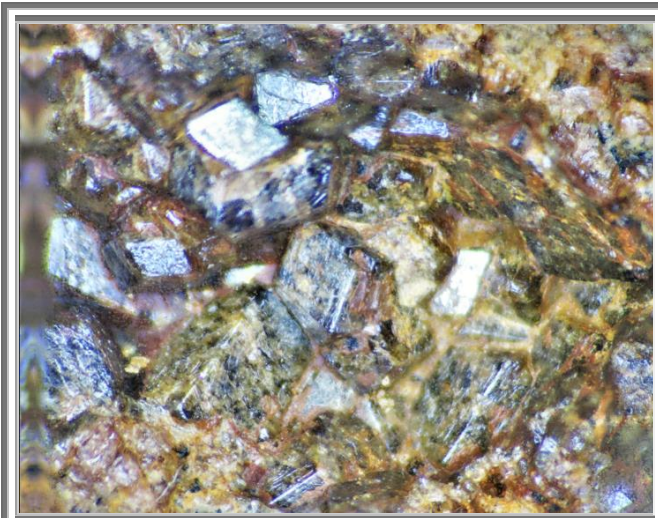


Couleur rouge, translucide à opaque
Rare
Grand-Fontaine – Mine jaune des Minieres
Champ : 3 mm
Collection : perso



Couleur jaune-brun, transparent
Rare
Grand-Fontaine – Mine jaune des Minieres
Champ : 3 mm
Collection : perso

Figure 31 : Vosges : Couleurs des grenats de Framont-Grandfontaine



Couleur brun-vert, translucide à opaque,
veiné
Très abondante
Grand-Fontaine – Mine jaune des Minieres
Champ : 8 mm
Collection : perso



Couleur brun, opaque, veiné
Abondante
Grand-Fontaine – Mine des Minieres
Champ : 12 mm
Collection : perso



Couleurs verte et jaune, transparent
Très rare
Grand-Fontaine – Mine jaune des Minieres
Champ : 3 mm
Collection : perso

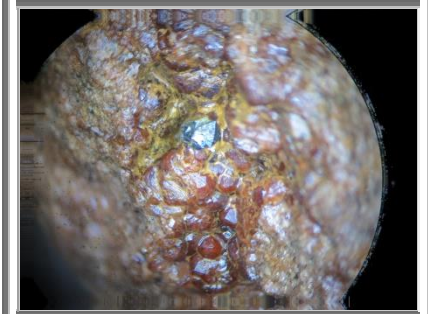
Figure 32 : Vosges : Couleurs des grenats de Framont-Grandfontaine



Avec hédenbergite
Grand-Fontaine – Mine jaune des Minieres
Champ : 10 mm
Collection : perso



Avec quartz
Grand-Fontaine – Mine jaune des Minieres
Champ : 13 mm
Collection : perso



Avec magnétite (octaèdre)
Grand-Fontaine – Mine jaune des Minieres
Champ : 4 mm
Collection : perso



Avec quartz et magnétite (octaèdre)
Grand-Fontaine – Mine jaune des Minieres
Champ : 8 mm
Collection : perso

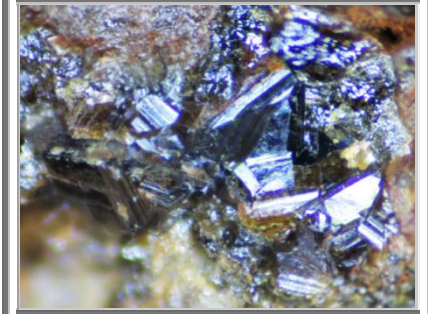


Avec actinote ? rose
Grand-Fontaine – Mine jaune des Minieres
Champ : 25 mm
Collection : perso

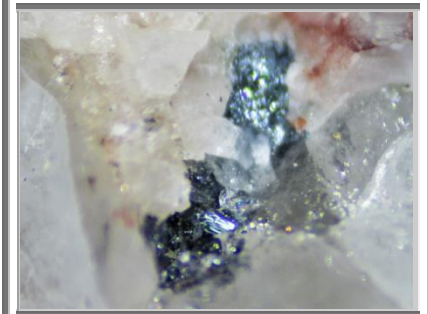
Figure 33 : Vosges : Quelques associations communes des grenats de Framont-Grandfontaine



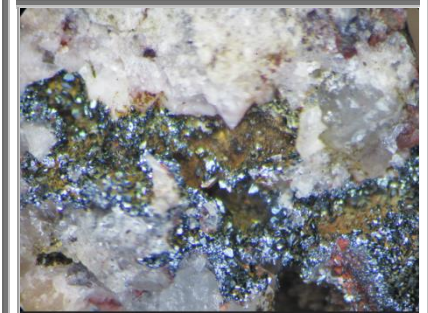
Pyrite
Grand-Fontaine – Mine jaune des Minieres
Champ : 60 mm
Collection : perso



Epidote
Grand-Fontaine – Mine jaune des Minieres
Champ : 2 mm
Collection : perso



Hématite
Grand-Fontaine – Mine grise des Minieres
Champ : 2 mm
Collection : perso



Hématite dans dolomie
Grand-Fontaine – Mine grise des Minieres
Champ : 8 mm
Collection : perso



Magnétite ou plutôt chromite ?
Grand-Fontaine – Mine jaune des Minieres
Champ : 3 mm
Collection : perso

Figure 34 : Vosges : autres minéraux fréquents de Framont-Grandfontaine



Grand-Fontaine – Mine des Minieres
Champ : 3.00 cm
Collection : Stroh

Grand-Fontaine – Mine des Minieres
Champ : 5.00 cm
Collection : Rudolf

Grand-Fontaine – Mine des Minieres
Champ : 1.00 cm
Collection : Rudolf

Grand-Fontaine – Mine de l'Evêché du Donon
Champ : 7.00 cm
Collection : Wolff

Grand-Fontaine – Mine de l'Evêché du Donon
Champ : 2.00 cm
Collection : Rudolf

Figure 35 : Vosges : Autres grenats de Framont-Grandfontaine



Interpénétration de deux grenats
(quasiment une macle)
Grand-Fontaine – Mine des Minieres
Cristal : 3.00 mm
Collection : perso

Grand-Fontaine – Mine des Minieres
Champ 3.00 mm
Collection : perso

Grand-Fontaine – Mine des Minieres
Champ : 2.00 cm
Collection : perso

Andradite gemme
Grand-Fontaine – Mine des Minieres
Champ : 2.00 mm
Collection : perso

Démantoïde
Grand-Fontaine – Mine des Minieres
Champ : 2.00 mm
Collection : perso

Figure 36 : Vosges : Autres grenats de Framont-Grandfontaine