CONSERVATION DU PATRIMOINE

FICHE DESCRIPTIVE

-*-

REPERAGE DU SITE G320 version du 07/02/2011

MASSIF DE LA CHARTREUSE

VALLEE DU GUIERS MORT

MINES DE FER DE BOVINANT
et autres MINES DE FER

commune de Saint-Pierre-de-Chartreuse

A. SCHRAMBACH

,D. COMBARNOUS M. DELAMETTE G. REMILLIER

(16 pages dont 13 figures et photographies)

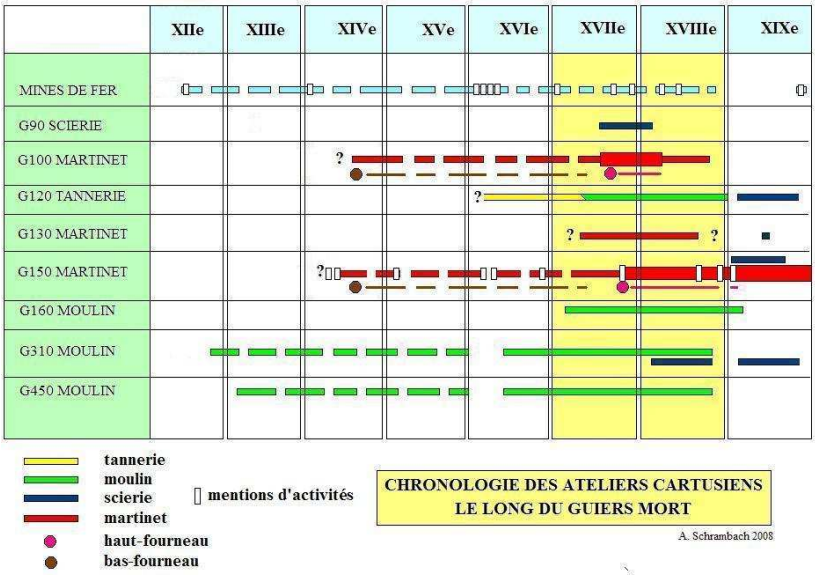
(Les lignes de texte en bleu sont les réponses de M. Delamette, géologue, du Parc National de la Chartreuse)

1-SITUATION, ENVIRONNEMENT

Les mines de fer de Bovinant étaient dans le massif du Grand Som, près du col éponyme au nord-nord-est du monastère.

Les noms des autres mines (dont celles du col de la Charmette site G460) et leurs positions (très approximatives) dans la Chartreuse (et hors du massif) sont présentés plus loin.

2-DONNEES HISTORIQUES



Généralités

Au XIVe siècle (alors que le sentier vers Saint-Laurent-du-Pont était très difficile à parcourir), au XVIIe siècle (avec des conditions de parcours un peu améliorées …) d'où venait le minerai de fer pour les bas-fourneaux (dès le XIVe siècle) puis les haut-fourneaux (à partir de la fin du XVIIe siècle) ?

*bas-fourneau : le minerai venait probablement des mines de Bovinant et de la Charmette.
*haut-fourneau : pour Fourvoirie (site G150), il venait d'Allevard où les Chartreux étaient propriétaires de quelques *fosses*. Par bateaux sur l'Isère il transitait du port de Goncellin au port de Voreppe. Ensuite il était acheminé vers Saint-Laurent-du-Pont, via le col de la Placette, par charrois et mulets.
Pour Noirfond (site GV100) , il venait de Bovinant.

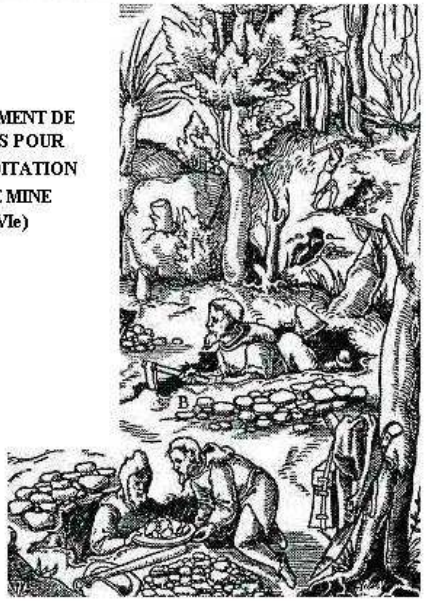
Dans les deux cas le trajet des mines au bas-fourneau puis le trajet de St-Laurent au haut-fourneau devait être assuré par des files de mulets, chacun transportant une charge ou somme de 50 kg. Les muletiers existaient puisque, par exemple, l'incendie du monastère le 2 novembre 1473, fut créé par l'imprudence d'un muletier. Toutefois le chemin venant de St-Laurent-du-Pont ne fut réellement praticable (avec des ponts à architecture cartusienne typique) qu'au début du XVIe siècle.

<u>Les mines de fer</u> de Bovinant et celles de la Charmette (d'après M. Galiano, 2005)

En exploitant le minerai de fer de leurs mines de Bovinant, les Chartreux entrèrent en conflit avec les seigneurs d'Entremont qui contestaient aux moines la propriété de cette mine. Le terrain où elles se trouvaient appartenait jadis aux seigneurs d'Entremont, l'un d'eux l'ayant cédé aux Chartreux, avec plus ou moins de bonne volonté, lors de la délimitation de leur domaine. Tout au long des siècles, les mines de Bovinant furent à l'origine de disputes, réclamations, procès, échauffourées, attaques à main armée et même assassinats : le comte Sébastien de Montbel n'hésita pas à tuer l'un des domestiques des religieux et à menacer d'aller incendier leur monastère, ce qui suscita la colère du roi de France. Voulant récupérer son château, confisqué par le monarque en guise de représailles, le comte abandonna ces projets. Le conflit ne cessa qu'en 1694, avec

l’extinction du dernier seigneur de Montbel et d’Entremont et le rachat de ses terres par les Chartreux.

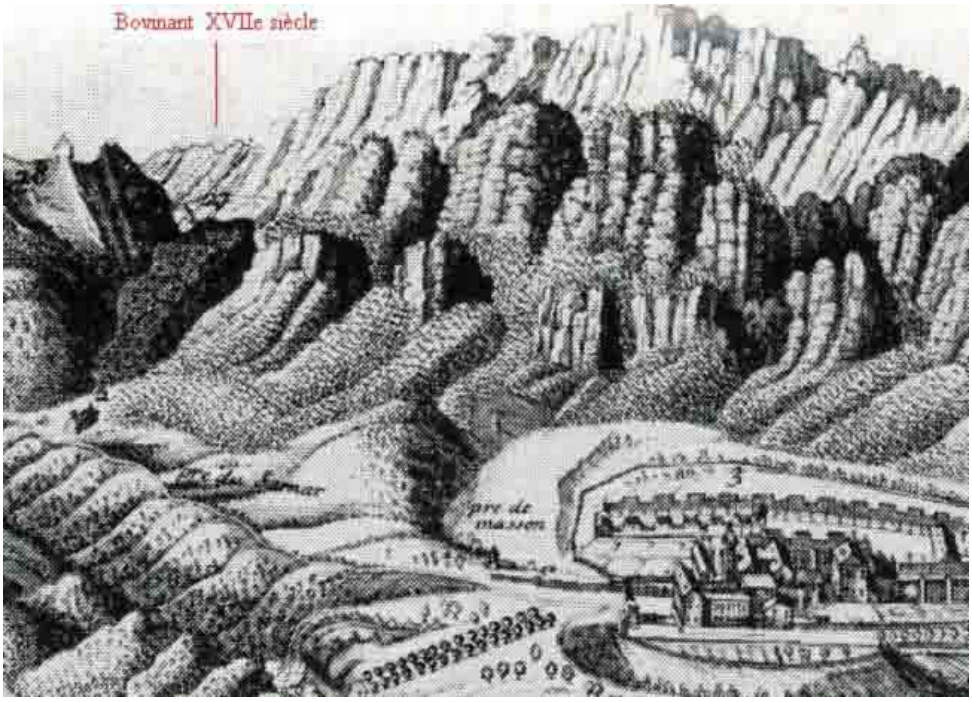
Le minerai de fer ne provenait pas que des mines de Bovinant (G320) mais aussi de celles de la Charmette, Génieux, la Paroisse, près du col du Cucheron (d’après Galiano Martine 2005).



CREUSEMENT DE FOSSES POUR L'EXPLOITATION D'UNE MINE (XVIe)

D’après Remillier Gérard (Office National des Forêts), une *fosse* (ou plus exactement une galerie) pourrait exister au nord est du monastère entre la combe de Montvernet (au sud) et le sommet du Rialet (1300 mètres) (au nord). Elle est proche du sentier balcon. Voir également l’étude citée après.

Vers la fin du XIXe au hameau de saint-Même (sur le Guiers vif en amont de saint-Pierre-d’Entremont) l’oncle de Fetaz Roland exploitait le minerai de fer situé dans une cavité sur les crêtes situées à l’est du cirque de saint-Même).



Description de la Grande Chartreuse et les Montaignes et Bâtiments endependans 1670.
Le site n°27 situé au dessus du monastère est dénommé Bovinant (*bovinantum*)

L'unité de mesure du minerai était la *benne* (25 à 28 kilos), représentant la moitié de la *somme*, ou charge placée sur le bât d'un mulet, soit 50 à 55 kilos ; les *bennes* étaient groupées par douzaines (ADI H344).

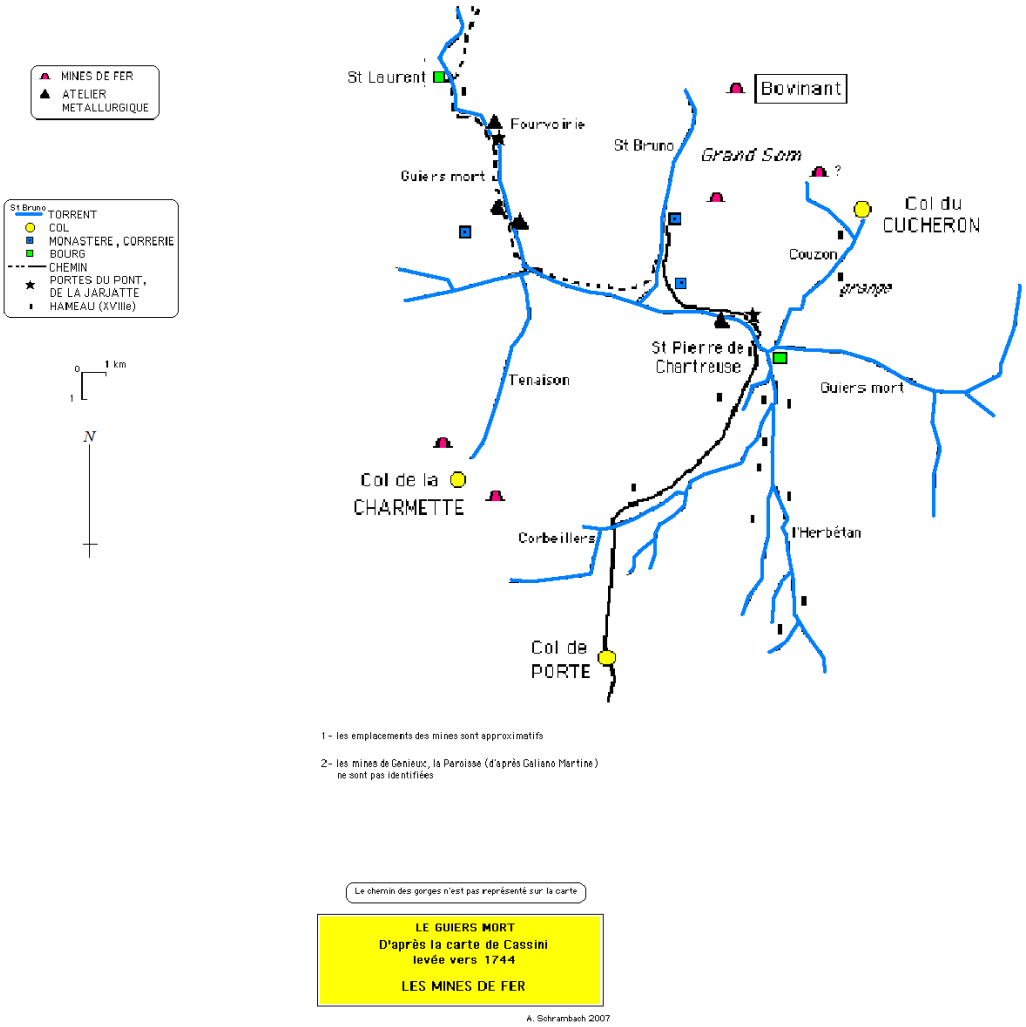


Fig : carte des gisements de minerai de fer (sigles rouges) dans la partie sud du massif de la Chartreuse.

Dates :

L'histoire des mines de Bovinant vaut également pour les autres gisements. Le minerai de fer provenait aussi de celles de la Charmette, Génieux, la Paroisse, près du col du Cucheron (d'après Galiano Martine 2005).
D'une manière générale, les premières exploitations ne sont pas connues. Les premières citations sont des années 1100 (soit peu après la fondation du monastère). Au début les moines, car ces activités étaient contraires à leur idéal contemplatif, s'opposaient à l'exploitation des mines. De plus pour un problème de propriété des mines ils s'opposaient aux seigneurs d'Entremont. Ensuite à la fin du XVIIe siècle – et pas avant - , ils créèrent des ateliers métallurgiques.

XIIe siècle
Courant XIIe siècle : les Chartreux sont en opposition avec le seigneur d'Entremont quand au sujet de la propriété des mines de Bovinant.
1132 : les moines s'opposent à des tentatives d'exploiter le fer de Bovinant et font combler les *fosses* (Sclafert Th. 1926)

XIVe siècle
1311 : comme au XIIe siècle, les moines s'opposent à des tentatives d'exploiter le fer de Bovinant et font combler les *fosses* (Sclafert Th. 1926). Toutefois, à cette époque, on cite le bas-fourneau et les martinets construits en principe à l'initiative des Chartreux près de la future porte de l'Enclos (en effet la proximité du monastère est telle qu'il est difficile de concevoir qu'ils aient contribué à cette construction). Par suite des moyens de communication très mauvais, le minerai ne pouvait venir que de la Chartreuse.
XIIIe et XIVe siècle : Les nobles pouvaient prendre à leur charge les frais de l'entreprise , ils laissaient l'exploitation de la mine à des ouvriers à gages, comme le faisait le comte d'Entremont dans les mines de Bovinant. (Sclafert Th. L'industrie du fer dans la région d'Allevard au Moyen Age Grenoble 1926 page 35)

XVIe siècle
1524 puis 1534 : la Chambre des Comptes puis le roi François 1er, accordent des lettres patentes à Philippe Rubichon qui obtient la liberté *« d'extraire à Bovinant la mine de fer, de construire fourneaux et martinets pour l'affiner et la réduire en fer »*. L'emplacement de ces derniers est inconnu.(Mollin Joseph (1957)
1537 : Pierre Rubichon doit demander de nouvelles patentes car il est en procès avec le monastère « *à raison des fosses à mines qu'il avait ouvertes dans la montagne de Bovinant appartenant à la Chartreuse* ». (Mollin Joseph (1957)
En 1537, un « martinet » (expression synonyme de forges) au site de Noirfond (Guiers vif en Savoie) depuis le XIVe siècle, appartenant au seigneur d'Entremont (non localisé par les textes : était-il près du futur haut-fourneau ?) transforme le minerai de fer extrait de la mine de Bovinant.

XVIIe siècle
1608 : D'après la Chronique cartusienne de Dorlandus (*Dorlandi chronicon Cartusiene*) les mines de fer de Bonviant, Bovinant sont citées (Chabrand E. 1898)
1670 : D'après la « *Description de la Grande Chartreuse et les Montaignes et Bâtiments endependans de 1670* » le site n°27 situé au dessus du monastère est dénommé Bovinant (*bovinantum*)
1694 : Le conflit au sujet des mines de Bovinant, ne cessa qu'en 1694, avec l'extinction de la famille du dernier seigneur de Montbel et d'Entremont et le rachat de ses terres par les Chartreux. (d'après Galiano Martine 2005). Le haut-fourneau, précédé par un bas-fourneau et un martinet, dont le site à Noirfond (Savoie sur le Guiers vif), après 1694 passa du seigneur d'Entremont aux Chartreux, y fut construit à l'extrême fin du XVIIe siècle.

XVIIIe siècle

1726 : fermeture du haut-fourneau de Noirfond, créé entre 1694 et 1699, en Savoie (sur le Guiers vif ; site GV 100), en raison de la médiocre qualité du minerai de fer de Bovinant et de l'éloignement du site d'extraction de la matière première (ajouter également les ordres royaux pour la conservation des forêts de la Chartreuse).

Si la médiocre qualité et la très faible teneur des minerais de fer sont en cause, cela signifie que les Chartreux n'avaient pas de connaissances précises à leur sujet. Comme ils ne s'étaient réellement intéressés à la métallurgie que depuis le milieu du XVIIe siècle, cela entraîne que le haut-fourneau du pont du Martinet (site G100) créé en 1660 (donc presque 40 années avant) ne devait pas travailler ces minerais.
1730 : Le minerai d'Allevard alimente les hauts-fourneaux alignés sur le flanc oriental de Belledonne, ceux de Fourvoirie (site G150), de St-Laurent-en-Royans dans le Vercors (P. Léon, 1954)
1744 : néant sur la carte de Cassini
seconde moitié du XVIIIe : les mines de Bovinant ne sont plus exploitées (Léon P. 1954)

XIXe siècle
1804 : Villars dans son *Voyage à la Grande-Chartreuse* cite « *un autre fait géologique bien surprenant, c'est que, parmi les couches de calcaire compact de la Grande-Chartreuse, se trouvent quelques filons de mine de fer carbonaté (*en fait un oxyde de fer, de la goethite*) près de la Bouvine, à 1600 mètres d'élévation ; on y trouve même du manganèse* » (Chabrand E. 1898)
1881 : La Cie des fonderies de Fourvoirie fait des recherches de minerai de fer autour des anciennes mines de la Charmette (sans succès). En avril 1881 le conseil d'administration annonce « *la préfecture de l'Isère a enfin remis le permis de recherche, déposé en décembre 1880, par la Compagnie, pour les minerais reconnus dans les montagnes voisines de Fourvoirie. Les travaux doivent commencer dès que le temps le permettra »*. En 1931, Blache explique que « *la Société qui avait acquis les usines de Fourvoirie fit procéder en 1881 et 1882, à la recherche approfondie de minerai de fer et de manganèse aux abords surtout des anciennes exploitations de la Charmette. Les résultats furent négatif* » (Galiano Martine, 2005).

Fin du XIXe – début du XXe siècle
Lors de l'étude, par l'auteur, de la source sulfureuse Germaine à Saint-Pierre-d'Entremont, une personne a précisé que son grand père exploitait à titre individuel une cavité avec du minerai de fer (près du cirque de Saint Même) et qu'il produisait du fer (avec probablement la méthode catalane c'est-à-dire un bas fourneau).

XXe siècle
1949 : ?? sur la carte IGN au 1/20000e
1971 : (re) découverte des mines de fer de Bovinant par des spéléologues
1986 : néant sur la carte IGN au 1/25000e

XXIe siècle
2007 : ??

plans :

1744 : carte de Cassini (d'après Mollin Joseph)
1832 : cadastre napoléonien de 1832
1843 : carte d'état major de 1852 (levés de 1843)
1877 : carte d'état major de 1895 (levés de 1877)
1949 : carte IGN au 1/20000e
1986 : carte IGN au 1/25000e
cadastre actuel

3-DONNEES TECHNIQUES

Nombre de fiches : 1
Images anciennes : Photos : 5 dont une image satellitaire

A) LES MINERAIS DE FER - généralités

Les minerais de fer (d'après '*Minéralogie*' A. de Lapparent 1900 et '*Métallogénie et pétrogenèse Les concentrations minérales utiles envisagées dans leurs rapport avec des types lithologiques et des formations géologiques définies*' Orcel J. 1957).

Les principaux minerais de fer sont les suivants :

Sulfures :	Pyrrhotine (dans les roches métamorphiques)
	Pyrite (associée à Ni, Co, Cu, Sn et As) (dans les roches sédimentaires par réduction des sulfates et dans les filons)
	Marcassite (associée à la Pyrite) (en nodules dans les roches sédimentaires)
Oxydes :	Magnétite (dans les basaltes, chloritoschistes)
	Oligiste (ou hématite si de couleur rouge) (filon et rarement les pegmatites)
	Goethite (avec les autres oxydes de fer)
	Limonite (roches sédimentaires)
Carbonates :	Sidérose ou fer spathique (filons métallifères).

Les gîtes métallifères
Il faut distinguer :
-les gîtes primaires (directement ou indirectement liés aux roches issues du manteau plus ou moins différenciées)
-et les gîtes secondaires (qui correspondent à un cycle d'érosion / transport / sédimentation dans un contexte de roches sédimentaires).

Par exemple le minerai d'Allevard est un gîte primaire et celui de Bovinant un gîte secondaire (mais il existe également des filons – voir l'étude après).

B) LES MINERAIS DE FER DU MASSIF DE LA CHARTREUSE

Le minerai de fer de Bovinant (et des autres gisements situés dans le massif de la Chartreuse).

B1) GEOLOGIE DES GISEMENTS METALLIFERES DE LA CHARTREUSE

Les gisements du massif de la Chartreuse sont classés parmi les « gisements de fer karstiques ».
En effet à l'issue de la (re) découverte du gisement de Bovinant (en 1971 par des spéléologues) il s'avère que les minerais sont associés à des fissures agrandies par karstification.
Dans les calcaires urgoniens du grand Som (près du col de Bovinant au nord du monastère de la Grande Chartreuse, massif de Chartreuse) il existe d'anciennes cavités et fissures liées à un paléokarst.

A l'issue des dépôts de boues calcaires dans une mer du Crétacé des strates et bancs de calcaires massifs se sont formés. Plus tard au Tertiaire, à l'Eocène ils ont été soulevés : ils ont émergé et ont été soumis à une érosion et une karstification. Ensuite ces cavités ont été colmatées par des dépôts d'origine continentale après transport par les ruisseaux de l'époque (issus probablement des zones occidentales où se trouvaient les gîtes primaires également soumis à l'érosion).
Ces matériaux de remplissage constituent les minerais de fer (à très basse teneur) utilisés par les métallurgistes cartusiens de l'époque médiévale aux Temps Modernes. Toutefois la présence de filons (voir l'étude présentée après) laisse supposer soit en plus une autre origine soit un remaniement postérieur.

Les bauxites de Provence (ainsi que beaucoup d'autres gisements), se sont formées de la même manière. Le dessin suivant montre les poches de bauxites (toutefois comme le montre les images suivantes, les mines de Bovinant se présentaient différemment).

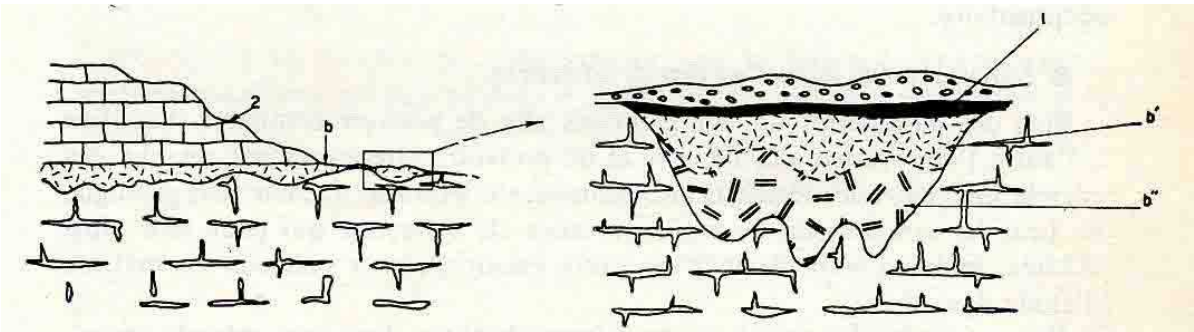


FIG. 4 Coupe simplifiée, dans la région provençale, permettant de situer, les gîtes de bauxite (*b*) dans les poches d'un karst creusé dans les calcaires urgoniens (1). Ces gîtes sont surmontés par une couche de lignites (*l*) puis par les calcaires saumâtres du Crétacé supérieur (2).

D'après l'étude "*Un gouffre minier : le gouffre à maule, massif de la Grande-Chartreuse, Isère*" par J.DUPRAZ, J.-P. SARTI, P.MARTEL et M.RATTIN. ***Spelunca*** *(revue de la fédération française de spéléologie)* , n° 19, 1985, p.22-24, le minerai de Bovinant (ou *maule*) se présente de deux façons, très différentes de celle de la bauxite :

- en dépôts secondaires, formés de granules centimétriques arrondis, mêlés à des cailloutis fluviatiles d'origines diverses (certains extérieurs au massif de la Chartreuse)

- en dépôts primaires, remplissant des espaces décimétriques ouverts par fracturation, en marge de surfaces garnies de stries (d'après leur pendage et leur orientation : ce ne sont apparemment que des surfaces de strates).

Il apparaît donc qu'il n'y a pas que des gisements secondaires (anciens dépôts fluviatiles déversés dans les paléo fissures ou paléo cavités).

Ces informations, et les descriptions relatives au travail des mineurs, indiquent que le minerai était exploité dans des cavités (les "*fosses*") qui s'enfonçaient dans les strates calcaires de l'Urgonien ou du Tithonique.
Ces mines ne correspondaient donc pas à l'exploitation de niveau ferrifères intercalés dans les strates (filons stratiformes) mais à d'anciennes cavités karstiques : toutefois ceci serait à confirmer !.

En 1804 on cite à Bovinant du « fer carbonaté ». Ceci n'est pas confirmé par M. Delamette du Parc de la Chartreuse

Q : Bovinant : quelle est la nature du minerai de fer.?
R : Oxydes (goethite) et hydroxydes

B2) LES AUTRES GISEMENTS ET LES ORIGINES

« Les richesses minérales du Massif cartusien ont été décrites par de nombreux prospecteurs et les archéologues ont retrouvé sur les carreaux d'exploitations les traces de petites fonderies forestières au voisinage de crassiers antérieurs à l'arrivée des Chartreux ». Ces découvertes permettent de fixer au moins trois districts miniers qu'on peut placer dans l'ordre suivant quant à leur importance :

*** Bovinant, sur les crêtes nord du désert, au col du même nom conduisant de la vallée du Guiers-Mort à celle du Guiers-Vif, on trouve d'importants restes, ainsi que des fouilles alignées sur des centaines de mètres. En quittant les régions de pâturages, on pénètre dans le cirque dit « les Éparres », encombré de fouilles anciennes. Le sentier en lacets qui mène au col est le dernier vestige d'une large voie dallée où, mêlées aux pierres, des scories témoignent d'un premier traitement subi à la mine.*

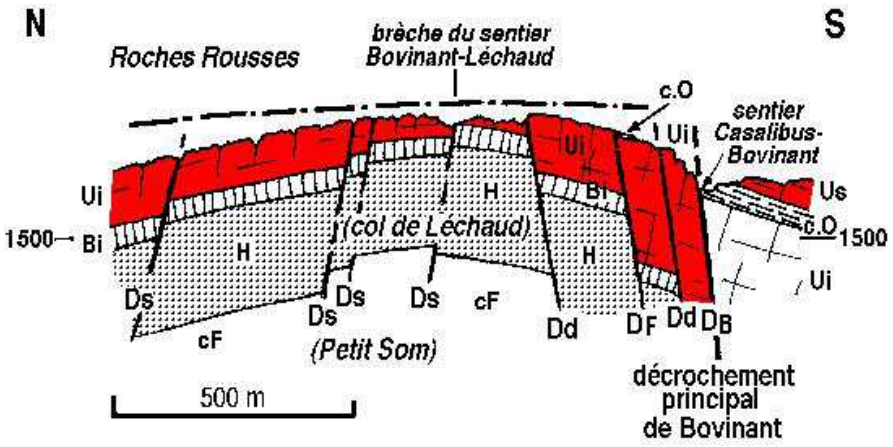


Fig : le contexte géologique des mines de fer de Bovinant (calcaire du Turonien).

** La *Paroisse*, au col du Cucheron, *conserve des galeries encore visibles au-dessous du Plan, vers la Combe de la Ferrière. Le minerai était descendu au Pré du fer, où devait se trouver le fourneau primitif dont le nom du lieu-dit Massot a gardé le souvenir*.

** Dans la région de Currière (le monastère), *la minière de la Charmette formait le troisième district* (en fait il s'agit de la région au nord ouest et au sud est du col de la Charmette).
D'après Combarnous Dominique (Office National des Forêts), il y a une entrée de mine sur la piste principale de la forêt de Genieux (au dessus du chalet de la Charmette, au nors ouest du col éponyme). A Tenaison, il y avait également un martinet (à vérifier !) avec une serve sur le ruisseau éponyme. On peut citer les noms de lieu qui évoquent des activités (plus ou moins liées aux métaux) le Fournel (à l'ouest du col de la Charmille), le couloir du Four (mais il pourrait s'agir de four à charbon de bois).
La carte IGN au 1/25000e montre à 2 km à l'ouest du col de la Charmette un site dénommé *Goulet d'Hurtières*. Il y a également le col d'Hurtières et le refuge d'Hurtières. Le nom d'Hurtières est quelqufois associé dans le Dauphiné à des sites métallifères ou métallurgiques. (voir le site G460) mais en fait ce mot dérive d'ortie.

D'après M. Delamette du Parc de la Chartreuse :
Q : Autres gisements : quels sont-ils et où ?. Par exemple le gisement de la Charmette a été re prospecté à la fin du XIXe par l'usine métallurgique de Fourvoirie.
S'agit-il toujours de minerai de fer (avec des points communs avec celui de Bovinant) ?
R : Les anciennes galeries de reconnaissance au NW et à l'E-SE du col de la Charmette renferment le même type de minéralisations

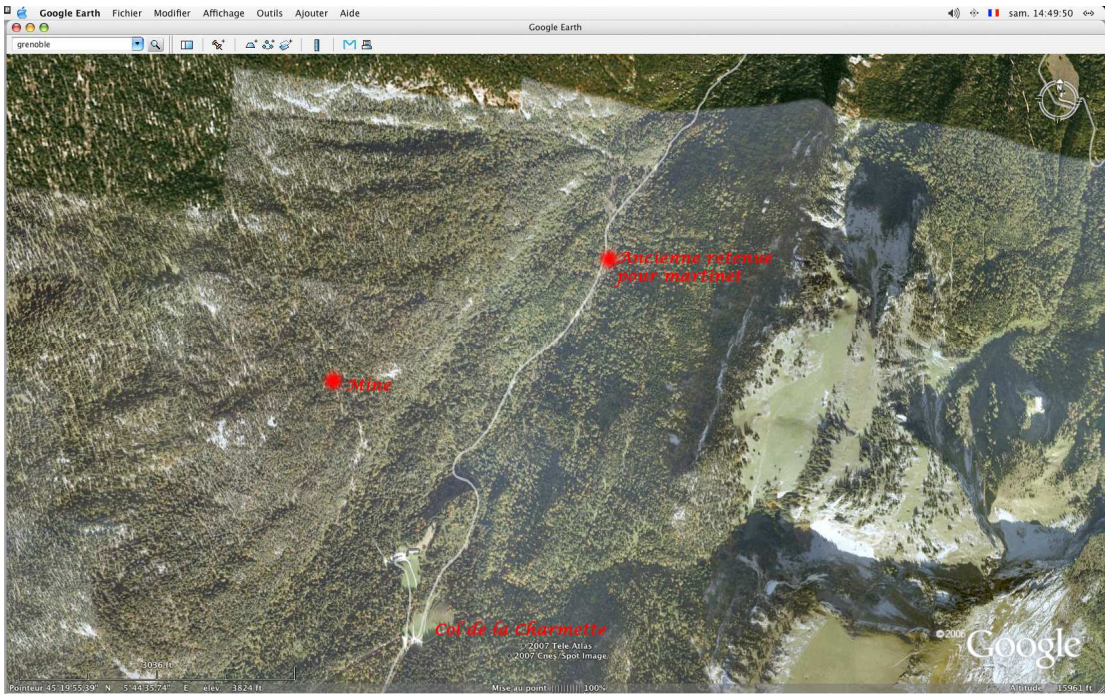


Fig : image satellitaire du col de la Charmette, avec l'emplacement de la mine (gisement NW du col) et du martinet de Tenaison avec sa serve (sur le ruisseau de Tenaison, affluent rive gauche du Guiers mort).
Voir la fiche G460.

Les origines des minerais (voir la dernière photographie suivante)

Une des origines possibles est que ces poches aient été remplies par des produits de lessivage de sols fortement oxydés (granules centimétriques arrondis, mêlés à des cailloutis fluviatiles d'origines diverses (certains extérieurs au massif de la Chartreuse), lors de périodes de climat chaud, sans doute au Quaternaire ancien (datation, dans la mesure où à cette époque les reliefs du massif autorisaient le passage d'écoulements torrentiels charriant les minerais issus des régions avoisinantes (Alpes).

Une autre pourrait être qu'il s'agit de montées minéralisées, le long de failles, depuis le soubassement profond (depuis des couches d'âge secondaire ou depuis le socle cristallin ?).

D'après M. Delamette du Parc de la Chartreuse :

Q : Origine : gite secondaire sous forme de dépôts sédimentaires dans des paléo cavités
ou gite primaire sous forme de filons ?

R : les deux: les visites faites montrent des filons dans les calcaires urgoniens et on trouve aussi des nodules sédimentés (polis par les eaux) dans les "vieux" remplissages fluviaux scellés par des planchers stalagmitiques.

Il reste que l'origine du fer n'est pas très claire.
Seule une étude des inclusions fluides permettrait d'avoir une idée plus précise des conditions T/P (températures / pression) de formation.

En effet les inclusions – insérées dans les cristaux - fluides ou vitreuses (taille : quelques millièmes de millimètres de diamètre à quelques dizaines) présentes à l'intérieur des minéraux sont caractéristiques de l'environnement lors de la cristallisation.
Elles sont donc de précieuses sources de renseignements sur la nature des agents métasomatiques et les conditions de création des roches.

Les inclusions vitreuses

« Ce sont de toutes petites quantités de magma piégées lors de la cristallisation des phénocristaux des laves. Leur taille excède rarement 300 micromètres. Le brusque refroidissement que subit la roche lors de sa mise en place va permettre de préserver l'information contenue dans ces précieuses inclusions. Elles vont conserver des témoins du liquide magmatique, transformé en verre, à partir duquel les phénocristaux ont grandi dans le réservoir magmatique. L'étude de ces inclusions va donc permettre de retracer l'évolution de la composition chimique du magma au cours des processus pétrogénétiques complexes comme la cristallisation fractionnées ou le mélange magmatique à l'origine. De plus si l'inclusion est étanche les fluides sont conserver (H2O, CO2, halogènes etc).
On détermine ainsi les températures de cristallisation par thermométrie optique et les concentration en fluides dissous et leur composition par microsondes électroniques, spectrométrie infra rouge, micro sonde nucléaire et micro sonde ionique.
(d'après Lallemand, Huchon, Jolivet, Prouteau Convergence lithosphérique Vuibert 2005

Voir également : Kornprobst J. Les roches métamorphiques et leur signification géodynamique. Masson 19994 (pages 93 et 94)

Je remarque simplement que les gisements se situent paléogéographiquement dans un secteur charnière entre un domaine profond à l'Est (bassin subalpin) et la plate-forme jurasienne à l'W et donc très certainement à proximité d'une ancienne faille d'extension de la marge subalpine.

De là, il est tentant de penser à des remontées hydrothermales * (avec des agents métasomatiques) lors du plissement alpin (formation primaire) puis, lors de l'émersion fin Crétacé, à l'altération de la partie supérieure du gisement ("paléo-chapeau de fer"?) et au développement préférentiel d'une karstification à partir du Pliocéne (voire avant) sur le site conduisant au recoupement du gîte et à la formation du gisement secondaire.

*hydrothermalisme profond et ancien. Au sujet de l'hydrothermalisme superficiel et actuel à Saint-Pierre-d'Entemont consulter : Schrambach A. *La source minérale Germaine. Eau sulfureuse superficielle et sédimentaire*. Communauté de communes des Appremonts. Vallée du Guiers vif .Massif de la Chartreuse. 2008 82 pages 27 images Non édité

Remarque : la solution « structurale » présentée, quoique hypothétique, n'est pas à exclure. Les épaisseurs de couches rocheuses sont importantes, mais il faut considérer le tout dans un contexte d'hydrothermalisme.
Les fluides, essentiellement de l'eau à haute température et forte pression, ont un pouvoir important de mise en solution des atomes (ions).
Leur transfert dépend, en particulier, de la perméabilité des couches qui a plusieurs origines (Chenevoy Maurice Piboule Michel *Hydrothermalisme* EDP Sciences 2007) :

-perméabilité naturelle (vides entre les grains, microfissures) parfois faible comme pour les argiles, mais non nulle (même avec une forte épaisseur).
-perméabilité secondaire due aux fracturations (fracturation hydraulique, fracturation mécanique).
-perméabilité orientée si les contraintes sont dans un contexte de « pression non de type hydrostatique » (formations de contraintes liées à des forces orientées dans une direction privilégiée). Ce phénomène est particulièrement visible dans le cadre du déplacement des laves dans et sous un cône volcanique ce qui n'est pas évidemment le cas dans la Chartreuse – (Gudmundson A. Philipp S. *L'éruption volcanique, phénomène rare* . Pour la Science n°360 octobre 2007).

Par ailleurs les couches telles qu'elles sont vues à l'affleurement (aspect, caractéristiques mécaniques et hydrauliques) sont différentes en profondeur sous l'effet de la pression et de la température (effet de décompression en surface qui ouvre les fissures).

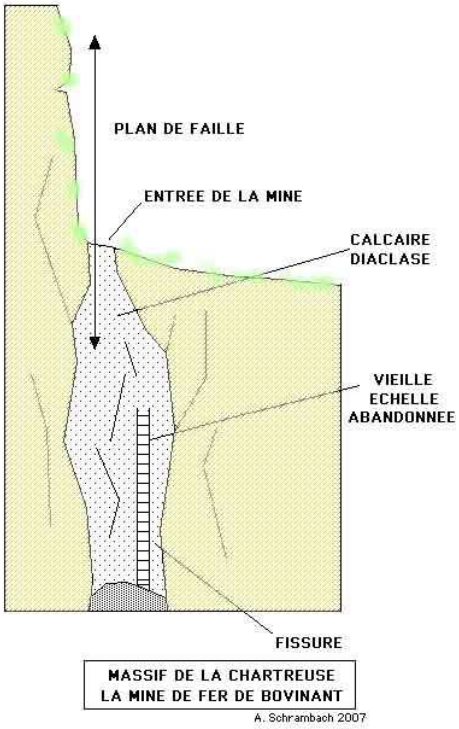


Fig : Le schéma (coupe verticale montrant la fissure principale) et les photographies suivantes sont à comparer avec celui des gisements de bauxite. Les conditions de gisement sont différentes.

Les photographies suivantes montrent que ce sont des fissures agrandies par la karstification qui contiennent les minerais (il y a une dimension verticale importante qui n'existe pas pour la bauxite ainsi qu'une largeur réduite).

La première photo montre l'entrée de la fissure et la seconde une fissure avec des traces d'exploitation dont des madriers en bois
La troisième photo montre un plaquage de minerai contre la roche, sinon même un filon. La quatrième, explicitée, montre les différentes sortes de gisements.

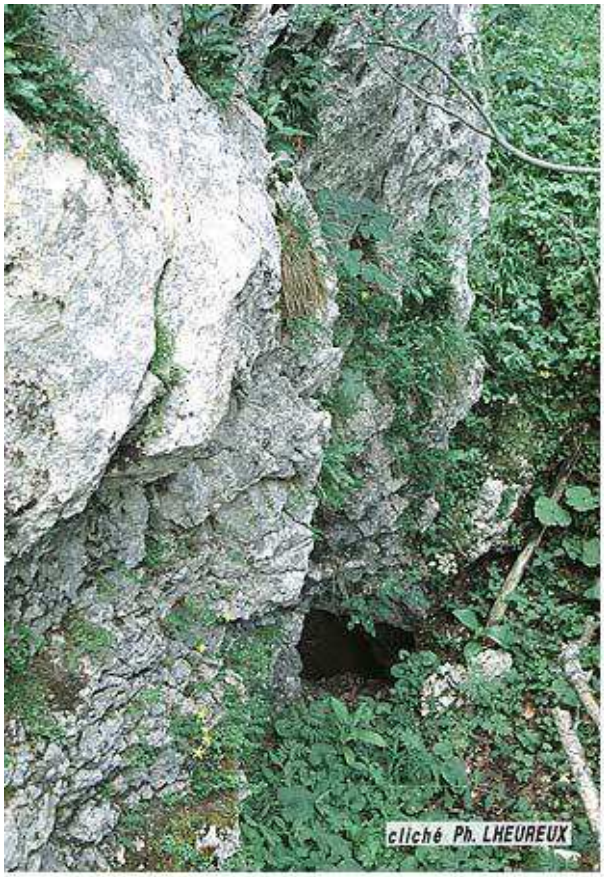
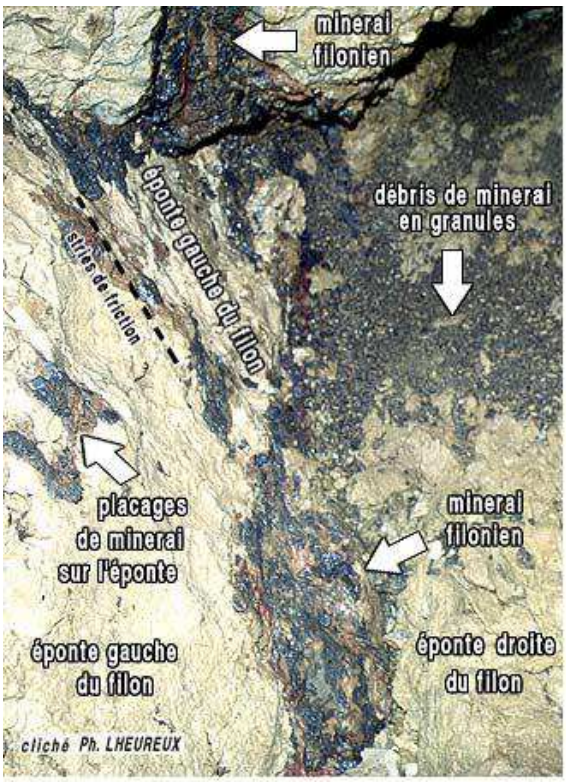


Fig : l’entrée (la photo) et les fissures de la mine de Bovinant, sont selon un plan de faille.

Fig : La fissure principale et les restes d'aménagements pour l'exploitation.

Fig : la photographie suivante montre comment se présentent les filons métallifères.



Photographies : Les divers aspects (et mode de formation) des gîtes métallifères (granules et filons).
Il y a une dualité : dépôts sédimentaires dans une paléo cavité et filons métallifères.

A titre indicatif l'image suivante montre la formation et l'évolution des cavités renfermant des terres réfractaires à Saint Aupre (vallée de la Morge).

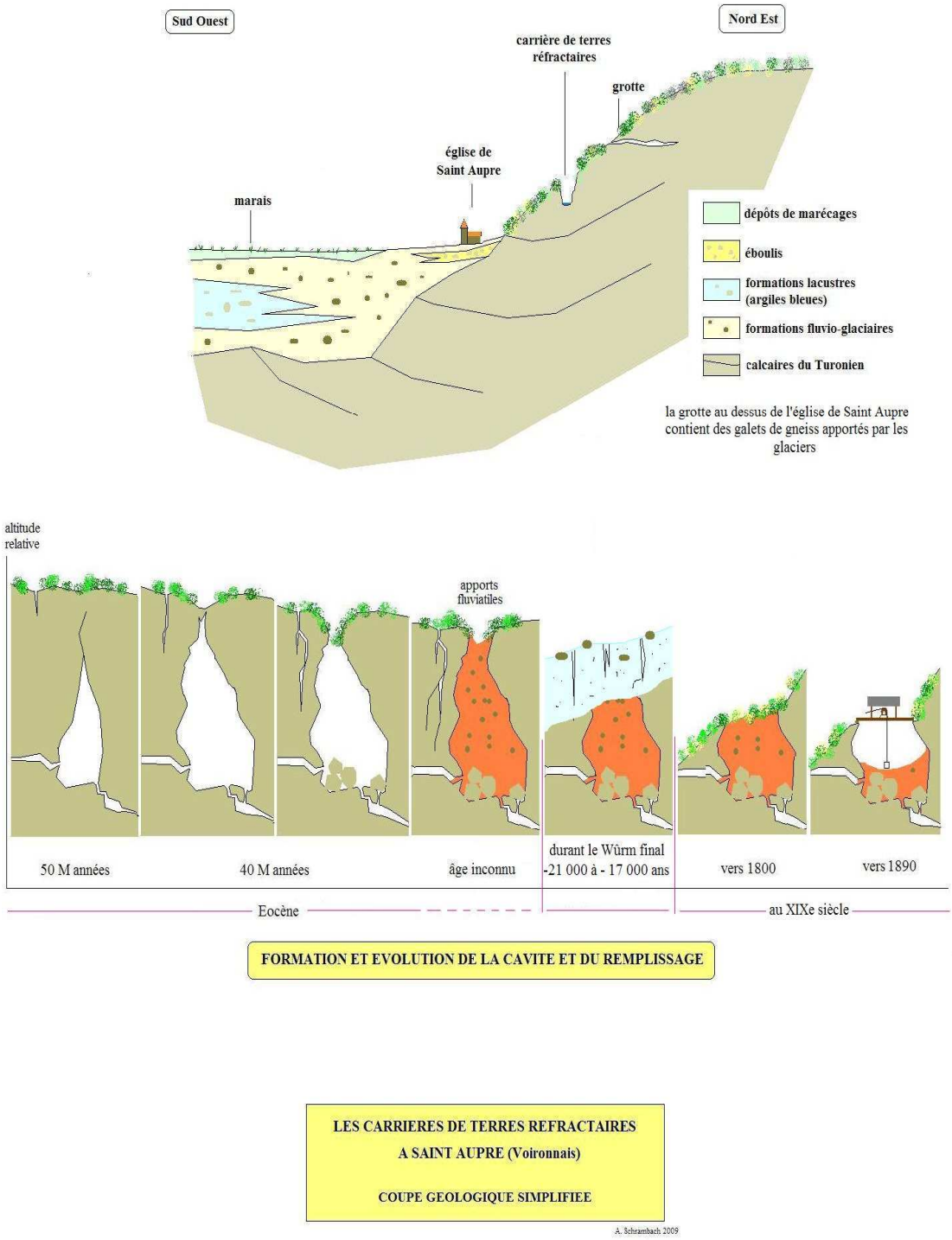


Fig : coupe géologique sommaire de la région de saint Aupre, formation et évolution des gîtes de terres réfractaires